

41 5400

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE  
GUATEMALA**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES**

**MANTENIMIENTO DE  
PUENTES**

**JUAN FRANCISCO ABRIL FRENER**

**BIBLIOTECA  
DE LA  
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**GUATEMALA  
2004**



**MANTENIMIENTO DE PUENTES**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
DE GUATEMALA**

Facultad de Ciencias y Humanidades

**MANTENIMIENTO DE PUENTES**

Trabajo de investigación presentado por Juan Francisco Abril Frener para optar al  
grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala  
2004

Vo.Bo .

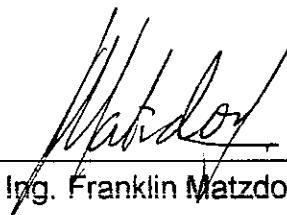
(f)



Ing. Rodolfo German Natareno

Tribunal

(f)



Ing. Franklin Matzdorf

(f)



Ing. Rodolfo German Natareno

(f)



Ing. Sergio Morales

Fecha de aprobación: Guatemala, 4 de junio del 2004

## DEDICATORIA

Primero que todo quiero agradecerle a Dios por haberme guiado en la realización de mi carrera.

Este trabajo de graduación quisiera dedicárselo a varias personas que significan mucho en mi vida, pero especialmente a mi mamá, **Ingrid Frener de Abril**, quien ha sido un ejemplo único y una amiga que siempre ha estado a mi lado en todo momento y por eso yo la admiro, la amo, la adoro, la quiero, ya que sin ella nunca hubiera logrado ser la persona que soy.

También quisiera dedicársela a mi papá, **Ing. Juan Francisco Abril Soto**, que ha sido mi amigo, mi mano derecha, mi héroe, mi todo a lo largo del trayecto de mi carrera. Quisiera también dedicarle este logro a mis hermanos, **Roberto, Ingrid y Paola**, a mi cuñado **Julio** y a mi sobrina **Gaby** que siempre me apoyaron en todo, y por eso los amo con todo mi corazón y por último quisiera agradecerle este logro a **Maria Olga Getellá** quien me ayudo y me apoyo en el proceso de mi trabajo de graduación.

## PREFACIO

No es secreto que Guatemala es un país que se encuentra en vías de desarrollo, y que está en una competencia constante con los otros países del mundo.

Para mantenerse en un nivel mundialmente competitivo, el país debe estar actualizado con la tecnología, aprovechar los recursos y posibilidades otorgadas por naturaleza para el desarrollo de la humanidad.

Es evidente que los puentes han sido de vital importancia para alcanzar crecimiento económico en el país, ya que permiten la comunicación por vía terrestre logrando que la población se desplace fácilmente haciendo accesible la actividad económica para los ciudadanos.

El objetivo de este trabajo de tesis fue realizar una de la actividades más importantes que actualmente en Guatemala no se maneja con frecuencia, que es el mantenimiento de puentes y de todas las condiciones de servicio en las carreteras, de esa forma se preservan los puentes para garantizar estabilidad y el desarrollo de más departamentos del país.

## CONTENIDO

	Página
PREFACIO .....	iv
LISTA DE CUADROS .....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN .....	ix

### CAPÍTULOS

I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES SOBRE PUENTES Y SU CONSERVACIÓN .....	3
III. CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES CARRETEROS.....	19
IV. INSPECCIÓN .....	29
V. EVALUACIÓN .....	54
VI. MANTENIMIENTO .....	64
VII. CONCLUSIONES .....	93
VIII. BIBLIOGRAFÍA .....	98
IX. GLOSARIO .....	99

## LISTA DE CUADROS

### Cuadro

1. Tipos de alambre.....	25
2. Propiedades del cable de siete alambres.....	26
2.1 Continuación propiedades del cable de siete alambres.....	26
2.2 Continuación propiedades del cable de siete alambres.....	27
3. Reporte de la inspección.....	43
3.1 Continuación reporte de la inspección.....	44
4. Clasificación del estado de los puentes.....	55
5. Deficiencia en la condición estructural.....	62

## LISTA DE FIGURAS

### Figura

1. Partes que conforman un puente.....	4
1.1 Continuación partes que conforman un puente.....	5
2. Diagrama de gálibos para puentes.....	7
3. Cargas de diseño.....	14
3.1 Continuación cargas de diseño.....	15
4. Pretensado.....	23
5. Postensado.....	24
6. Medios materiales en la inspección.....	34
6.1 Continuación medios materiales en la inspección.....	35
7. Gráfica de CC contra TDPA para diferentes valores de NC-CR.....	59
8. Gráfica de AP contra TPDA para diferentes valores de (AD-AR) deficiencia por gálibos(G).....	60
9. Gráfica del GI contra TDPA para diferentes valores de GID-GIR.....	61
10. Gráfica de CE contra IC.....	63
11. Apoyos elastoméricos.....	76
11.1 Continuación de apoyos elastoméricos.....	77
12. Inyección de grietas.....	78
12.1 Continuación inyección de grietas.....	78
12.2 Continuación inyección de grietas.....	79
12.3 Continuación inyección de grietas.....	79
12.4 Continuación inyección de grietas.....	80
12.5 Continuación inyección de grietas.....	80
13. Cambio de juntas de dilatación.....	81
13.1 Continuación cambio de juntas de dilatación.....	82
13.2 Continuación cambio de juntas de dilatación.....	82
13.3 Continuación cambio de juntas de dilatación.....	82

14.	Encamisado de pilas.....	85
14.1	Continuación encamisado de pilas.....	86
14.2	Continuación encamisado de pilas.....	86
14.3	Continuación encamisado de pilas.....	87
14.4	Continuación encamisado de pilas.....	87
15.	Refuerzo con placas y perfiles metálicos.....	88
16.	Tipos del preesfuerzo exterior.....	91
16.1	Continuación tipos de preesfuerzo exterior.....	92

## RESUMEN

Un puente es una estructura que tiene como tarea salvar obstáculos naturales, y obstáculos artificiales con la tarea de unir caminos para mantener una comunicación entre lugares y lograr actividades económicas.

Los puentes son tan antiguos como la civilización misma, desde el momento que alguien cruzó el tronco de árbol para cruzar una zanja o un río empezó su historia. Pero los Romanos fueron los grandes ingenieros históricos, no habiéndose superado su técnica y realizaciones hasta los últimos dos siglos. Los puentes de Belice, Incencio o el puente de Río Dulce son solamente algunas muestras de su arte e ingeniería que ha llegado hasta nuestros días.

Todos los puentes se basan en modelos naturales, a los que, conforme la tecnología ha ido avanzando, se han incorporado nuevas formas de resolver los mismos problemas. Se ha montado a una ciencia que es parte importante de las aplicaciones de la ingeniería civil: el proyecto y construcción de puentes.

La infraestructura de un país y su desarrollo es un tema importante para lograr un crecimiento económico, ya que está permite una integración nacional para que la población se pueda desplazar haciendo realidad la actividad económica.

La forma más precisa de tener un conocimiento de las condiciones de cada uno de los elementos que conforman un puente y que estén en buenas condiciones es mediante un programa de inspecciones, éste debe realizarse en forma organizada y sistemática, ya que de los resultados obtenidos se corregirán los defectos encontrados. Estas inspecciones se recomienda realizarlas cada 2 ó 4 años, sin embargo los puentes con deficiencias hay que inspeccionarlos con una mayor frecuencia.

La última actividad pero la más importante es el mantenimiento, su función es conservar en buen estado los puentes y la red de carreteras. La falta de mantenimiento a los puentes puede ocasionar problemas en su funcionamiento y seguridad para la población.

Es importante llevar acabo un mantenimiento rutinario con un personal altamente capacitado en este trabajo para lograr una conservación adecuada y exitosa de los puentes.

## I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo de tesis surge de la necesidad de hacer una revisión general de la condición actual de los puentes, debido a que actualmente, circulan cargas mayores a las de proyecto por la red nacional; ocasionando que las funciones estructurales se vean afectadas y se requiera de una supervisión constante para su conservación.

El objetivo de la ingeniería es dominar y encauzar las leyes que rigen los fenómenos naturales para que el hombre pueda utilizarlos para satisfacer sus necesidades con menor esfuerzo y mayor provecho. La ingeniería es una ciencia o técnica que estimula la invención, construcción y manejo de máquinas, así como ejecutar obras. Entre las hazañas que los ingenieros han realizado a través de la historia, se pueden mencionar las pirámides de Egipto, la Gran Muralla de China, y más recientemente, el canal de Panamá. En Guatemala la Ingeniería ha significado una gran avance.

El ferrocarril, como nuevo medio de transporte y como uno de los pilares fundamentales del mundo moderno, vino a acelerar todavía más el desarrollo de los puentes cada vez más grandes, de diseño más elaborado y con técnicas de construcción cada vez más desarrolladas y avanzadas.

Ya en el siglo XX el concreto armado y más tarde el concreto presforzado contribuyeron todavía más al desarrollo de esta técnica, abaratando costos, facilitando técnicas, y en definitiva "popularizando" su construcción.

La aparición de nuevos materiales de construcción, principalmente el acero, dio paso a un replanteamiento de la situación. La teoría de estructuras elaboró los modelos de cálculo para la comprobación de los diseños cada vez más atrevidos de los ingenieros, como arcos y armaduras para salvar grandes claros.

Además es de vital importancia para el país el traslado de personas y mercancías, a los centros de producción económica y centros de consumo, Guatemala cuenta con una extensa red de transportes aéreos, marítimos y terrestres. Esta última, esta formada por la red nacional de carreteras. Por lo tanto conservar el buen estado del funcionamiento vial es de suma importancia, ya que permite alcanzar los grandes objetivos fijados en los planes de desarrollo y que se traduce en última instancia en elevar la calidad de vida de los habitantes.

El objetivo general de la tesis es exponer y analizar las etapas de la conservación de puentes carreteros (supervisión, evaluación y mantenimiento), con la finalidad de proponer una guía práctica, analizando los recursos para la inspección, los métodos de evaluación y los procedimientos de mantenimiento, en el proceso de la conservación de puentes carreteros en Guatemala.

## II. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES SOBRE PUENTES Y SU CONSERVACIÓN.

### 1. DEFINICIÓN DE PUENTE

Un puente es una estructura destinada a salvar obstáculos naturales, como ríos, valles, lagos o brazos de mar; y obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras, con el fin de unir caminos de viajeros, animales y mercancías.

La infraestructura de un puente está formada por los estribos o pilares extremos, las pilas o apoyos centrales y los cimientos, que forman la base de ambos. La superestructura consiste en el tablero o parte que soporta directamente las cargas y las armaduras, constituidas por vigas, cables, o bóvedas y arcos que transmiten las cargas del tablero a las pilas y los estribos.

Para designar su función se dirá: puente para carretera, puente para ferrocarril, puente móvil.

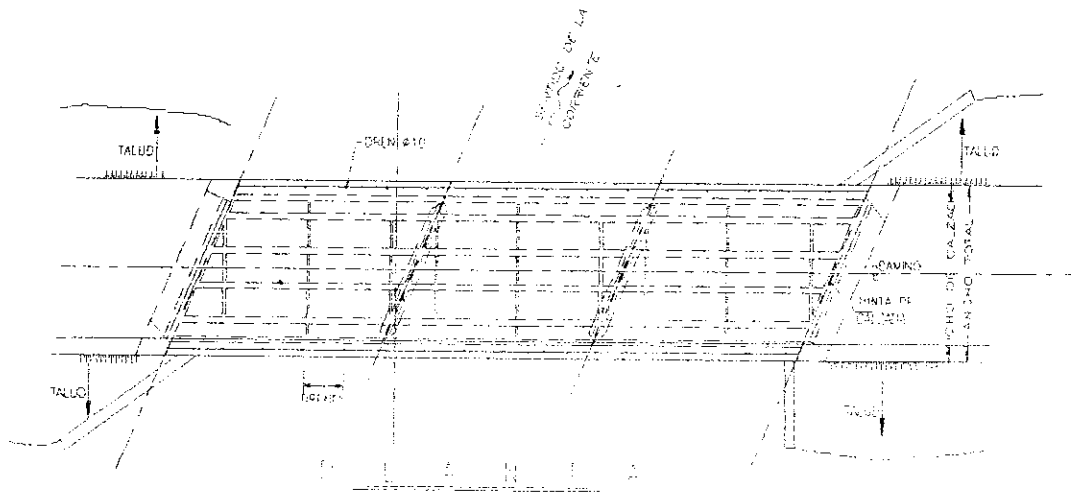
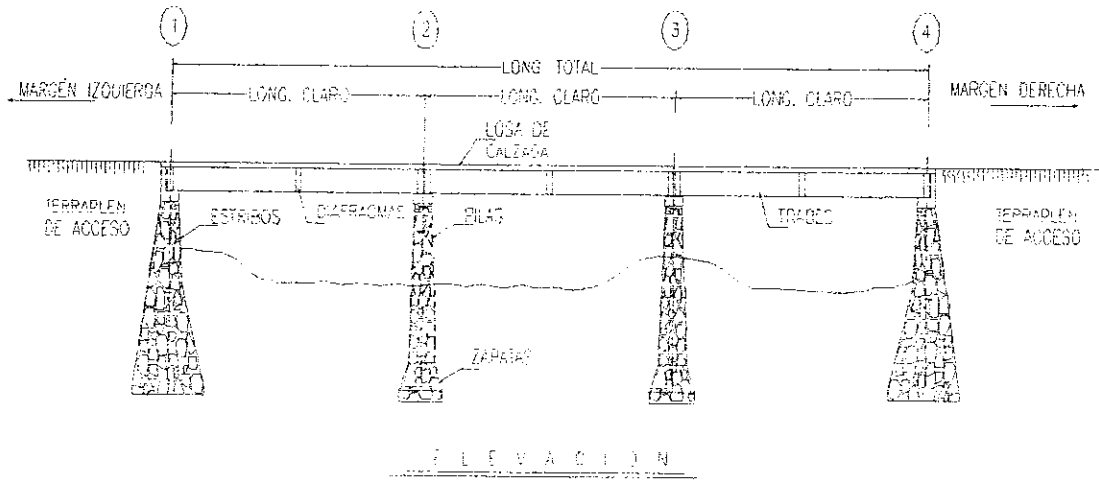
La palabra viaducto se reserva para los puentes largos, con frecuencia de claros prolongados, y altura constante.

Un puente se divide en tramos, separados por las pilas y que terminan en los estribos.

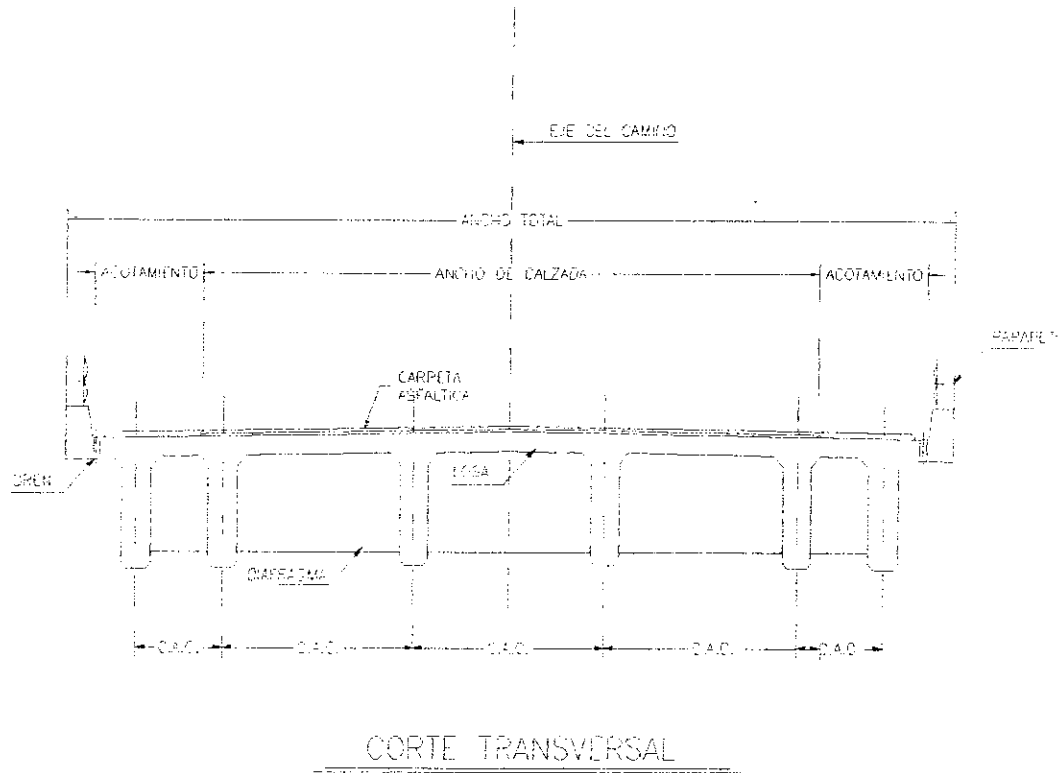
Las partes que forman un puente son:

En la superestructura	Elementos portantes (Generalmente vigas). Diafragmas. Sistemas de piso (Losas).
En la subestructura	Pilas y estribos. Sistemas de apoyo. Otros elementos de soporte de la superestructura.
En la cimentación	Pilotes. Zapatas de cimentación. Pilastrones. Juntas de dilatación. Sistemas de drenaje.
En el equipamiento	Parapetos. Señalizaciones.

**Fig.1:Partes que conforman un puente**



**Fig.1.1:Continuación de partes que conforman un puente**



## 2. ALGUNAS CLASIFICACIONES

A los puentes los podemos clasificar según su función y utilización, materiales de construcción y tipo de estructura.

A los puentes según su función y utilización se les puede clasificar en:

- peatonales.
- viaductos o pasos carreteros.
- viaductos o pasos ferroviarios.

Según sus materiales de construcción, los puentes podrán ser de:

- madera.
- mampostería.
- acero estructural.
- concreto armado.
- concreto presforzado.

Dependiendo del tipo de estructura, los puentes podrán ser de:

- libremente apoyados.
- tramos continuos.
- arcos.
- atirantados.
- colgantes.
- doble voladizos.

### 3. SOLICITACIONES PARA PUENTES CARRETEROS.

#### 3.1. SOLICITACIONES GEOMÉTRICAS.

**3.1.1 ESPACIAMIENTO ENTRE PILAS, ORIENTACIÓN Y TIPO.** Las pilas de un puente deben ubicarse de acuerdo con los requerimientos de la navegación y de manera que produzcan la mínima obstrucción a la corriente. En general, deben colocarse paralelamente a la dirección de la misma en épocas de avenidas. Asimismo, para dar paso a los materiales de arrastre y a los hielos, los claros del puente y el espacio libre vertical deberán tener la amplitud adecuada, de acuerdo con el tipo de pila y, en caso necesario emplear desviadores de materiales de arrastre.

**3.1.2 ANCHO DE CALZADAS Y BANQUETAS.** El ancho de la calzada será el ancho libre entre las partes inferiores de las guarniciones medido normalmente al eje longitudinal del puente; Si las guarniciones no existen el ancho libre será la distancia mínima entre las cara interiores del parapeto del puente.

El ancho de la banqueta será el ancho libre entre la cara interior del parapeto y la parte extrema de la guarnición o guardarueda exterior medido normalmente al eje longitudinal del puente, salvo que exista una armadura, trabe o parapeto adyacente a la guarnición, en cuyo caso, el ancho se medirá hasta la orilla exterior de la banqueta.

La cara de la guarnición se define como el parámetro interior, vertical o inclinado de la propia guarnición. Las dimensiones horizontales del ancho de la calzada y de la guarnición se toman desde la base, o desde la base del paño inferior, si se trata de guarniciones escalonadas. El ancho máximo de las guarniciones redondeadas será de 0.23 m.

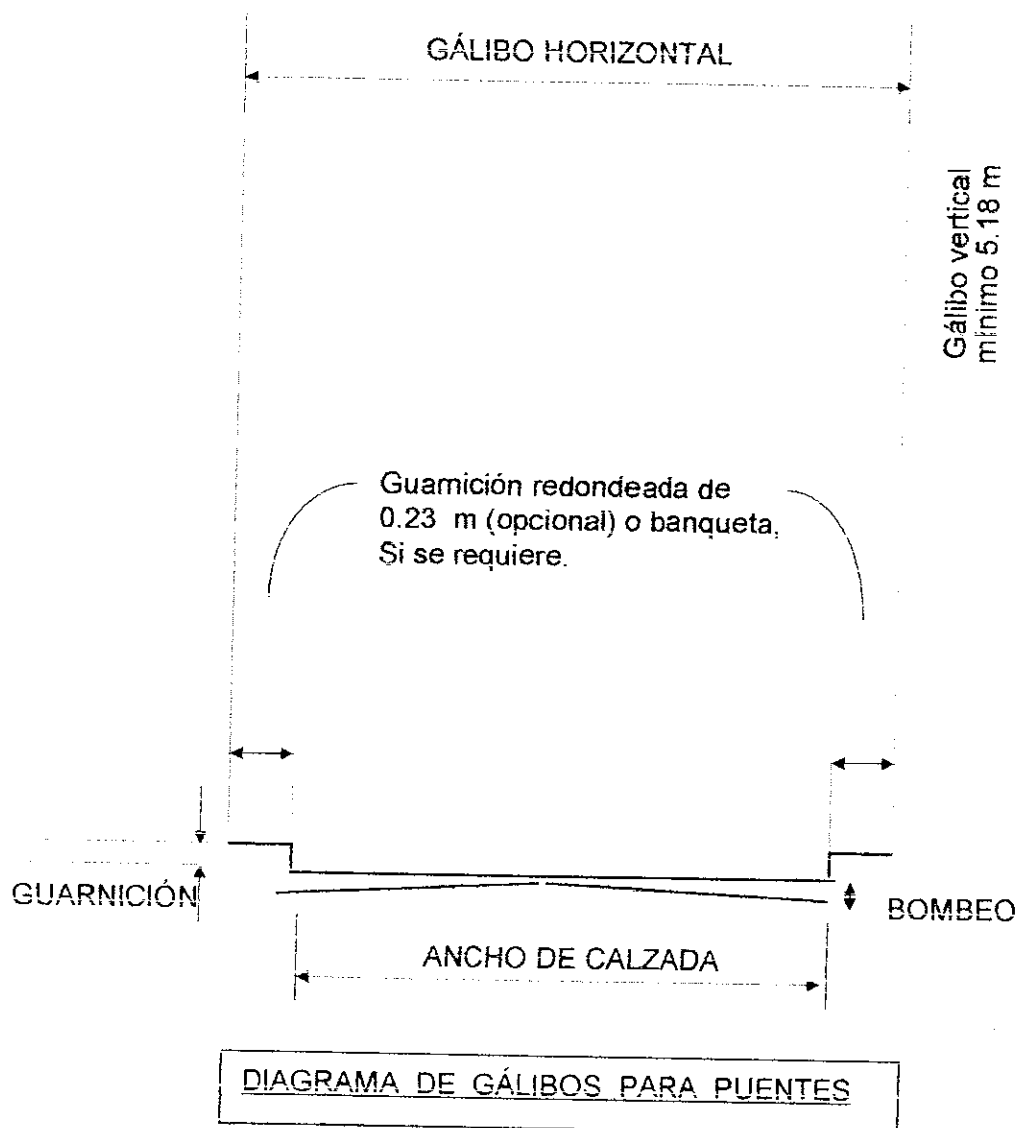
En los tramos de acceso con guarnición y cuneta, ya sea en uno o en ambos extremos del puente, la altura de la guarnición del puente debe coincidir con la de acceso, o ser, preferentemente, mayor. Cuando no se asignen guarniciones en el acceso, la altura de la guarnición en el puente no será menor de 0.20 m y de preferencia no mayor de 0.25 m.

Cuando se requieran banquetas para el tránsito de peatones en las vías rápidas urbanas, deberán aislarse de la calzada del puente por medio de parapetos.

### 3.1.3 GÁLIBOS.

- De navegación.- La autorización para la construcción de un paso sobre una vía navegable, exceptuando aquellas que por su categoría se hallen previamente autorizadas por la Comandancia de la Guardia Costera, deban obtenerse de esta propia comandancia y de las demás autoridades competentes.
- Vehicular.- Para la circulación de vehículos, el gálibo horizontal será el ancho libre, en tanto que el gálibo vertical será la altura libre, tal como se muestra en la figura siguiente:

Fig. 2 : Diagrama de gálibos para puentes



**3.1.4 PARAPETOS.** Deberán instalarse parapetos a ambos lados de la estructura del puente para protección tanto del tránsito como de los peatones, cuando existan banquetas.

En los puentes que no pertenezcan a vías rápidas urbanas y que dispongan de banquetas adyacentes a las calzadas, deberá instalarse entre estas dos el parapeto o barrera para calzada, además de un parapeto para banqueta en el lado exterior.

- Parapetos para calzada.- Aunque el propósito principal de los parapetos para calzada es controlar el tránsito que circula por la estructura, deben tomarse en cuenta otros factores, como son la protección de los ocupantes del vehículo en caso de colisión, y a los peatones que circulan en el puente, además de la buena apariencia y la suficiente visibilidad para los vehículos que lo transiten.

Los materiales empleados en los parapetos para calzada serán: concreto, acero o una combinación de ellos. La altura del parapeto para calzada no será menor de 0.69 m, medida desde la corona de la calzada o guarnición al remate superior del parapeto.

- Parapetos para banquetas.- Los elementos de estos parapetos se calcularán de acuerdo con el tipo y volumen del tránsito de peatones calculado en el proyecto, tomando en cuenta la buena apariencia, la seguridad y la suficiente visibilidad por parte de los conductores.

Los materiales empleados en estos parapetos serán: concreto, acero o una combinación de estos materiales. La altura mínima será de 0.91 m (preferentemente 1.07 m.), medida desde la superficie de la banqueta hasta el remate del barrote superior del parapeto.

**3.1.5 DRENAJE DE LA CALZADA.** El drenaje transversal se efectuará por medio del bombeo que se da a la carpeta, y el drenaje longitudinal, por medio de la contraflecha del claro, o bien por la pendiente de la rasante. El agua que se drene por las cunetas del camino debe desviarse, no permitiendo, de ninguna manera, que fluya sobre el puente. Los puentes cortos, de un solo claro, particularmente pasos superiores, pueden construirse sin drenes, efectuándose el drenaje de la calzada del puente mediante conductos abiertos o cerrados colocados en los extremos de la estructura. El drenaje longitudinal de los puentes largos se realiza por medio de drenes o coladeras de dimensiones y en número suficiente para desalojar debidamente la cuneta. La disposición de los drenes del puente se hará en forma tal que el agua no descargue sobre ningún elemento de la estructura, para evitar su erosión en dicho sitio. Cuando se requieran bajadas, serán rígidas y de material resistente a la corrosión.

**3.1.6 SOBREELEVACIÓN.** En las curvas horizontales de un puente la sobre elevación se hará de acuerdo con las especificaciones establecidas para la construcción del camino, pero en ningún caso excederá del 10% del ancho de la calzada.

**3.1.7 REVESTIMIENTO DEL PISO DE PUENTES.** El revestimiento del piso de los puentes deberá ser de un material antiderrapante.

**3.1.8 INSTALACIONES DESTINADAS A SERVICIOS PÚBLICOS.** Cuando así se requiera, se tomarán las precauciones necesarias para alojar a las bases y los postes para los cables de los troles o del alumbrado, así como los ductos para el agua, cables de electricidad, teléfono, gas o drenaje.

### **3.2. SOLICITACIÓN DE CARGAS.**

**3.2.1.CARGAS.** Las estructuras se proyectarán considerando las siguientes cargas y fuerzas cuando existan:

- Carga muerta
- Carga viva
- Impacto o efecto dinámico de la carga viva.
- Cargas por viento
- Otras fuerzas, cuando existan, tales como:
  - Fuerzas longitudinales
  - Fuerza centrífuga.
  - Fuerzas por cambios de temperatura.
  - Empujes de tierra.
  - Subpresión.
  - Esfuerzos por contracción del concreto.
  - Esfuerzos de erección.
  - Presión de la corriente de agua.
  - Esfuerzos por sismo.

Los miembros del puente se proyectarán tomando en cuenta los esfuerzos permisibles y las limitaciones del material empleado de acuerdo con las especificaciones AASHTO.

En la hoja para cálculo de esfuerzos se incluirá un diagrama o notas sobre las cargas consideradas y por separado se indicaran los esfuerzos debidos a las diferentes cargas.

Cuando las condiciones del proyecto así lo requieran, se registrará el orden sucesivo de los colados de concreto en los planos o bien en las especificaciones complementarias.

**3.2.1.1. CARGA MUERTA.** La carga muerta estará constituida por el peso propio de la estructura ya terminada, incluyendo la carpeta asfáltica, banquetas, parapetos, tuberías, conductos, cables y demás instalaciones para servicios públicos.

Cuando, al construir el puente, se coloque sobre la carpeta una capa adicional para desgaste, o cuando se piense ponerla en el futuro, deberá tomarse en cuenta al calcular la carga muerta.

Por lo regular al calcularse la carga muerta se consideran los siguientes pesos volumétricos:

Hierro fundido .....	7,800 Kg/m <sup>3</sup>
Aleaciones de aluminio .....	2,800 Kg/m <sup>3</sup>
Madera (tratada o sin tratar) .....	800 Kg/m <sup>3</sup>
Acero estructural.....	7,850 Kg/m <sup>3</sup>
Concreto simple .....	2,300 Kg/m <sup>3</sup>
Concreto reforzado .....	2,400 Kg/m <sup>3</sup>
Arena, tierra, grava o balasto compactados .....	1,920 Kg/m <sup>3</sup>
Arena, tierra o grava sueltas .....	1,600 Kg/m <sup>3</sup>
grava compactadas con aplanadora .....	2,240 Kg/m <sup>3</sup>
Relleno de escorias .....	960 Kg/m <sup>3</sup>
Pavimento (excluyendo adoquinado de madera) .....	2,300 Kg/m <sup>3</sup>
Vía de FF.CC. (riel, guardariel, accesorios de vía) .....	3,200 Kg/m <sup>3</sup>
Mampostería .....	2,720 Kg/m <sup>3</sup>
Tablón asfáltico de 2.5 cm de espesor .....	22 Kg/m <sup>2</sup>

**3.2.1.2. CARGA VIVA.** La carga viva consistirá en el peso de la carga móvil aplicada, correspondiente al peso de los camiones, automóviles y peatones.

**3.2.1.3. CARGAS PARA CALZADAS.** Los elementos portantes y piezas de puentes se diseñarán con la carga de camión HS-20, T3-S3 y T3-S2-R4, tomando como carga de diseño la que produzca los mayores elementos mecánicos de acuerdo con la distribución de claros.

**3.2.1.4. CARGAS PARA BANQUETAS.** Los pisos, largueros y apoyos inmediatos a las banquetas, se proyectaran para una carga viva de 415 Kg/m<sup>2</sup>. Las traveses de sección compuesta, armaduras, arcos y otros miembros, se proyectarán para las siguientes cargas vivas sobre la banqueta:

Claros de hasta 7.62 m de longitud .....	415 Kg/m <sup>2</sup>
Claros de 7.62 m a 30.48 m de longitud .....	293 Kg/m <sup>2</sup>

Claros mayores que 30.48 m de longitud, de acuerdo con la formula siguiente:

$$P = \left( 146.46 + \frac{4464.48}{L} \right) \left( \frac{16.76 - A}{15.24} \right)$$

Donde :

P = Carga viva por metro cuadrado con un valor máximo de 293 Kg/m<sup>2</sup>

L = Longitud cargada de banqueta, en metros.

A = Ancho de banqueta, en metros.

Al calcular los esfuerzos en estructuras que soporten las banquetas en voladizo, se considerará la banqueta cargada completamente en un solo lado de la estructura, si esa condición es la que produce los esfuerzos máximos en la misma.

**3.2.1.5. CARGAS PARA GUARNICIONES.** Las guarniciones se proyectarán para que resistan una fuerza lateral no menor de 774 Kg por metro lineal de guarnición, aplicada en la parte superior de la guarnición, o a 0.25 m arriba del piso, si la guarnición es mayor de 0.25 m.

### **3.2.1.6. CARGAS SOBRE PARAPETOS.**

- **PARAPETOS PARA CALZADAS.** Las piezas del parapeto se proyectarán para resistir una fuerza lateral horizontal (P) de 4,536 Kg dividida entre los diversos miembros situados a 0.38 m ó mas, arriba del piso del puente (o remate de la guarnición con un ancho mayor que 0.15 m.).

Todos los miembros entre los que se distribuya esta carga lateral, deberán tener sus caras del lado de la calzada, en un plano vertical común que pase 2.5 cm del extremo.

Los miembros del parapeto que se encuentren a más de 0.025 m de dicho plano, o a menos de 0.38 m arriba del piso del puente (o remate de la guarnición con un ancho mayor que 0.15 m), se proyectarán para resistir una carga lateral igual a la aplicada en los parapetos para calzada adyacentes, siempre que esa carga no exceda de 2,268 Kg.

- **PARAPETOS PARA BANQUETA.** Los parapetos para banquetas se proyectarán para resistir una carga mínima:  $W=7404$  Kg por metro lineal, aplicada simultáneamente tanto en sentido transversal como en sentido vertical, sobre los miembros longitudinales del parapeto. Quedan excluidos de estos requerimientos los miembros que se hallen colocados a mas de 1.54 m arriba de la banqueta.

Los postes se proyectarán para resistir una carga transversal, la que actúa en el centro de gravedad del barrote superior, o a una altura máxima de 1.54 m arriba de la banqueta cuando se trata de parapetos altos.

**3.2.1.7 IMPACTO.** En las estructuras comprendidas en el grupo A subsiguiente, los esfuerzos por carga viva producidos por las cargas H y HS deberán incrementarse en la cantidad que aquí se indica, por los efectos dinámico, vibratorio y de impacto.

El impacto no deberá aplicarse a los elementos del grupo B.

## GRUPO A.

- Superestructura, incluyendo columnas de acero o de concreto, torres de acero, columnas de marcos rígidos, y en general, aquellas partes de la estructura que se prolonguen hasta la cimentación principal.
- La parte de los pilotes de concreto o de acero que sobresalgan del nivel del terreno y que se hallen rígidamente conectados a la superestructura, ya sea formando marcos rígidos o como parte de la estructura misma.

## GRUPO B.

- Estribos, muros de contención, pilas, pilotes (exceptuando lo especificado en el grupo A 2).
- Cimentaciones y presiones en las cimentaciones.
- Estructuras de madera.
- Cargas para banquetas.
- Alcantarillas y estructuras que tengan un colchón de tierra de 0.91 m de espesor o mayor.
- FÓRMULA DE IMPACTO. La cantidad permisible en que se incrementan los esfuerzos se expresa como una fracción de los esfuerzos por carga viva, y se determinara con la fórmula siguiente:

$$I = \frac{15.24}{L + 38.10}$$

Donde:

I = Impacto, en porcentaje (máximo 30%)

L = Longitud, en metros, de la parte del claro que debe cargarse para producir el máximo esfuerzo en el miembro.

Para uniformar su aplicación, la longitud cargada, "L", se considerara específicamente como sigue:

- Para pisos de calzada, emplear la longitud del claro marcada en el proyecto.
- Para miembros transversales, tales como piezas de puente, usar la longitud del claro del miembro, entre centros de apoyo.

- Para calcular momentos debidos a cargas de camión, usar la longitud del claro. Para tramos en voladizo, se usara la longitud desde el centro de momentos hasta el eje más alejado del camión.
- Para esfuerzo cortante debido a cargas de camión, usar la longitud de la parte cargada del claro, desde el punto en consideración hasta la reacción más alejada. Para tramos en voladizo, considérese el 30%.
- En claros continuos, empléese la longitud del claro considerado para momento positivo y para momento negativo, el promedio de los dos claros adyacentes cargados.

**3.2.1.8 FUERZAS LONGITUDINALES.** Deberá considerarse el efecto de una fuerza longitudinal del 5% de la carga viva en todos los carriles destinados al transito en una misma dirección. En aquellos puentes donde se considere puedan llegar a ser en el futuro de una sola dirección, deberán considerarse cargados todos sus carriles.

#### **4. CONSERVACIÓN DE PUENTES**

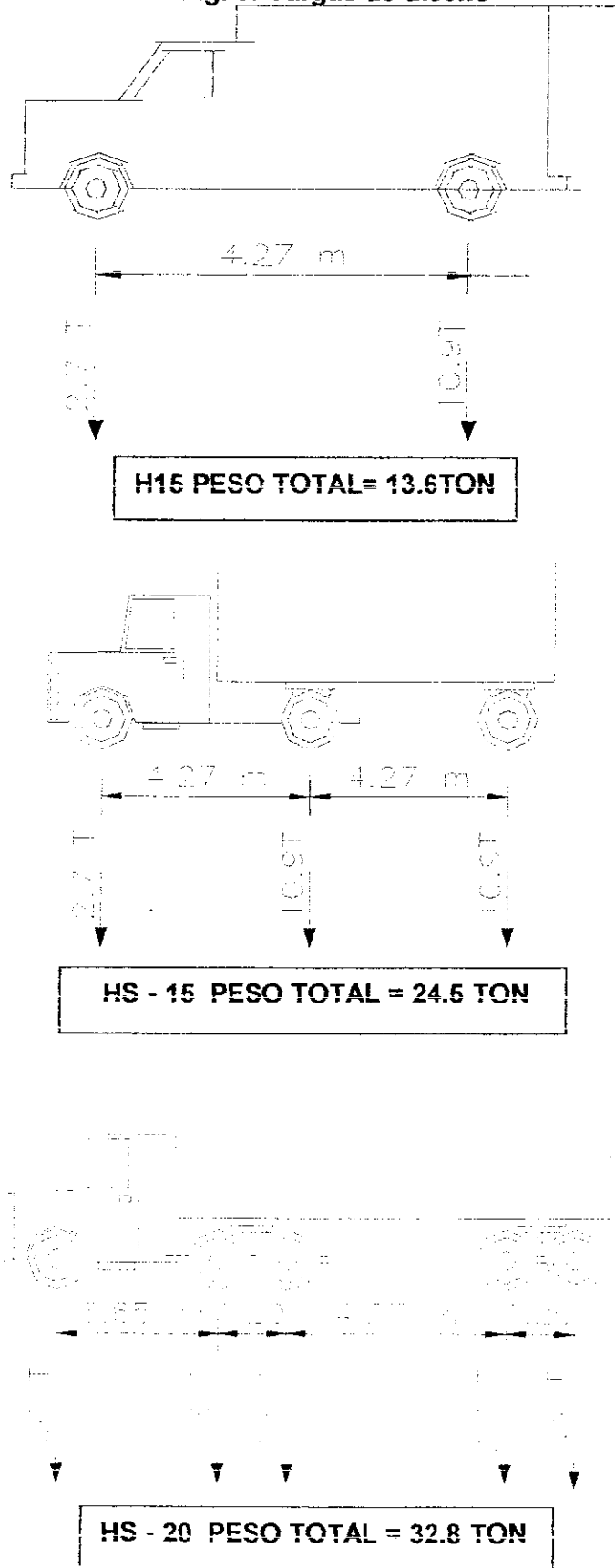
**4.1. INTRODUCCIÓN.** La infraestructura de un país y su desarrollo constituyen la plataforma más importante para su crecimiento económico. En este contexto la infraestructura que permite la comunicación por vía terrestre, se ha convertido en un elemento de gran trascendencia de integración nacional, al permitir el desplazamiento de su población a lo largo del territorio nacional y al poner en contacto a productores, distribuidores y consumidores para hacer realidad la actividad económica.

En cuanto a las cargas de diseño, como el 70% de los puentes fueron construidos antes de 1980, se proyectaron, por lo mismo, para un vehículo tipo (H-15) con peso de 13.6 Ton. y carga máxima para un eje de 10.9 Ton.

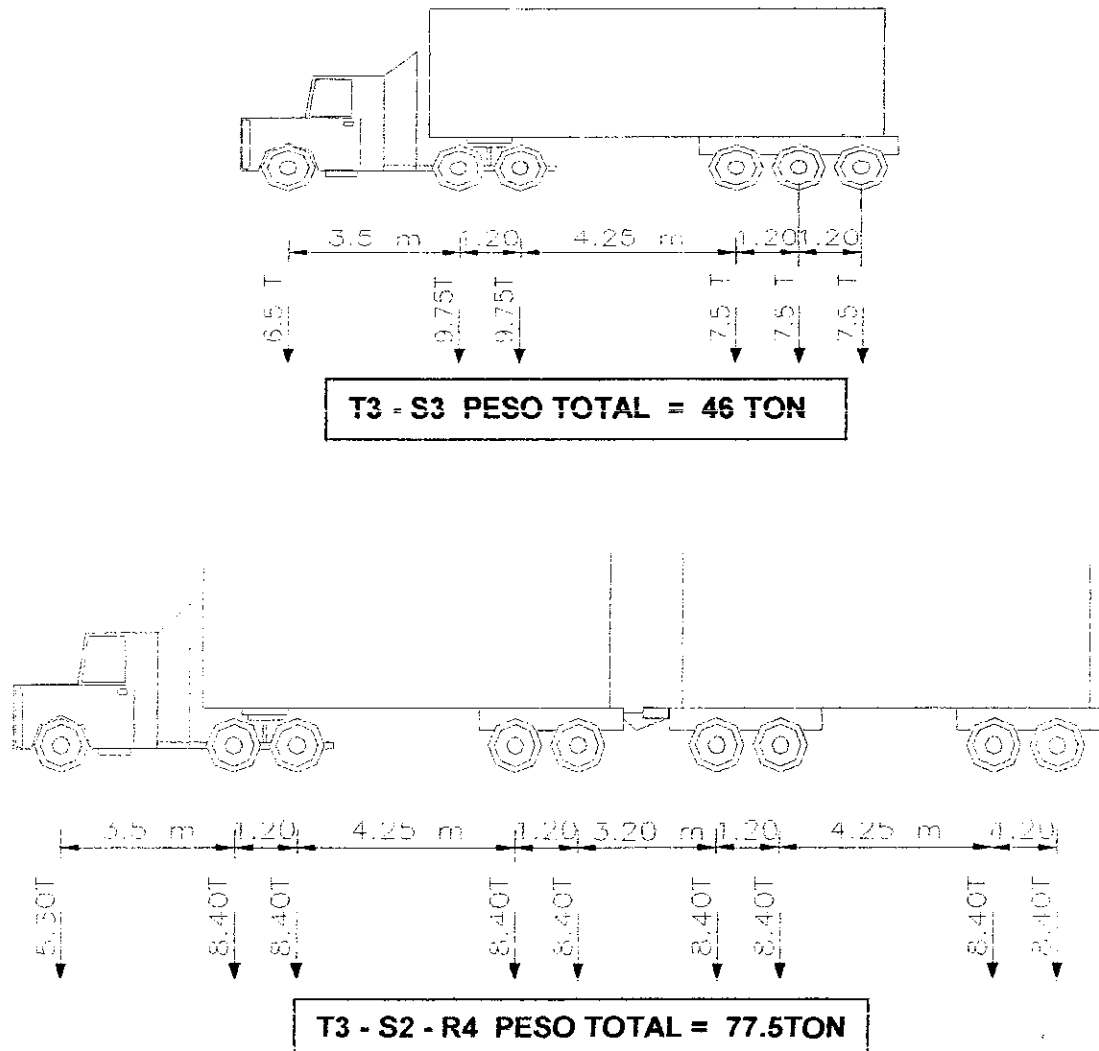
De 1950 a 1960, el vehículo de diseño fue el HS-15 de 24.5 Ton. con una descarga máxima por eje de 10.9 Ton. y, a partir de 1970, se adopto un incremento en el peso del vehículo tipo (HS-20), para llegar a una carga total de 32.8 Tons. con una descarga máxima por eje de 14.6 Tons.

A partir de 1980, cargas como la T3-S3, con un peso total de 46 Ton. y otras de mayores pesos están circulando por nuestra red nacional, de tal manera que la normatividad vigente al peso y otras dimensiones de los vehículos, permita mayor carga en los ejes tandem que en el 66% de los reglamentos del ámbito mundial y en los tres ejes nuestro reglamento permite mas carga que el 52% de todos los reglamentos del mundo. Pero es más notable en la doble combinación vehicular compuesta por tractor, semiremolque y remolque (T3-S2-R4) de 77.5 Ton. de peso y descarga máxima por eje de 18 Ton., en la que se supera el 96% de los países.

Fig. 3: Cargas de diseño



**Fig. 3.1: Continuación cargas de diseño**



**4.2. DEFINICIÓN Y OBJETIVOS.** Se puede definir el término conservación de estructuras como: El conjunto de operaciones y trabajos necesarios para que una obra se mantenga con las características funcionales, resistentes e incluso estéticas con las que fue proyectada y construida. Y se puede dividir este conjunto de operaciones y trabajos en tres fases: inspección, evaluación y mantenimiento.

Sus objetivos fundamentales son:

- Garantizar que el mantenimiento de los puentes de la red puentera se lleve a cabo de una manera óptima.

- Jerarquizar las necesidades de los proyectos de rehabilitación y de la ejecución de las obras.
- Realizar la optimización de los presupuestos anuales.
- Ejecutar proyecciones de los requerimientos de presupuesto para un periodo de cinco años.
- Optimizar los criterios de evaluación para que los proyectos de reparación de los puentes sean lo mas próspero posible.

**4.3 NECESIDAD DE CONSERVAR LOS PUENTES.** 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 la 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, roca 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 otra vez a convertirse 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.

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 y, por otra parte, el desarrollo económico se ha reflejado en un notable incremento del parque vehicular. Por estas razones, las entidades responsables de la operación de redes carreteras deben considerar la conservación de los puentes como una parte obligada de su quehacer a fin de mantener los niveles adecuados de seguridad y servicio de las estructuras.

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 este rezago, pueden señalarse las siguientes:

- Escasez de recursos. La crisis económica en la que se ve inmerso nuestro país, motiva a un considerable descenso del gasto público y una minimización de recursos disponibles para llevar a cabo la conservación. Por el contrario la crisis debe ser 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 (tercerías 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 cuantiosas e interrupciones más prolongadas del tránsito que con los pavimentos.

- Impopularidad de la conservación. El crecimiento demográfico, el acceso de grupos cada vez mayores a mejores niveles de vida y la urbanización creciente generan una gran demanda de diversas obras nuevas de infraestructura, ante las cuales la conservación de las obras ya existentes resulta una tarea poco atrayente para la sociedad y sus dirigentes y queda, por tanto, en desventaja en 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. Por estas razones, conservarlos es una necesidad esencial.

**4.4. ESTRATEGIAS Y PROGRAMAS DE CONSERVACIÓN DE PUENTES CARRETEROS.** El deterioro de nuestros puentes es debido, principalmente, a factores como: edad, diseño, defectos de construcción, incremento de cargas, medio ambiente adverso y a un mantenimiento inadecuado y diferido.

Sin duda que la capacidad para establecer objetivamente las prioridades y de formular estrategias adecuadas para atenderlas, depende de que se logren programas más eficaces que permitan, en primer término, preservar la inversión en las estructuras existentes y proporcionar niveles continuos y adecuados de seguridad y comodidad a los usuarios.

En nuestro país no hay programas establecidos para la conservación de puentes, por lo general cada dependencia que tiene bajo su responsabilidad el cuidado de cierto número de puentes, tiene un programa que aplica de una forma no muy ambiciosa y mucho menos exitosa. Por lo cual nos vemos obligados a copiar programas establecidos por otros países, y estos mismos son utilizados por muchas empresas encargadas del mantenimiento en el país.

Finalmente, conviene señalar que para que los programas implementados para la conservación de carreteras funcionen, deben cumplir minimamente los siguientes puntos:

- Uniformizar los criterios de inspección de todas las Residencias generales de Conservación de Carreteras.
- Actualizar sistemáticamente la base de datos del estado de los puentes, por lo menos una vez al año.
- Contar con los recursos necesarios para mantener el sistema en operación, sobre todo recursos financieros, mayor apoyo en los presupuestos para conservación de puentes
- Corregir errores y detalles de diseño, conforme se vaya adquiriendo experiencia, en el campo de fallas de puentes, incluyendo el ajuste a las normas de diseño existentes.
- Una buena planeación de los programas de conservación de puentes.

### III. CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES CARRETEROS.

#### 1. INTRODUCCIÓN.

Debemos trabajar con una calidad integral, para un buen funcionamiento y mínima conservación, ya que con ello se pueden alcanzar los grandes objetivos fijados en los planes de desarrollo y que se traducen, en última instancia, en elevar la calidad de vida de los habitantes.

No llevar un control de calidad, trae como consecuencia cuellos de botella locales o regionales, mismos que acarrear problemas más o menos importantes, pues entorpecen el fluir de las economías.

La calidad implica el estricto cumplimiento de las acciones bajo los parámetros clásicos de control de obras que todos conocemos: tiempo-costo-calidad, enmarcados dentro del rubro de seguridad.

El concepto anterior no debe limitarse, por lo generalizado de asociar la calidad con laboratorios, únicamente al cumplimiento de normas y especificaciones, sino en su más amplia acepción del concepto para el cumplimiento del contrato, dentro de lo siguiente:

- Tiempo. Suministro total de recursos oportunamente, cumplimiento de plazos, verificación de rendimientos, uso de programas de ruta crítica, etc.
- Costo. Análisis del mercado local, condiciones impositivas, entorno económico, vigilancia de la aplicación de los procedimientos de construcción, verificando rendimientos y costo, en general, de la obra. Cumplimiento del proyecto (materiales, líneas, etc.) vigilando oportunamente que dichos proyectos contemplen el volumen total de la obra, y por último, la aplicación de los precios unitarios pactados.
- Calidad. Cumplimiento de todas las especificaciones del proyecto en cuanto a características o normas ( ACI, ASTM, etc. ) haciendo uso, para el control de las mismas, de todas las pruebas establecidas.

Los dos primeros parámetros (costo y tiempo), en ocasiones, por necesidades de la obra, pueden ser susceptibles de modificarse o variar; sin embargo debemos pugnar porque esto no ocurra; siempre debemos ver que la calidad no se cambie para el mal de la obra.

El concepto de calidad total o calidad integral se requiere para que las obras cumplan óptimamente para el fin que fueron diseñadas dentro de los parámetros de servicio y funcionalidad. La calidad total o calidad integral debe servir para la prevención y no la corrección.

Con el fin de cumplir con el proyecto, y que éste tenga una calidad total, se utilizan, por lo general, tres tipos de especificaciones para un proyecto: de proyecto, de materiales y de diseño.

Las especificaciones de proyecto, junto con los planos, suministra a los contratistas información completa referente a los requisitos precisos establecidos por el propietario y el ingeniero para la estructura terminada.

Las especificaciones de materiales son establecidas principalmente de copias de la Sociedad Americana para ensayo de Materiales (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS), ASTM, y varias oficinas locales o estatales.

Aunque una obra se apegue a los estándares del proyecto en cuanto a la resistencia, compacidad, relación a/c, curado y recubrimientos, y estos sean logrados satisfactoriamente; sólo se garantiza que la velocidad de degradación no será muy rápida, pero en ningún caso que la durabilidad del concreto armado no será indefinida.

Si nos atenemos al material principal con el que se ha construido el tablero podemos clasificar los puentes en: prefabricados, metálicos, concreto armado o presforzado.

**2. MAMPOSTERÍA.** La resistencia de la mampostería depende principalmente de la resistencia de la pieza y en menor grado de la del mortero, es por tanto, importante, utilizar piezas sanas, por la falta de métodos de ensayo. La resistencia a la compresión de las piedras varía desde 100 Kg/cm<sup>2</sup> (areniscas suaves hasta más de 2000 Kg/cm<sup>2</sup> (granitos y basaltos). Se permiten en la mampostería de piedras naturales morteros de menor calidad que para mampostería de piedras artificiales.

### **3. ACERO.**

#### **Ventajas del acero como material estructural:**

Alta resistencia.- La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será poco el peso de las estructuras, esto es de gran importancia en puentes de grandes claros.

Uniformidad.- Las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo como es el caso de las estructuras de concreto reforzado.

**Durabilidad.-** Si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado duraran indefinidamente.

**Ductilidad.-** La ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente, evitando así fallas prematuras.

**Tenacidad.-** Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. La propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad.

**Otras ventajas importantes del acero estructural son:**

- Gran facilidad para unir diversos miembros por medio de varios tipos de conectores como son la soldadura, los tornillos y los remaches.
- Posibilidad de prefabricar los miembros de una estructura.
- Rapidez de montaje.
- Gran capacidad de laminarse y en gran cantidad de tamaños y formas.
- Resistencia a la fatiga.
- Posible rehúso después de desmontar una estructura.
- Posibilidad de venderlo como "chatarra".

**Desventajas del acero como material estructural:**

**Costo de mantenimiento.-** La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al agua y al aire y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente.

**Costo de la protección contra el fuego.-** Aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios.

**Susceptibilidad al pandeo.-** Entre más largos y esbeltos sean los miembros a compresión, mayor es el peligro de pandeo. Como se indicó previamente, el acero tiene una alta resistencia por unidad de peso, pero al utilizarse como columnas no resulta muy económico ya que debe usarse bastante material, sólo para hacer más rígidas las columnas contra el posible pandeo.

**NOTA:** El acero estructural puede laminarse en forma económica en una gran variedad de formas y tamaños sin cambios apreciables en sus propiedades físicas. Generalmente los miembros estructurales más

convenientes son aquellos con grandes momentos de inercia en relación con sus áreas. Los perfiles I, T y [ tienen esta propiedad.

#### 4. CONCRETO

**4.1. CONCRETO REFORZADO.** Además de los aspectos funcionales y económicos especiales del concreto como material de construcción de puentes, ciertas propiedades mecánicas y físicas son importantes con respecto a la aplicación y el comportamiento del concreto.

Las varillas para el refuerzo de estructuras de concreto reforzado, se fabrican en forma tal de cumplir con los requisitos de las siguientes Especificaciones ASTM: A-615 "Varillas de Acero de Lingotes Corrugadas y Lisas Para Concreto Reforzado", A-616 "Varillas de Acero de Riel Relaminado Corrugadas y Lisas para Refuerzo de Concreto", o la A-617 "Varillas de Acero de Eje Corrugado y Lisas Para concreto Reforzado".

Las varillas se pueden conseguir en diámetros nominales que van desde 3/8 de pulg. hasta 1 3/8 de pulg., con incrementos de 1/8 de pulg., y también en dos tamaños más grandes de más a menos 1 3/4 y 2 1/4 de pulg.

Es importante que entre el acero de refuerzo exista adherencia suficientemente resistente entre los dos materiales. Esta adherencia proviene de la rugosidad natural de las corrugaciones poco espaciadas en la superficie de las varillas.

Las varillas se pueden conseguir de diferentes resistencias. Los grados 40, 50 y 60 tienen resistencias mínimas especificadas para la fluencia de 276, 345 y 414 N/mm<sup>2</sup> respectivamente. La tendencia actual es hacia el uso de varillas del grado 60.

**4.2. CONCRETO PRESFORZADO.** El preesfuerzo puede definirse en términos generales como el precargado de una estructura, antes de la aplicación de las cargas de diseño requeridas, hecho en forma tal que mejore su comportamiento general.

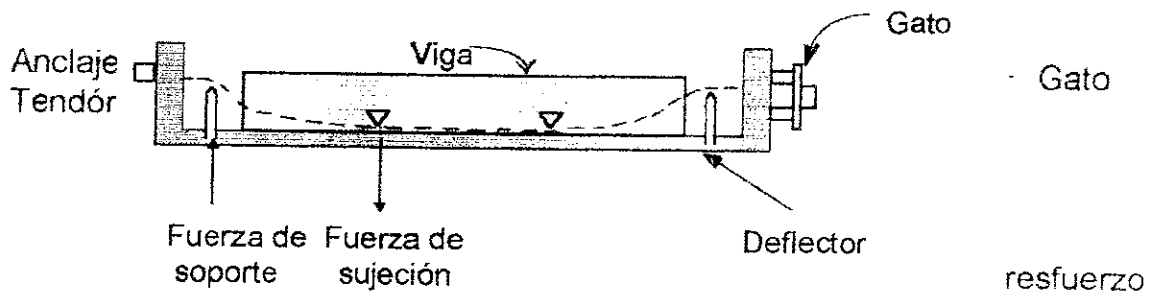
Una de las mejores definiciones del concreto presforzado es la del Comité de Concreto Presforzado del ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE), que dice:

((Concreto presforzado: Concreto en el cual han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos resultantes de las cargas externas dadas se equilibran hasta un grado deseado.)) 1998,211.

**4.2.1. MÉTODOS DE PRESFORZADO.** En el concreto presforzado existen dos categorías: pretensado o postensado. Los miembros del concreto pretensado presforzado se producen restirando o tensando los tendones entre anclajes externos antes de vaciar el concreto y al endurecerse el concreto fresco, se adhiere al acero. Cuando el concreto alcanza la resistencia requerida, se retira la fuerza presforzante aplicada por gatos, y esa misma fuerza es transmitida por adherencia, del acero al concreto. En el caso de los miembros de concreto postensado, se esfuerzan los tendones después de que ha endurecido el concreto y de que se haya alcanzado suficiente resistencia, aplicando la acción de los gatos contra el miembro de concreto mismo.

- **Pretensado.** Los tendones, generalmente son de cable torcido con varios tirones de varios alambres cada uno, se restiran o se tensan entre apoyos. Se mide el alargamiento de los tendones, así como la fuerza de tensión aplicada con los gatos. Con la cimbra en su lugar, se vacía el concreto en torno al tendón esforzado. A menudo se usa concreto de lata resistencia a corto tiempo, a la vez que es curado con vapor de agua, para acelerar el endurecimiento. Después de haberse logrado la resistencia requerida, se libera la presión de los gatos. Los tirones tienden a acortarse, pero no lo hacen por estar ligados al concreto por adherencia. En esta forma la fuerza de preesfuerzo es transferida al concreto por adherencia, en su mayor parte cerca de los extremos de la viga. Con frecuencia se usan uno, dos o tres depresores intermedios del cable para obtener el perfil deseado. Estos dispositivos de sujeción quedan embebidos en el elemento al que se le aplica el preesfuerzo.

**Fig. 4 : Pretensado**

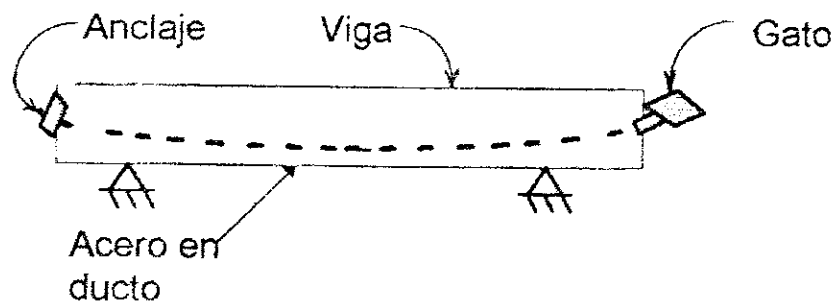


- **Postensado.** Cuando se hace el prestorzado por Postensado, generalmente se colocan en los moldes de las vigas ductos huecos que contienen a los tendones no esforzados, y que siguen el perfil deseado, antes de vaciar el concreto. Los tendones pueden ser alambres paralelos atados en haces, cables torcidos en tirones, o varillas de

acero. El ducto se amarra con alambres al refuerzo auxiliar de la viga (estribos sin reforzar) para prevenir su desplazamiento accidental, y luego se vacía el concreto. Cuando éste ha adquirido suficiente resistencia, se usa la viga de concreto misma para proporcionar la reacción para el gato de esforzado.

La tensión se evalúa midiendo tanto la presión del gato como la elongación del acero. los tendones se tensan normalmente todos a la vez ó bien utilizando el gato monotorón. Normalmente se rellenan de mortero los ductos de los tendones después de que éstos han sido esforzados. Se forza el mortero al interior del ducto en uno de los extremos, a alta presión, y se continua el bombeo hasta que la pasta aparece en el otro extremo del tubo. Cuando se endurece, la pasta une al tendón con la pared interior del ducto.

Fig. 5 : Postensado



**MÉTODO DEL POSTENSADO.** El uso de acero de alta resistencia para el preesfuerzo es necesario por razones físicas básicas. Las propiedades mecánicas de este acero tal como lo revelan las curvas de esfuerzo-deformación, son algo diferentes de aquellas del acero convencional usado para el refuerzo del concreto.

Las varillas de refuerzo comunes usadas en estructuras no presforzadas, también desempeñan un papel importante dentro de la construcción del presforzado. Se usan como refuerzo en el alma, refuerzo longitudinal suplementario, y para otros fines.

El concreto empleado en miembros presforzados es normalmente de resistencia y calidad más alta que el de las estructuras no presforzadas. Las diferencias en el módulo de elasticidad, capacidad de deformación y resistencia deberán tomarse en cuenta en el diseño y las características de deterioro asumen una importancia crucial en el diseño.

#### 4.2.1.1. TIPOS DE ACERO UTILIZADOS PARA EL CONCRETO PRESFORZADO.

- Los alambres redondos que se usan en la construcción de concreto presforzado postensado y ocasionalmente en obras pretensadas se fabrican en forma tal que cumplan con los requisitos de la especificación ASTM A-421, "Alambres sin Revestimiento, Relevados de Esfuerzo, para Concreto

Presforzado". Los alambres individuales se fabrican laminando en caliente lingotes de acero hasta obtener varillas redondas. Después del enfriamiento, las varillas se pasan a través de troqueles para reducir su diámetro hasta el tamaño requerido. En el proceso de esta operación de estirado, se ejecuta trabajo en frío sobre el acero, lo cual modifica grandemente sus propiedades mecánicas e incrementa su resistencia.

Los alambres se consiguen en cuatro diámetros tal como se muestra en la tabla siguiente:

**Cuadro 1. Tipos de alambre.**

Diámetro nominal (mm)	Mínima resistencia de Tensión (N/mm <sup>2</sup> )		Mínimo Esfuerzo para una Elongación de 1% (N/mm <sup>2</sup> )	
	Tipo BA	Tipo WA	Tipo BA	Tipo WA
4.88	*	1725	*	1380
4.98	1655	1725	1325	1380
6.35	1655	1655	1325	1325
7.01	*	1622	*	1295

\* "Estos tamaños no se suministran comúnmente para el alambre Tipo BA"

Los tendones están compuestos normalmente por grupos de alambres, dependiendo del número de alambres de cada grupo del sistema particular usado y de la magnitud de la fuerza pretensora requerida. Los tendones para prefabricados postensados típicos pueden consistir de 8 a 52 alambres individuales.

- **El cable trenzado** se usa casi siempre en miembros pretensados, y a menudo se usa también en construcción postensada. El cable trenzado se fabrica de acuerdo con la especificación ASTM A-416, "Cable Trenzado, Sin Revestimiento, de Siete Alambres, Relevado de Esfuerzos, Para Concreto Presforzado". Es fabricado con siete alambres firmemente torcidos alrededor de un séptimo de diámetro ligeramente mayor. El paso de la espiral del torcido es de 12 a 16 veces el diámetro nominal del cable. Los cables pueden obtenerse entre un rango de tamaños que va desde 6.35 mm hasta 0.60 mm de diámetro, se fabrican en dos grados: el grado 250 y 270 los cuales tienen una resistencia última mínima de 1720 y 1860 N/mm<sup>2</sup> respectivamente, estando estas basadas en el área nominal del cable.

A continuación se muestran en una tabla las propiedades del cable de siete alambres sin revestimiento que se deben cumplir:

**Cuadro 2. Propiedades del cable de siete alambres**

Diámetro nominal (mm)	Resistencia a la ruptura (kN)		Área nominal del cable (mm <sup>2</sup> )	Carga mínima para una elongación de 1% (kN)
Grado 250				
6.35	40.0		23.22	34.0
7.94	64.5		37.42	54.7
9.53	89.0		51.61	75.6
11.11	120.1		69.68	102.3
12.70	160.1		92.90	136.2
15.24	240.2		139.35	204.2
Grado 270				
9.53	102.3		54.84	87.0
11.11	137.9		74.19	117.2
12.70	183.7		98.71	156.1
15.24	260.7		140.00	221.5

En el caso de varillas de aleación de acero, la alta resistencia que se necesita se obtiene mediante la introducción de ciertos elementos de ligazón, principalmente manganeso, silicón y cromo durante la fabricación del acero. Las varillas se fabrican de manera que cumplan con los requisitos de la Especificación ASTM A-277, "Varillas de Acero de Alta Resistencia, Sin Revestimientos, Para Concreto Presforzado". Las varillas de acero de aleación se consiguen en diámetros que varían de 12.7 mm hasta 34.93 mm de diámetro y en dos grados, el grado 45 y el 160, teniendo resistencias últimas mínimas de 1000 y 1100 N/mm<sup>2</sup>, respectivamente, tal como se muestra en la tabla:

**Cuadro 2.1 Continuación propiedades del cable de siete alambres**

Diámetro nominal (mm)	Área nominal de la varilla (mm <sup>2</sup> )		Resistencia a la ruptura (kN)	Mínima carga para una elongación de 0.7 % (kN)
Grado 145				
12.70	127		125	111
15.88	198		200	178
19.05	285		285	258
22.23	388		387	347
25.40	507		507	454
28.58	642		641	574
31.75	792		792	712
34.93	958		957	859

Diámetro nominal (mm)	Área nominal de la varilla (mm <sup>2</sup> )		Resistencia a la ruptura (kN)	Mínima carga para una elongación de 0.7 % (kN)
		Grado 160		
12.70	127		138	120
15.88	198		218	191
19.05	285		316	276
22.23	388		427	374
25.40	507		561	490
28.58	642		708	619
31.75	792		872	765
34.93	958		1059	926

**Cuadro 2.2 Continuación propiedades del cable de siete alambres**

**4.2.1.2. TIPOS DE CONCRETO UTILIZADOS PARA EL CONCRETO PRESFORZADO.** Generalmente se requiere un concreto de mayor resistencia para el trabajo de presforzado que para el reforzado. La practica actual en puentes pide una resistencia a los cilindros de 28 días de 280 a 350 Kg/cm<sup>2</sup> para el concreto presforzado, mientras que el valor correspondiente para el concreto reforzado es de 170 Kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente. Un factor por el que es determinante la necesidad de concretos más resistentes, es que de alta resistencia está menos expuesto a las grietas por contracción que aparecen frecuentemente en el concreto de baja resistencia antes de la aplicación de preesfuerzo.

Es importante seguir todas las recomendaciones y especificaciones de cada proyecto a fin de cumplir con las solicitudes requeridas. Por lo general para obtener una resistencia de 350 Kg/cm<sup>2</sup>, es necesario usar una relación de agua-cemento no mucho mayor que 0.45. Con el objeto de facilitar la mezcla, se necesitará un revenimiento de 5 a 10 cm. Para obtener un revenimiento de 7.5 cm con una relación agua-cemento de 0.45 se requerirían alrededor de 10 sacos de cemento por metro cúbico de concreto. Si es posible un vibrado cuidadoso, se puede emplear concreto con un revenimiento de 1.2 cm o cero, y serían suficientes poco menos de 9 sacos por metro cúbico de concreto.

Puesto que con una cantidad excesiva de cemento se tiende a aumentar la contracción, es deseable siempre un factor bajo de cemento. Con este fin, se recomienda un buen vibrado siempre que sea posible, y para aumentar la maniobrabilidad pueden emplearse ventajosamente aditivos apropiados.

**5. NEOPRENO.** Las placas de hule para apoyos de puentes tienen tres ventajas importantes, son económicos, efectivos y no requieren de mantenimiento mayor.

- **ECONOMÍA.** Debido a la sencillez del proyecto, facilidad de fabricación y bajo costo de los materiales. Los apoyos de neopreno no tienen partes móviles, constan simplemente de una placa o más de neopreno de 2.5 cm aproximadamente de espesor colocada entre la trabe y la corona de la pila o estribo.
- **EFFECTIVIDAD.** Una ventaja muy importante del apoyo de neopreno es su efectividad como medio para la transferencia de la carga. Cuando soporta cargas de compresión la placa de hule, absorbe las irregularidades de la superficie y de esa manera las imperfecciones salientes como las hundidas que tiene la superficie de concreto todas soportan la carga.

No hay manera de que el apoyo sea inutilizado por la corrosión y que se transmita así un empuje excesivo a la pila o estribo sobre los que apoya la trabe.

- **MANTENIMIENTO.** La tercera ventaja importante de un apoyo de neopreno es que necesita menos conservación que cualquier otro elemento del puente.

El neopreno actualmente se usa para apoyos de puentes por dos razones importantes: tiene las propiedades físicas que se requieren y es altamente resistente al deterioro debido al intemperismo. A continuación se enumeran las características representativas del Neopreno:

**Resistencia.** La resistencia del neopreno a la compresión es más que suficiente para soportar cargas de puentes. Cuando el proyecto se ha hecho adecuadamente, el apoyo de neopreno puede soportar cargas a la compresión de hasta 70 Kg/cm<sup>2</sup>. Además la mayor parte de la deformación plástica tiene lugar en los primeros diez días de carga.

**Durabilidad.** En su resistencia al deterioro en neopreno es marcadamente superior al hule natural y a cualquier otro hule sintético y que pudiera satisfacer los requisitos físicos de las placas de apoyo para puente. La vida útil de un neopreno es de aproximadamente 40 años. Sin darle ningún tipo de mantenimiento sino hasta los 35 años.

Cuando un apoyo de neopreno se somete a la acción de una carga se deforma verticalmente. La deformación vertical no debe exceder del 15% del espesor antes de ser comprimido el apoyo. Cuando la deformación en compresión es mayor que 15% se producen esfuerzos internos dentro del neopreno que aceleran la rapidez de la deformación plástica y aceleran la rapidez del agrietamiento debido a intemperismo.

## IV. INSPECCIÓN.

### 1. DEFINICIÓN DE INSPECCIÓN.

Como ya sabemos se puede definir el término conservación de estructuras como: El conjunto de operaciones y trabajos necesarios para que una obra se mantenga con las características funcionales, resistentes e incluso estéticas con las que fue proyectada y construida. Y se puede dividir este conjunto de operaciones y trabajos en tres fases: inspección, evaluación y mantenimiento.

La primera de estas fases queda definida como el conjunto de acciones técnicas, realizadas de acuerdo con un plan previo, que facilitan los datos necesarios para conocer en un instante dado el estado de la estructura.

En el caso de otros tipos de estructuras, edificios, por ejemplo, el hecho de que exista una convivencia permanente hombre-estructura ayuda a detectar sus daños y deterioros. En cambio, al referirnos a obras civiles es necesario el establecimiento de una inspección sistemática de las mismas como única fuente para suministrar datos sobre la detección de los daños y la evaluación de su estado.

El concepto de seguridad va de la mano con los puentes, por lo que la opinión pública no admite el más mínimo riesgo de colapso en estas estructuras, aunque éste en realidad siempre exista puesto que técnica y económicamente la seguridad absoluta es imposible.

Se pueden distinguir dos tipos de fallas: las que se denominan catastróficas, caracterizadas por ser completas y repentinas y, por tanto no anticipables por una inspección. Y las fallas por degradación, cuya característica principal es la de ser graduales y parciales y por lo tanto evitables mediante una inspección sistemática.

En cierta forma, unido al concepto de seguridad, aparece el de funcionalidad o mantenimiento de las condiciones de servicio. El puente debe ser capaz, con un aceptable grado de probabilidad, de cumplir con las funciones para las que fue diseñado sin hacer gastos innecesarios. Si el deterioro de las estructuras comienza desde el mismo momento en que son construidas, parece obvio que desde el mismo momento que son construidas, es necesario tener una vigilancia que asegure que se tomen a tiempo las medidas adecuadas para el mantenimiento del puente y así se logre la máxima economía. En este sentido hay que considerar no solo los costos directos de reparación de la obra, sino los indirectos que pueden originarse como consecuencia del retraso en reparar el daño, ya que la obra puede llegar a incumplir parcial o totalmente la función para la que fue creada.

Un programa de inspecciones sistemáticas tendrá que proporcionar los datos necesarios para la toma de decisiones sobre mantenimiento, reparación, refuerzo o sustitución de las estructuras.

La organización de la inspección sistemática de los puentes será función, en gran medida, del propio sistema de gobierno y administración de cada país por lo que no se entrará aquí a considerar los distintos sistemas adoptados por aquellos países que ya han implantado sistemas de inspecciones sistemáticas.

Según las estadísticas, cualquier puente experimenta un deterioro bastante rápido en los 25 primeros años de su vida, se estabiliza durante 20 años y por último cae en picado hasta morir alrededor de los 50 ó 60 años. Los modelos de predicción de la deterioración se establecen siempre en función de la calidad del diseño de la construcción y la influencia externa.

**1.1. INSPECCIÓN DE PUENTES.** La única forma de conocer la condición exacta y evaluar cada uno de los elementos de un puente, es mediante un programa de inspecciones. La inspección es una actividad compleja, que debe realizarse en forma organizada y sistemática, ya que de ella dependen las recomendaciones para corregir los defectos, señalar restricciones de carga y velocidad y para minimizar la posibilidad de pasar por alto algunas deficiencias que pueden convertirse en daños severos si no son reparados a tiempo.

Para obtener una información satisfactoria, las inspecciones deben llevarse a cabo con una cierta periodicidad.

En el Ministerio de Comunicaciones, infraestructura y vivienda se hacen varios tipos de inspección con distintas finalidades:

- Para trabajos de mantenimiento normal o rutinario.
- Para evaluación estructural.
- Para permiso de tránsito de cargas especiales.
- Por emergencias.

Para programar los trabajos de mantenimiento rutinario, se hacen en forma anual, al efectuarse en inventario de las necesidades de todos los conceptos del camino.

Las inspecciones para evaluación estructural se recomienda realizarlas cada 2 ó 4 años; sin embargo, los puentes de condición dudosa o con deficiencias conocidas, se vigilan con mayor frecuencia. Por ser este tipo de inspecciones de carácter minucioso y que requieren herramientas y equipo apropiados, por lo general se recurre a empresas especializadas.

Debido al desarrollo de nuestro país, principalmente, en la generación de energía eléctrica, se ha tenido la necesidad de transportar piezas de gran masa y volumen, para ello se revisan todos los puentes localizados en la ruta o rutas escogidas, determinando normas, especificaciones y preceptos que deben cumplirse durante la transportación, incluyendo la construcción de desviaciones, recalces, apuntalamientos o reforzamientos que se requieran de acuerdo con el dictamen técnico.

Por fenómenos meteóricos, como ciclones, lluvias torrenciales, sismos o por colisiones o impactos provocados, principalmente, por accidentes, se presentan situaciones de emergencia, como asentamientos, erosiones, socavaciones, etc., que deben evaluarse inmediatamente.

## 2. TIPOS DE INSPECCIÓN.

Las inspecciones se requieren para la detección y evaluación de daños, existen tres tipos:

**2.1. INSPECCIÓN PRELIMINAR.** A realizarse, por lo menos, una vez al año en cada puente por parte de personal local no especializado en puentes, pero sí, adiestrado específicamente para la identificación y evaluación de daños. La brigada de inspección debe estar formada, por lo menos, por tres técnicos y uno de ellos debe ser ingeniero. El personal contará con un equipo mínimo y la inspección será fundamentalmente visual. La época más recomendable para realizar esta inspección es al término de la temporada de lluvias, cuando la disminución de los niveles de agua facilita el acceso bajo las obras y cuando están frescos los indicios de socavación, principal causa de colapsos.

Al término de la inspección preliminar, el jefe de brigada procederá a dar una calificación del estado global de la obra. En virtud de la escasez de información y de la superficialidad de la inspección, no es posible adoptar un sistema cuantitativo sofisticado de calificación, por lo que en forma practica se recomienda que las obras se incluyan en alguno de estos tres grupos:

Grupo "A" .- Puentes que por la gravedad de sus daños requieren atención inmediata.

Grupo "B" .- Puentes que presentan daños que deben ser atendidos en un plazo mediano (seis años), porque su situación puede degradarse a la situación "A".

Grupo "C" .- Puentes que sólo presentan daños menores que se pueden corregir con tareas de mantenimiento rutinario a cargo de las brigadas de conservación.

Para la ejecución de estas inspecciones preliminares, existen actualmente dos publicaciones de ayuda, un "Formatos para la inspección de puentes y pasos a desnivel" y una "Guía para la inspección y conservación de

puentes". Ambos documentos requieren ser revisados y aprobados por instituciones especialistas en puentes.

**2.2.INSPECCIÓN PRINCIPAL.** A realizarse, por lo menos, una vez al año en aquellos puentes que hayan sido clasificados en el grupo "A" durante la inspección preliminar. Esta segunda inspección la realizará personal especializado en puentes, procedente de oficinas centrales o regionales, y tendrá por objetivo ratificar o rectificar la calificación preliminar. Para ello deberá contar con equipos que permitan el acceso a todas las partes del puente para observar detalladamente todos sus elementos, y que permita la medición cuantitativa de las respuestas de la estructura con precisión suficiente.

Con los resultados de la inspección principal, podrá calificarse cuantitativamente el estado de cada puente mediante un procedimiento pendiente de definirse.

**2.3.INSPECCIÓN ESPECIAL.** Se realizará por personal altamente especializado en aquellos puentes que sean rehabilitados y tendrá por objeto el recabar los datos necesarios para la realización del proyecto ejecutivo. En las actividades a realizar, se incluyen, el levantamiento geométrico de la estructura, la determinación de la naturaleza y extensión de los daños y la realización de diversos estudios que permitan determinar la causa y mecanismo de propagación de los daños. Para esto, es necesario que se realicen con el apoyo de empresas especializadas en puentes.

### **3. MEDIOS Y REQUISITOS NECESARIOS PARA LLEVAR A CABO UNA INSPECCIÓN.**

Evidentemente, el sistema más sencillo para aportar datos para el conocimiento del estado de una estructura es la simple observación visual de la misma. Para que de ella puedan extraerse datos útiles deben darse tres condiciones básicas:

- Poder ver: lo que significa poder acceder a todas las partes que se desean inspeccionar, y en su caso ayudar con medios complementarios al ojo humano.
- Saber ver: para lo cual se necesita un equipo de inspección calificado y con suficiente experiencia.
- Saber lo que se quiere ver: es decir, hay que preparar con antelación las inspecciones, estudiando el proyecto, los posibles incidentes ocurridos en la construcción y los informes obtenidos en anteriores inspecciones, si existen.

**3.1. MEDIOS HUMANOS.** El manual para la inspección de mantenimiento de puentes preparado por AASHTO detalla claramente el perfil que debe cumplir el equipo que este a cargo de la inspección y sobre todo el ingeniero a cargo, que debe tener titulación de ingeniero, un mínimo de 10 años de experiencia en inspección de puentes con cierto nivel de responsabilidad y,

haber tomado un curso completo de preparación basado en el manual de formación de inspectores de puentes.

En consecuencia con ello se define que la persona encargada de ocupar ese puesto será responsable de la exactitud de la inspección, el análisis de todo lo que se descubra en las misma y las correspondientes recomendaciones para corregir los defectos.

En referencia al jefe del equipo de la inspección se le exige como mínimo una experiencia de cinco años en tareas de inspección de puentes y haber realizado un curso de preparación como el antes mencionado.

Aunque pueden variar muy ligeramente, estas condiciones son muy similares a las exigidas en otros países.

Esto no hace más que poner de manifiesto la gran importancia de establecer cursos de especialización para la formación de inspectores, del tipo de los establecidos en Francia y E.U..

**3.2. MEDIOS MATERIALES.** En los puentes la estructura, habitualmente estará a la vista, pero en muchos casos será imposible la observación detallada sin unos medios auxiliares de acceso a los distintos puntos de la misma.

Dentro de los medios auxiliares que facilitan la aproximación del personal de la inspección a las distintas partes de la estructura se incluyen desde los medios más rudimentarios y básicos (cuerdas, cinturones de seguridad, escaleras, etc.) a sistemas muy complejos como las pasarelas y canastillas desarrolladas para la inspección de puentes, pasando por sistemas integrados en la propia estructura (agujeros de acceso a pilas huecas, escaleras de acceso y vigas cajón en puentes).

En cuanto a las pasarelas para la inspección de puentes, existe una multitud de factores que hay que tener en cuenta para diseñar un tipo de estas, como son:

- Altura de las pilas.
- Accesibilidad de la zona situada bajo el tablero (presencia de cursos de agua navegables o no, de otras vías de comunicación, etc.)
- Dimensiones del tablero (anchura total, anchura de aceras, canto máximo y mínimo, etc.)
- Existencia de elementos condicionales sobre el tablero, y altura de los mismos (de la misma estructura: - tirantes, péndolas; o de sus elementos auxiliares: - postes de luz, mallas, barreras antirruido, etc.)
- Exigencias de seguridad; consideraciones económicas; versatilidad del sistema.

- Restricciones al tráfico causadas por el sistema de colocado en posición de servicio.
- Capacidad portante del sistema y peso del mismo.

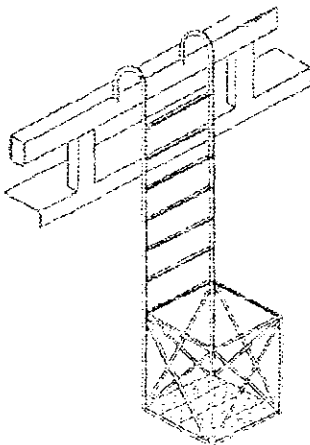
A la hora de examinar y comparar posibilidades y rendimientos de los distintos sistemas es necesario tener en cuenta aspectos como el peso total, peso máximo que puede soportar el elemento, tiempos de maniobra, zona del puente que resulta accesible con dicho elemento, superficie ocupada por el elemento en posición de servicio, etc.

Por lo que se refiere a las canastillas son equipos de menor costo, pero cuyo mayor inconveniente reside en la necesidad de que exista acceso a la zona situada bajo el tablero del puente, y que habitualmente solo alcanzan a una altura máxima de 20 m.

Existen también sistemas de canastilla que pueden operar encima del tablero, pero siguen con las limitaciones del peso ya que sólo pueden situarse en ellas 1 ó 2 personas.

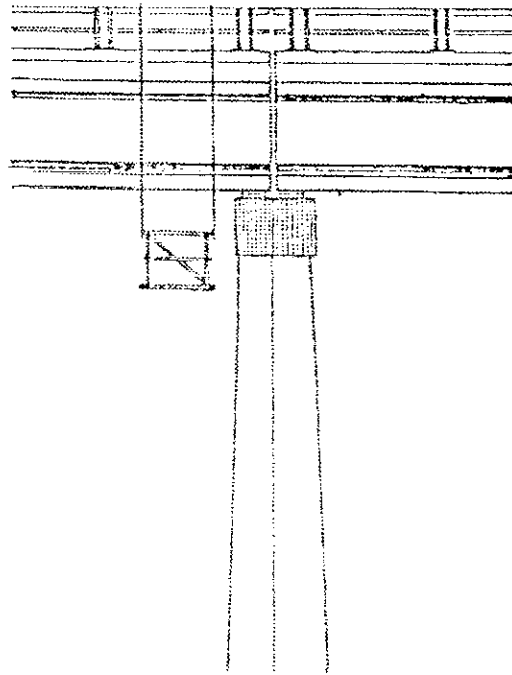
Independientemente de los medios auxiliares que facilitan el acceso a las partes de la estructura que se deseen inspeccionar, no deben olvidarse los medios que sirven de auxilio a la propia vista humana, y pueden encuadrarse dentro de estos medios auxiliares: plomadas, niveles, lupas micrométricas, catalejos, cámaras fotográficas, etc.; hasta las cámaras de televisión y equipos de vídeo, y sobre todo los modernos endoscopios, que permiten ver y grabar en cintas de vídeo partes y zonas inaccesibles para el hombre.

**Fig. 6: Medios materiales en la inspección**



**CANASTILLAS TIPO**

**Fig. 6.1:Continuación medios materiales en la inspección**



### PASARELAS

#### **4. EQUIPO DE INSPECCIÓN.**

Para hacer la lista del equipo de una inspección es importante tener en consideración, si realmente será de gran utilidad, si el costo es bajo, etc. Debe recordarse que si no se cuenta con transporte para el equipo, será difícil llevarlo de otras formas, por el tiempo y la seguridad del equipo.

Para determinar el equipo que se utilizará en una inspección es muy importante tener en cuenta el equipo existente y su utilidad. Existen muchos y muy variados, pero los más útiles e imprescindibles son:

- Botiquín.
- Transportación.
- Botas.
- Nivel de mano.
- Caja de herramientas (llaves)
- Cinturón de herramientas.
- Cepillo de alambre.

- Crayones.
- Escaleras.
- Pasarelas.
- Canastillas.
- Tirfós.
- Poleas.
- Cables de acero de varios diámetros (5/16").
- Reatas o lasos.
- Cintas métricas y metros.
- Radios (wocky-tocky)
- Cámaras fotográficas.
- Libreta de campo.
- Chalecos salvavidas.
- Grietó metros.
- Chalecos antirreflejantes.
- Nudos de acero (perros).
- Arnese.

El equipo para inspección se puede dividir en:

**4.1. EQUIPO EN GENERAL.** Es el equipo básico que se utiliza y cada miembro de la brigada puede traer sus propias herramientas personales como: una pequeña navaja, un pequeño martillo, una lámpara sorda, etc.

Herramientas personales para trabajo y seguridad:

- Binoculares.
- Martillo ligero.
- Lámpara sorda.
- Navaja de bolsillo.
- Flexo metro.
- Libreta de campo.
- Cámara (preferible 35 mm).
- Casco.
- Botas.
- Gafas.
- Chaleco salvavidas.
- Chaleco antirreflejante.

**4.2. EQUIPO PARA SEÑALAMIENTO.** Debe utilizarse y es muy apropiado cuando se inspeccionan las calzadas:

- Conos de plástico.
- Triángulos.
- Chalecos antirreflejantes.

- Señales de seguridad.

**4.3. EQUIPO PARA NIVELACIÓN.** Cuando el procedimiento de la inspección lo requiera y sea necesario, para la nivelación del puente se cuenta con el siguiente equipo:

- Tránsito o teodolito.
- Nivel de mano.
- Estadales.
- Cintas métricas.
- Balisas.
- Libreta de tránsito.

## **5. PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN.**

Los síntomas que presenta la estructura ante una primera inspección visual, nos permite determinar el agrietamiento, las deformaciones y las flechas de la estructura, si existe carbonatación o corrosión.

Una inspección visual debe completarse con una auscultación con métodos topográficos, magnéticos, eléctricos y químicos para determinar corrimientos, posiciones de armadura, profundidades de carbonatación y contenido de ión-cloro y acercarse a la determinación del grado de corrosión de las armaduras.

Los ensayos estáticos y dinámicos sirven para conocer la variación de determinados parámetros generales del puente, como son la rigidez, el amortiguamiento, los modos de vibración, etc.

Los diferentes elementos que deben ser inspeccionados normalmente son agrupados en cuatro grandes divisiones:

- Cimientos.
- Subestructura.
- Superestructura.
- Equipamientos.

En general se deberán considerar los siguientes puntos de inspección:

1°. Juntas de dilatación.

2°. Apoyos.

3°. En puentes de concreto reforzado:

- Diafragmas.
- Nervaduras.
- Losas.
- Flechas.

**4º. En puentes de concreto presforzado:**

- Diafragmas.
- Nervaduras.
- Losa.
- Anclajes.
- Flechas.

**5º. En estructuras metálicas:**

- Rotura de remaches, pernos o soldaduras.
- Fallas en la protección con anticorrosivos.
- Nodos.
- Corrosión.
- Pandeo, alabeo o rotura de elementos.
- Conexión entre sistema de piso y estructura.
- Fallas en el sistema de piso.
- Espesores actuales de los elementos estructurales.
- Revisión del gálibo.

**6º. Estudio del cauce:**

- Efectos de socavación.
- Encauzamiento.
- Obstrucción.

**7º. Subestructura:**

- Socavación.
  - Destrucción por impacto.
  - Hundimientos.
  - Desplomes.
  - Agrietamientos.
- 8°. Revisión de accesos y conos de derrame.
- 9°. Drenaje de la superestructura y la subestructura.
- 10°. Vialidad y señalamiento.
- 11°. Alumbrado.

Es importante observar todos los elementos del puente y tomar apuntes de los detalles y dimensiones, a fin de llenar correctamente el formato del reporte de la inspección.

**5.1.SUPERESTRUCTURA.** La inspección de los elementos de la superestructura y los daños típicos que estos presentan varían notablemente dependiendo de que se trate de puentes metálicos, puentes de concreto armado o pretensado u obras prefabricadas.

**Armaduras Metálicas.-** Vigilar las uniones del armazón, que son puntos críticos en los que se acumulan residuos que provocan la corrosión y pérdida de sección en elementos de la armadura.

**Vigas y largueros.-** En el caso de las vigas de acero, debe vigilarse la existencia de grietas y de corrosión, principalmente, en las alas superiores, alrededor de los remaches, pernos y en las áreas de soldadura. Asegurarse de que estén adecuadamente sostenidas, que no haya torceduras o desplazamientos, ni tengan daños debidos a colisiones o pérdidas de sección por corrosión.

Para los traveses de concreto, en caso de existir grietas, deben observarse por un tiempo para determinar si son activas y con la ayuda de un grietómetro medirlos. Debe tomarse en cuenta si han sido tratadas con inyecciones de resina epoxicas. Igual atención requieren las áreas que sufren desintegración de concreto y la existencia de las vibraciones o deflexiones excesivas.

En los elementos pretensados, como traveses o diafragmas, es importante la vigilancia frecuente para que el agua no penetre por las fisuras ni por los anclajes extremos de los ductos, ya que cualquier inicio de corrosión es difícil de detectar.

Es importante chequear que la altura de los gálibos sean las requeridas para evitar accidentes o colisiones con las trabes u otro elemento del puente.

También, deben revisarse los miembros principales de la armadura que son susceptibles a daños por colisión, principalmente al paso de cargas voluminosas.

**5.2. SUBESTRUCTURA.** Dentro del término subestructura se incluyen estribos, pilas y sistemas de apoyo. Dentro de la amplia variedad de defectos y deterioros observables en este tipo de elementos, deben incluirse en un informe las fisuras y grietas que puedan observarse y que puedan ser indicios de otros problemas relacionados con la cimentación, el mal funcionamiento de apoyos, etc.

**Pilas y estribos.-** Revisar su cimentación, principalmente, cuando es directa para detectar cualquier inicio de erosión o socavación, la presencia y severidad de grietas, así como mencionar cualquier cambio en la posición o verticalidad. Revisar la existencia de grietas, ya que éstas pueden ser indicios de socavación o hundimientos.

**Apoyos.-** Es importante asegurar su adecuado funcionamiento, cuidando que no existan daños en los pernos de anclaje, estén ajustados adecuadamente, libres de materiales extraños para que haya libertad de movimientos.

Se debe asegurar que no exista:

- Grietas por compresión, intemperismo o sobrecarga.
- Humedad.
- Sedimentación.

Por lo regular los apoyos de los extremos son los mas intemperizados y necesitan limpieza continua para asegurar su funcionalidad.

**5.3. CIMENTACIÓN.** Normalmente la inaccesibilidad de la cimentación hace que las posibles fallas tengan que ser detectadas indirectamente en forma de movimientos excesivos, fisuración, etcétera, o a través de otros signos en la superestructura.

Por su interés con relación a posibles fallas en la cimentación cabe señalar la utilidad de dos actividades:

Nivelación del tablero.

Inspecciones subacuáticas.

Algunas consideraciones que deben observarse, a fin de determinar las condiciones de la cimentación:

**Accesos.-** Detectar la presencia de deslaves, asentamientos o rugosidades que motivan que los vehículos que se acercan a puente causen esfuerzos de impacto indeseable.

**Cauces.-** Verificar la suficiencia de cauce bajo la estructura, cerciorándose de que no este obstruido por depósitos de materiales de arrastre, como bancos de arena y crecimiento de vegetación que pueden modificar la orientación de la corriente, causando socavación a las pilas o a los estribos.

**5.4. EQUIPAMIENTO.** Dentro de los equipamientos se incluyen la inspección de calzada y aceras, juntas de dilatación, sistemas de drenaje, parapeto, barandales, señalización, etc.

**Juntas de expansión.-** Observar que tengan el espacio adecuado para los desplazamientos por efectos térmicos y que estén libres de basura.

**Tableros.-** Buscar agrietamientos, descascaramientos, baches u otras evidencias de deterioro.

**Señalizaciones.-** Debe revisarse la presencia, la legibilidad, la visibilidad y la necesidad de las señales existentes.

**Sistemas de drenaje.-** Revisar el drenaje para evitar encharcamientos, que los drenes estén libres de basura y funciones correctamente.

**Parapetos.-** Buscar golpes causados por colisiones de vehículos.

En el caso de tableros de acero, revisar signos de corrosión, barras quebradas, soldaduras frágiles, etc.

## 6. ENTREGA DE REPORTE.

El archivo de datos de cada puente se puede considerar formado por dos elementos: Una información sobre el puente que permanece invariable (inventario) y una información que si se modifica con el transcurso del tiempo (datos de inspección).

Los puntos esenciales que comprenden un reporte de inspección son:

- Identificación.
- Características geométricas.
- Características funcionales.
- Características estructurales.
- Calzada y elementos auxiliares.
- Estado de conservación.
- Observaciones.

En Guatemala se carece de una tradición en la inspección sistemática de los puentes y no existen documentos tales como los manuales AASHTO, etc. lo

que llevó a adoptar una estructura de reporte que pretendía alcanzar los siguientes objetivos:

- 1º. Tratar de condensar la mayor cantidad de información posible.
- 2º. Reducir al mínimo las posibilidades de subjetivización de los datos recopilados.
- 3º. Conseguir que un formato fuera guía de los elementos a inspeccionar en una estructura.

Por ello se adoptó una estructura de campos relativamente complicada, pero en la que el inspector encargado de llenarla solamente tuviera que rellenar unos pequeños rectángulos con cruces.

La estructuración en capítulos de la ficha contiene en primer lugar los datos esenciales desde un punto de vista de inventario:

El capítulo 1 (datos de identificación), además de contener información general (No. de puente, carretera, kilometraje, población anterior y posterior, etc.), dan una clasificación de la obra (tajea, alcantarilla, puente), detallan la singularidad salvada (cauce, canal, vías de comunicación).

El capítulo 2 (características geométricas), incluye datos tanto de la estructura (No. de claros, longitud total, luces, etc.), como del tablero (No. de carriles, anchura total, etc.).

Por su parte, el capítulo 3 (características funcionales) recoge las limitaciones (de carga, de velocidad, de gálibo).

El capítulo 4 (características estructurales) se configura mediante campos de información en los que únicamente es necesario marcar con una cruz aquellas casillas que corresponden al caso estudiado. Estos campos de información son los siguientes:

Tipología general: arco, pórtico, prefabricado, tramos isostáticos o hiperestáticos, marco, tubo, puente colgante o atirantado, etc.

Cimentación: superficial (zapatas, losas), profundas (cajones, pilotes, pantallas), y el material de la misma.

Estribos: tipología (muro frontal con aletas o muros en vuelta, estribo perdido, etc.), material del estribo (piedra, ladrillo, tierra armada, hormigón).

Pilas: No de pilas, tipología (muro corrido, fuste múltiple, prismáticas), sección, material (piedra, hormigón, otros).

Tablero: esquema estructural (alma llena o aligerada, celosía), directriz (recta o curva), sección transversal (losa maciza o aligerada), sección cajón, tablero nervurado, material.

Apoyos: No de líneas de apoyo, No total de apoyos, tipología, material.

Juntas: No de juntas, longitud, tipología, material.

El capítulo 5 (calzada y elementos auxiliares), contiene información sobre defensas de pilas y estribos, barreras, barandales, y petriles, señalización, iluminación, drenes, conducciones, etc.

Finalmente el capítulo 6 se dedica a recoger información sobre el estado de conservación del puente.

Con el esquema descrito se configura una base de datos en la que existe un registro por puente con información muy diversa tanto de sus características como de su estado de conservación.

A continuación se muestra el formato tipo, para el reporte de la inspección del estado físico del puente, estos formatos pueden variar cuando se trata de puentes especiales, involucrando las características de cada puente.

## 6.1. REPORTE DE LA INSPECCIÓN

### Cuadro 3. Reporte de la inspección INSPECCIÓN DEL ESTADO FÍSICO DE LOS PUENTES

JEFE DE BRIGADA: ING. JUAN FRANCISCO ABRIL    FECHA : SEPT. 17, 04'

CARRETERA Guatemala – Puerto Barrios

TRAMO: Los Amates / Morales

SUBTRAMO: \_\_\_\_\_

KILÓMETRO: 233 + 923

ORIGEN: Bananera

NOMBRE: Guajacate    NO EXISTE: \_\_\_\_\_

COLINEAL A LA CARRETERA X

TRANSVERSAL A LA CARRETERA \_\_\_\_\_

Cuadro 3.1 Continuación reporte de la inspección

TRAZO GEOMÉTRICO	
EN PLANTA	TANGENTE <u>X</u>
	CURVA DERECHA _____
	CURVA IZQUIERDA _____
EN ELEVACIÓN	TANGENTE <u>X</u>
	EN CRESTA _____
	EN COLUMPIO _____
<b>TABLERO</b>	
NORMAL _____	
ESVIAJADO <u>X</u>	GRADOS DER. <u>34°</u>
ESVIAJADO _____	GRADOS IZQ. _____
(según kilometraje creciente)	
LONGITUD DEL PUENTE <u>50.10 MTS.</u>	
No. DE CLAROS <u>3</u>	
LONGITUD DE CLAROS <u>16.70 MTS.</u>	
ANCHO TOTAL <u>10.00 MTS.</u>	
ANCHO DE CALZADA <u>8.00 MTS.</u>	
No. DE CARRILES <u>2</u>	

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES		
<b>TOPOLOGÍA GENERAL:</b>		
ARCO _____	PREFABRICADO _____	TUBO _____
LOS A NERVADA <u>X</u>	BÓVEDA _____	
OTRO, ESPECIFICAR _____		

ESTADO: <u>Presentan humedad en varias zonas, requieren de impermeabilización a corto plazo.</u>	
<b>FLECHAS</b>	
SE APRECIAN <u>  </u>	NO SE APRECIAN <u>X</u>
MANDAR MEDIR <u>  </u>	
<b>TIPO DE SUBESTRUCTURA</b>	
<b>ESTRIBOS</b>	
MAMPOSTERÍA <u>X</u>	
TIPO CONCRETO <u>  </u>	
TIERRA ARMADA <u>  </u>	

<b>PILAS</b>
MAMPOSTERÍA <u>X</u>
TIPO CONCRETO <u>  </u>
OTRO <u>  </u>
No. DE PILAS <u>  3  </u>
<b>ESTADO DE LA SUBESTRUCTURA</b>
<b>SOCAVACIÓN</b>
SE APRECIAN <u>  </u>
NO SE APRECIAN <u>X</u>
DESCRIPCIÓN: (LUGAR Y TIPO) _____
<b>HUNDIMIENTOS</b>
SE APRECIAN <u>  </u>

NO SE APRECIAN  X

DESCRIPCIÓN: (LUGAR Y TIPO) \_\_\_\_\_

**DESPLOMES**

SE APRECIAN \_\_\_\_\_

NO SE APRECIAN  X

MANDAR MEDIR  \_

DESCRIPCIÓN: (LUGAR Y TIPO) \_\_\_\_\_

**AGRIETAMIENTOS**

SE APRECIAN  X

NO SE APRECIAN \_\_\_\_\_

DESCRIPCIÓN: (LUGAR Y TIPO)  Se aprecian agrietamientos en el  
 cuerpo

de las pilas; requiere atención a corto plazo (inyectar grietas y ampliación  
 de coronas).

**DAÑOS DE IMPACTO**

SE APRECIAN  \_

NO SE APRECIAN  X

DESCRIPCIÓN: (LUGAR Y TIPO) \_\_\_\_\_

**APOYOS**

METÁLICO \_                      NEOPRENO \_                      P L O M O \_

OTRO, DESCRIPCIÓN: Cartón asfáltico.

No. DE LÍNEAS \_\_\_\_\_

No. DE APOYOS \_\_\_\_\_

DESCRIPCIÓN: \_\_\_\_\_

ESTADO: \_\_\_\_\_

**JUNTA DE DILATACIÓN**EXISTE X

NO EXISTE

No. DE JUNTAS 4LONGITUD 12 MTS.DESCRIPCIÓN: Juntas de compriband dañadas, formadas con  
ángulos y placas de acero.ESTADO: Se encuentran en malas condiciones, probablemente  
el daño se debe a las pesadas cargas de camiones que circulan en

nuestro país.

**REVISIÓN DE ACCESOS Y CONOS DE DERRAME**

**ACCESOS**

EN TALUD  X

EN TALUD  X

ENTRADA A NIVEL    

SALIDA A NIVEL    

EN CORTE    

EN CORTE    

ESTADO DE ACCESOS Y CONOS ; DESCRIPCIÓN (REVISAR HUNDIMIENTOS Y DETERIOROS)

El cono de derrame lado Los Amates, aguas abajo se encuentra en malas condiciones urge que se restituya.

**ESTUDIO DEL CAUCE**

A LOS LADOS DE LA ESTRUCTURA, 200 M. EXISTE:

ARROYO Ó RÍO  X

CARRETERA    

FERROCARRIL    

OTRO, ESPECIFICAR:    

**EFFECTOS DE SOCAVACIÓN**

SE APRECIAN    

NO SE APRECIAN  X

DESCRIPCIÓN:

<b>ENCAUZAMIENTO</b>		
DEFINIDO <input type="checkbox"/>	TANGENTE <input type="checkbox"/>	EN CURVA <input type="checkbox"/>
INDEFINIDO <input checked="" type="checkbox"/>		
<b>CONSTRUCCIÓN (OBSTRUCCIÓN)</b>		
SE APRECIAN <input type="checkbox"/>		
NO SE APRECIAN <input checked="" type="checkbox"/>		
DESCRIPCIÓN: _____		
_____		
_____		

<b>CALZADA Y ELEMENTOS AUXILIARES</b>		
<b>SEÑALAMIENTO</b>		
INDICACIÓN DE EXISTENCIA DE PUENTE Y/O REDUCCIÓN DEL ACOTAMIENTO		
EXISTE <input type="checkbox"/>		EXISTE <input type="checkbox"/>
<b>ENTRADA (MD)</b>	<b>SALIDA (MI)</b>	
NO EXISTE <input checked="" type="checkbox"/>		NO EXISTE <input checked="" type="checkbox"/>
<b>ALUMBRADO</b>		
EXISTE <input type="checkbox"/>		
NO EXISTE <input checked="" type="checkbox"/>		
ESTADO: _____		
_____		
_____		

**PARAPETO**

DESCRIPCIÓN: Vigas longitudinales de acero y pilastras de concreto reforzado.

ESTADO: Una pilastra lado aguas abajo presenta daño por impacto de vehículo.

**DAÑOS DE IMPACTO**

SE APRECIAN X

NO SE APRECIAN   

DESCRIPCIÓN: (LUGAR Y TIPO) Pilastra aguas abajo.

**DRENAJES****SUPERESTRUCTURA**

EXISTE X

NO EXISTE   

ESTADO: Buen estado.

**SUBESTRUCTURA**

ESCURRE   

NO ESCURRE X

DESCRIPCIÓN: \_\_\_\_\_

**MANTENIMIENTO**DESCRIPCIÓN: Requiere mantenimiento rutinario a corto plazo.**REPARACIÓN**DESCRIPCIÓN: En pilas se requiere inyectar las grietas, ampliar las coronas y encamisado con concreto y malla electrosoldada.En estribo 1.- Reparar el alero del lado aguas abajo.En losa - Que la carpeta asfáltica cubra el ancho total del puente para evitar filtraciones.**OTRAS PARTICULARIDADES**

DESCRIPCIÓN: \_\_\_\_\_

**EVALUACIÓN DE DAÑOS Y CALIFICACIÓN DEL ESTADO FÍSICO DE ACUERDO A LOS GRADOS A, B y C**CALIFICACIÓN: "A"

GRADO A PUENTES O ESTRUCTURAS QUE PRESENTAN UNA O MÁS DEFICIENCIAS GRAVES QUE IMPLIQUEN UN PELIGRO INMINENTE PARA LA SEGURIDAD PUBLICA O QUE PUEDAN OCASIONAR LA INTERRUPCIÓN PROLONGADA DEL TRANSITO SOBRE EL PUENTE. ESTOS PUENTES REQUIEREN DE ATENCIÓN INMEDIATA.

GRADO B AQUELLOS QUE PRESENTEN UNA O VARIAS DEFICIENCIAS IMPORTANTES, QUE DE NO ATENDERSE PUEDEN EVOLUCIONAR HACIA DEFICIENCIAS GRAVES. ESTOS PUENTES REQUIEREN ATENCIÓN A MEDIANO PLAZO.

GRADO CLOS QUE SÓLO PRESENTEN DEFICIENCIAS MENORES CON EVOLUCIÓN LENTA Y ÚNICAMENTE REQUIEREN DE TRABAJOS RUTINARIOS DE CONSERVACIÓN.

**6.2. REPORTE FOTOGRÁFICO.** Consiste en una colección de fotografías tomadas al puente de la inspección, donde se muestra principalmente: los accesos, las calzadas, las juntas de dilatación, los apoyos, las secciones transversales y longitudinales de la superestructura, los daños que presenta, etc.

Es de gran ayuda para ilustrar el estado del puente en todos sus elementos y sobre todo para mostrar los detalles de los daños del puente. Es el complemento del reporte de la inspección.

Es importante la cantidad y calidad de las fotografías para mostrar lo más detallado posible los daños de la estructura, con el fin de esbozar el estado del puente.

**6.3. REPORTE DE FALLAS.** Consiste en ilustrar en un plano o planos necesarios la localización exacta de las fallas (desconchamientos, grietas, caídos, etc.), para apreciar su magnitud real y hacer más seguro el calculo del proyecto de rehabilitación.

El reporte de fallas, al igual que el reporte fotográfico, es un complemento importante para el reporte global de la inspección, ya que hace más tangible el trabajo que se realizó en el puente.

En el reporte de fallas se indican las dimensiones reales de una grieta, áreas de resquebrajamiento, desconchamientos, caídos, etc.

## V. EVALUACIÓN

### 1. DEFINICIÓN DE EVALUACIÓN.

Si se dispone de la información antes descrita (BANCO DE DATOS), puede procederse a una evaluación global del puente. La evaluación debe incluir el aspecto estructural y el aspecto funcional. En el primero, se determina la capacidad remanente de carga, o bien, se define el margen de seguridad entre las acciones aplicadas y las resistencias de los elementos estructurales. En el aspecto funcional, se determinan las capacidades hidráulica y vial del puente y se comparan con las solicitaciones respectivas. Existen técnicas para la determinación de estas capacidades para los casos más comunes y que incluyen recomendaciones para subsanar la falta o la imprecisión de los datos.

Dentro de la evaluación, debe, finalmente, incluirse una estimación de la vida remanente del puente, en función de su capacidad actual y de la evolución prevista de la demanda. Esta estimación es generalmente controvertible, pero es necesario realizarla, porque es dato de entrada para la evaluación económica de alternativas de proyecto.

La evaluación de cada caso permite a la organización central definir la acción que debe tomarse. Cuatro son los tipos de acciones que se consideran:

Acción 0.- No hacer nada puede resultar una acción técnicamente válida en algunas circunstancias.

Acciones normativas.- Colocación de señales. Limitación de uso (imposición de peso máximo, reducción de velocidad, restricción de un solo carril, etc.)

Acciones preventivas.- Inspecciones más frecuentes, monitoreo de grietas, deformaciones y asentamientos, colocación de apuntalamientos.

Acciones ejecutivas.- Se refiere a la realización de obras en el puente. Para estas obras, pueden considerarse cinco niveles de atención:

- Mantenimiento.
- Rehabilitación.
- Reparación.
- Modernización.
- Substitución.

Para el análisis económico de cada alternativa, debe determinarse:

- La extensión de la vida del puente, que se logra con las obras de conservación.
- Costos y beneficios totales de la alternativa, se incluyen: costos de construcción, conservación y operación, así como beneficios inmediatos y futuros en función de la evolución prevista del tránsito y adicionando el valor de rescate de la estructura al término de la vida económica.
- Obtención de la decisión económica calculando los valores presentes netos, aplicando la tasa de descuento usual para proyectos públicos. El valor presente neto es la diferencia de los beneficios totales a valor presente. Si esta diferencia es positiva, la acción analizada es aceptable económicamente.

## 2. DICTAMEN DE LA INSPECCIÓN.

Al término de la inspección, el jefe de la brigada debe evaluar el estado del puente y de acuerdo con los daños y el deterioro del mismo, debe otorgar una calificación del estado físico de acuerdo a los grados A, B y C, que a continuación se exponen.

### Cuadro 4. Clasificación del estado de los puentes

**GRADO A** PUENTES O ESTRUCTURAS QUE PRESENTAN UNA O MÁS DEFICIENCIAS GRAVES QUE IMPLIQUEN UN PELIGRO INMINENTE PARA LA SEGURIDAD PÚBLICA O QUE PUEDAN OCASIONAR LA INTERRUPCIÓN PROLONGADA DEL TRÁNSITO SOBRE EL PUENTE. ESTOS PUENTES REQUIEREN DE ATENCIÓN INMEDIATA.

**GRADO B** AQUELLOS QUE PRESENTEN UNA O VARIAS DEFICIENCIAS IMPORTANTES, QUE DE NO ATENDERSE PUEDEN EVOLUCIONAR HACIA DEFICIENCIAS GRAVES. ESTOS PUENTES REQUIEREN ATENCIÓN A MEDIANO PLAZO.

**GRADO C** LOS QUE SÓLO PRESENTEN DEFICIENCIAS MENORES CON EVOLUCIÓN LENTA Y ÚNICAMENTE REQUIEREN DE TRABAJOS RUTINARIOS DE CONSERVACIÓN.

**2.1. FACTORES QUE INTERVIENEN.** En primer lugar, para que el dictamen que se da sobre el estado del puente sea confiable, es importante seguir los procedimientos recomendados de inspección, utilizar el equipo adecuado, que la brigada de inspección sea responsable y con experiencia y sobre todo que el ingeniero responsable de la inspección tenga conocimientos sobre inspecciones.

El nivel de deterioro de un puente, es el que marca, principalmente, la conclusión de la persona encargada del dictamen; aunque existen otros elementos como la estética, la seguridad, funcionalidad, etc.

La exactitud del dictamen de la inspección depende en gran medida del análisis de los daños y defectos a corregir que haga la persona responsable de emitir el fallo o la calificación del deterioro actual del puente.

El factor estético no es muy sobresaliente, es importante sólo en puentes de zonas urbanas; uno de los factores más importantes es el de la seguridad sobre todo si el daño es estructural o puede poner en peligro la seguridad de los usuarios (vehiculares y peatonales), falta de parapetos o guarniciones.

## **2.2. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD RESISTENTE DE UN PUENTE.**

Para conocer la capacidad resistente de un puente determinado es necesario realizar un modelo matemático del mismo de la manera más fiel posible. La confección de este modelo tiene una parte fácil y otra difícil. La primera, la fácil, es la que se refiere a las características geométricas de vinculación y de contorno, determinadas por la tipología del puente en estudio. La segunda, la difícil, es determinar cuáles son las propiedades resistentes del material que lo constituye. El área, la inercia, el módulo de elasticidad no son sino las manifestaciones más elementales de modelo de material que constituye un puente; Estas propiedades se pueden suponer cuando se trata de obra nueva, pero en un estado determinado de deterioración, es difícil suponer dichas propiedades.

Se deduce que la determinación de la capacidad resistente de un puente en un momento determinado no deja de ser una aproximación mas o menos exacta y que sin embargo es imprescindible realizar para que la toma de decisión esté lo más fundamentada posible.

Revisión de la capacidad de carga de la estructura en las condiciones actuales, por momento flexionante y cortante, considerando como carga móvil de diseño la que produzca el efecto más desfavorable entre los tipos T3-S3 y T3-S2-R4, en el numero de carriles correspondientes para caminos tipo A y B y la carga muerta, así como los elementos mecánicos resistentes en la sección estructural original. La diferencia entre los elementos mecánicos actuantes y los elementos mecánicos resistentes, ya mencionados, se tomará con los elementos de refuerzo.

Revisión de la capacidad de carga de la estructura en las condiciones actuales, por momento flexionante y cortante, considerando como carga móvil

T3-S2-R4, en el número de carriles correspondientes para caminos tipo A y B. Para otro tipo de caminos la carga será la que produzca el efecto más desfavorable entre los tipos T3-S2-R4 y T3-S3 de caminos A y B para una banda y en cada uno de los otros carriles se considerara la carga tipo HS-20.

### 3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS PUENTES.

Si utilizamos en primer lugar a la economía como sistema de referencia entendemos que los criterios de evaluación del estado de los puentes están inscritos en el marco más general del costo y su vida útil. El costo depende de dos factores principales: el costo en sí del puente y el relacionado con el usuario, y todo ello dentro de un marco de referencia que es la vida útil, que se cifra en unos 50 años, siempre y cuando tenga un adecuado mantenimiento y hacia los 30 años se le realice una reparación importante. El costo en sí se compone de la suma del correspondiente a su primera instalación, al mantenimiento, a las reparaciones menores y mayores y finalmente a su sustitución.

De todo puente en servicio se puede realizar una doble lectura. Por un lado determinar qué capacidad de carga tiene, lo que nos proporciona sus características resistentes actuales y previsibles en un futuro próximo y, por otro, cuales son sus características funcionales.

Estas dos propiedades resistentes y funcionales deben compararse con las exigencias mínimas, o aceptables que debe tener un puente para que cumpla su función dentro de la red vial. De esta comparación saldrá una política a seguir que permita establecer las prioridades, sobre que puentes se deben mantener, cuales reparar o rehabilitar y cuales sustituir y en que plazo.

Los inspectores, ingenieros expertos con titulación, rellenan el correspondiente formato y dibujan croquis o toman fotografías de los aspectos que le interese reflejar.

Además de realizar las tareas mencionadas hasta ahora, los inspectores deben establecer ciertos índices de estado. Estos índices son estimaciones de la extensión de las siguientes deficiencias:

- Microfisuración.
- Fisuración.
- Coqueras.
- Armaduras deterioradas.
- Eflorescencias.

También se indican las partes de la estructura donde se producen las deficiencias, distinguiéndose:

- En puentes: Tablero, pilas, estribos, aletas, etc.
- En cajones: Módulos, aletas, etc.

El estado de los elementos del equipamiento también se codifica y se almacena.

La última tarea del inspector es evaluar si las deficiencias existentes deben ser reparadas antes de la próxima inspección y en caso afirmativo asignar las actuaciones de mantenimiento tipificadas que procedan y un grado de urgencia para efectuarlas. Esta manera de proceder proporciona un índice de estado global de la estructura.

**3.1. CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN.** Cabe señalar la importancia de la necesidad de modernizar todos los puentes que tienen volúmenes de tránsito promedio anual superior a 3,000 vehículos; o la necesidad de reforzar los puentes de los tramos de la red por los que se han detectado que circulan, con mayor frecuencia, cargas extraordinarias.

Los criterios de priorización deben establecerse en función de políticas generales de expansión de la red y con miras a mejorar los servicios de transporte.

El sistema de priorización de puentes considera, no sólo aspectos infraestructurales, sino también aspectos de operación del transporte; es decir, cuando da una calificación de un puente, le da un peso del 40% a aspectos estructurales y un 60% a aspectos de operación, calificando por supuesto, a todos aquellos puentes que presentan daños que puedan desencadenar en falla estructural.

El sistema de priorización está basado en valuar el nivel de deficiencia del puente, el cual se mide de 0 a 100, en la que cero es para puentes en perfecto estado y cien para aquellos puentes que requieren acciones urgentes de mantenimiento. Se califican cuatro aspectos:

Capacidad de carga (CC).  
Ancho del puente (AP).  
Gálidos (G).  
Condición estructural (CE).

La calificación se obtiene de las suma, es decir:

$$ND = CC + AP + G + CE$$

Donde:

ND = Es el nivel de deficiencia del puente que puede tomar un valor de 0 a 100.

La suma de las puntuaciones obtenidas en capacidad de carga, ancho del puente, gálibo y condición estructural determina la puntuación total del puente en cuestión y el orden de prioridad y el tipo de actuación de mantenimiento a realizar dentro del conjunto de los puentes analizados.

A continuación, se presenta la forma de calcular cada una de las deficiencias del puente.

### DEFICIENCIA EN LA CAPACIDAD DE CARGA (CC).

La fórmula que define el nivel de deficiencia por capacidad de carga, se define como:

$$CC = WC * 1/5 * (NC - CR) * (0.6 * K1 + 0.4 * K2)$$

Donde:

$$K1 = \frac{(TPDA)^{0.30}}{12} \quad ; \quad K2 = \frac{LD * TPDA}{20 * 5000}$$

WC = Es un factor de peso para la deficiencia en la capacidad de carga, que, para este sistema, se considera 40 puntos.

NC = Es el nivel deseado de capacidad de carga en Ton.

CR = Capacidad de carga registrada en Ton.

TPDA = Tránsito promedio anual.

LD = Longitud que un vehículo tendría que recorrer, en caso de falla del puente, en metros.

Esta fórmula supone que el costo del transporte se incrementa linealmente con la deficiencia en la capacidad de carga del puente, además, se introdujo un término no lineal que toma en cuenta el deterioro del puente por el paso de vehículos con exceso de carga. En la figura 1, se muestra una gráfica de esta ecuación para diferentes valores de (NC - CR).

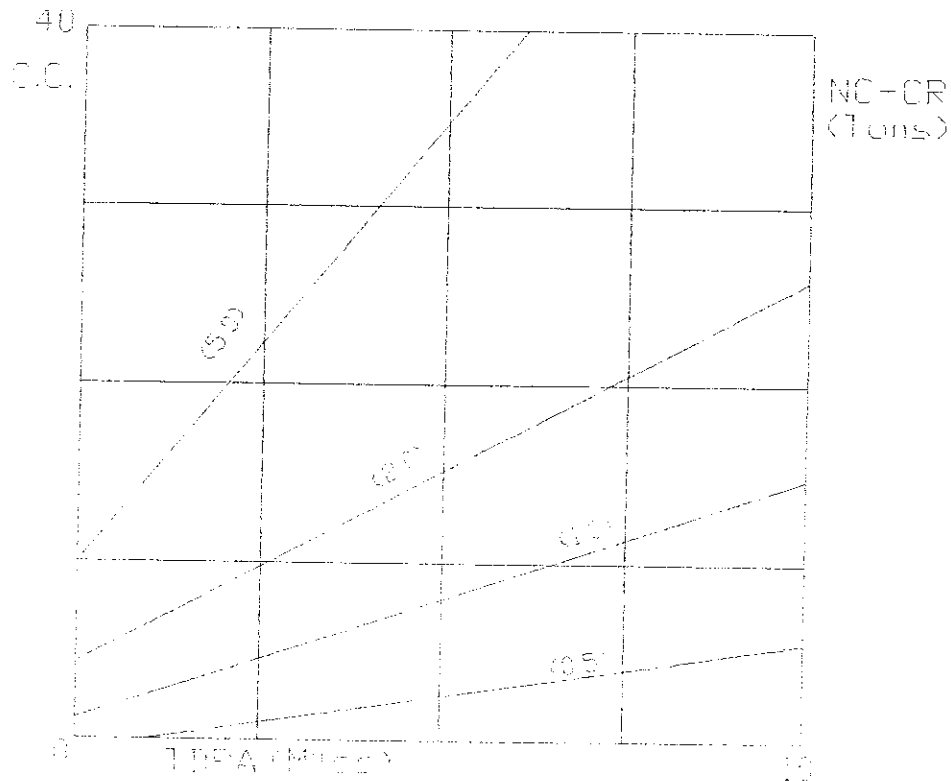


Fig. 7: Gráfica de CC contra TPDA para diferentes valores de NC-CR

### DEFICIENCIA POR EL ANCHO DEL PUENTE (AP).

La fórmula para el cálculo de esta deficiencia es la siguiente:

$$AP = WA * (AD - AR) * \frac{TPDA}{5000}$$

Donde:

WA = Es un factor de peso para la deficiencia en el ancho del puente, al cual se le da un valor de 10 puntos.

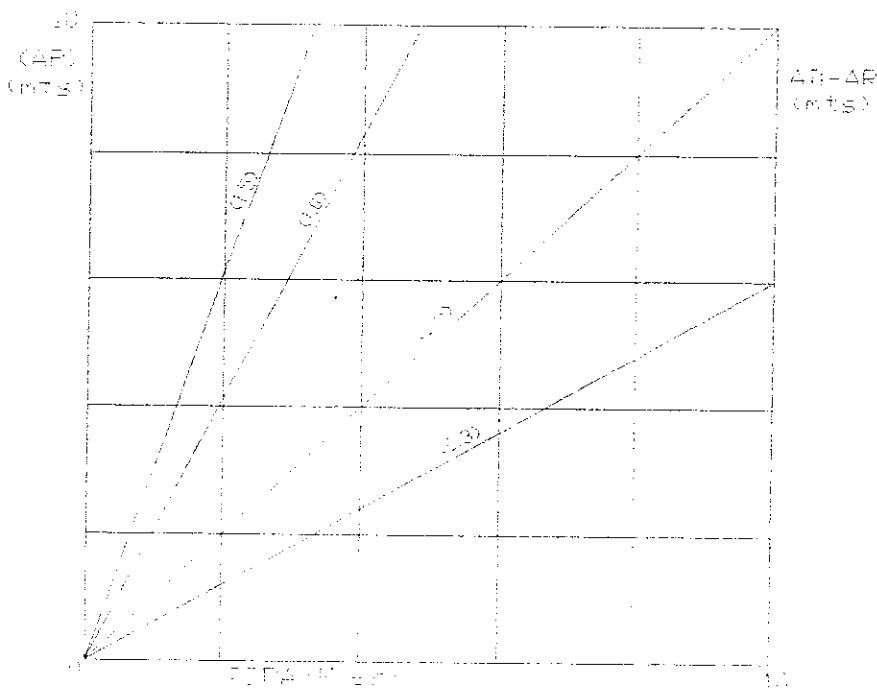
AD = Ancho total deseado del puente, en metros.

AR = Ancho real del puente, en metros.

TPDA = Tránsito promedio anual.

La deficiencia por el ancho del puente está en función del TPDA. La función es lineal, en la que considera que el número de accidentes y los costos se incrementan linealmente con el TPDA y la deficiencia en el ancho del puente.

En la figura 2, se muestra una gráfica de esta ecuación para diferentes valores de (AD - AR).



**Fig. 8: Gráfica de AP contra TPDA para diferentes valores de (AD-AR)**

### DEFICIENCIA POR GÁLIBOS (G).

La fórmula para el cálculo de esta deficiencia está dada por:

$$G = GI + GS$$

Donde:

$$GI = WG * \frac{(GID - GIR) * TPDA}{0.6 * 5000}$$

$$GS = WG * \frac{(GSD - GSR) * TPDA}{0.6 * 5000}$$

Donde:

WG = Es un factor de peso para la deficiencia en gálibos que para este sistema se vale 10 puntos.

GID = Gálibo inferior deseado en metros.

GIR = Gálibo inferior existente en metros.

GSD = Gálibo superior deseado en metros.

GSR = Gálibo superior existente en metros.

GI = Deficiencia en el gálibo inferior.

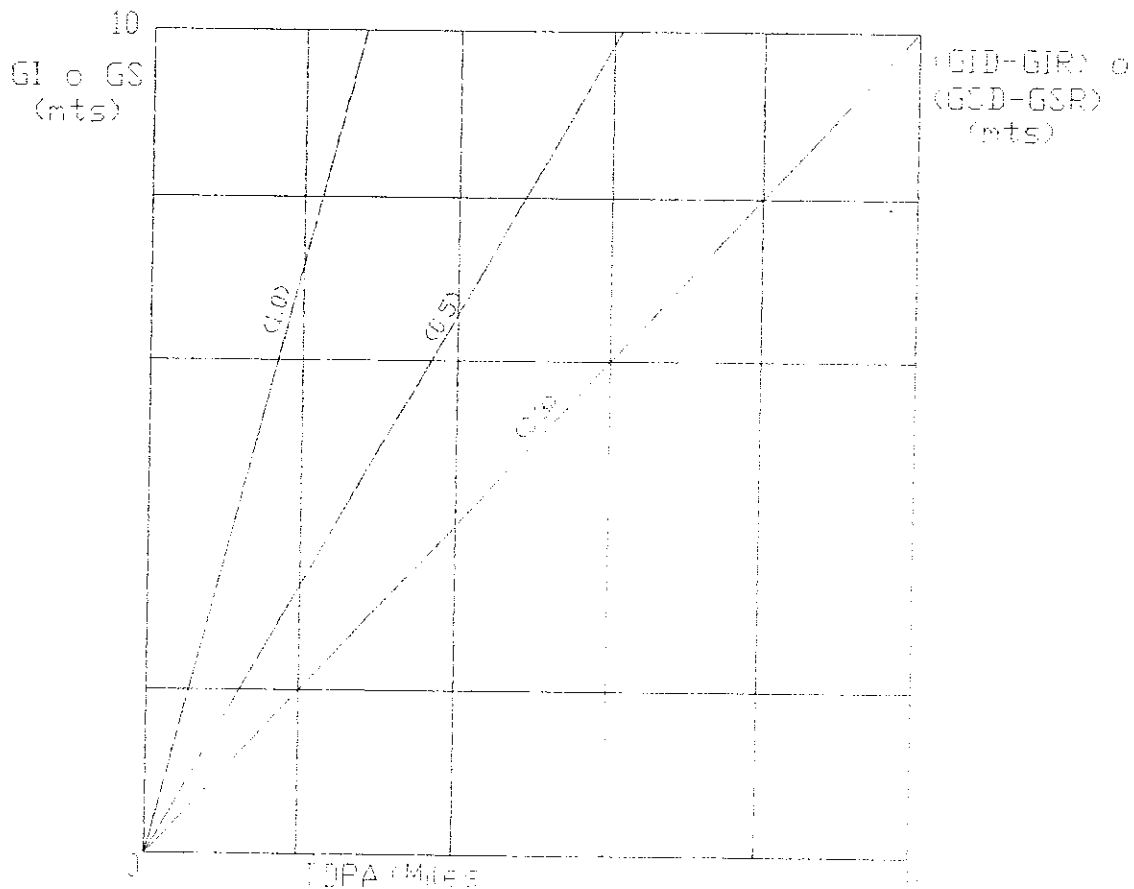
GS = Deficiencia en el gálibo superior.

TPDA = Tránsito promedio anual.

La fórmula para GI está graficada en la figura 4 para distintos valores de (GIR - GID), que como se puede ver, es lineal asumiendo que los costos de los usuarios asociados con los gálibos incrementan linealmente con el TDPA.

Para la fórmula de GS se ocupa la misma gráfica sólo que las rectas de los valores de (GIR-GID) pasan a ser los valores de (GSD-GSR), ya que las gráficas

**Fig. 9: Gráfica de GI contra TPDA para diferentes valores de GID-GIR**



### DEFICIENCIA EN LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL (CE).

Para calcular esta deficiencia, se utilizan las siguientes fórmulas:

$$CE = 0 \quad \text{para} \quad IC > 8$$

$$CE = WE \quad \text{para} \quad IC \leq 3$$

$$CE = WE * (1.6 - IC/5) \quad \text{para} \quad 3 < IC < 8$$

Donde:

$$IC = \frac{2 * ICSUB + 2 * ICSUP + ICR + 3 * SOC}{8}$$

Donde:

WE = Es un factor de peso para la deficiencia estructural, que para este sistema se vale 40 puntos.

IC = Índice de la condición de la estructura.

ICSUB = Índice de la condición estructural de la subestructura, tal como se define en la tabla 1.

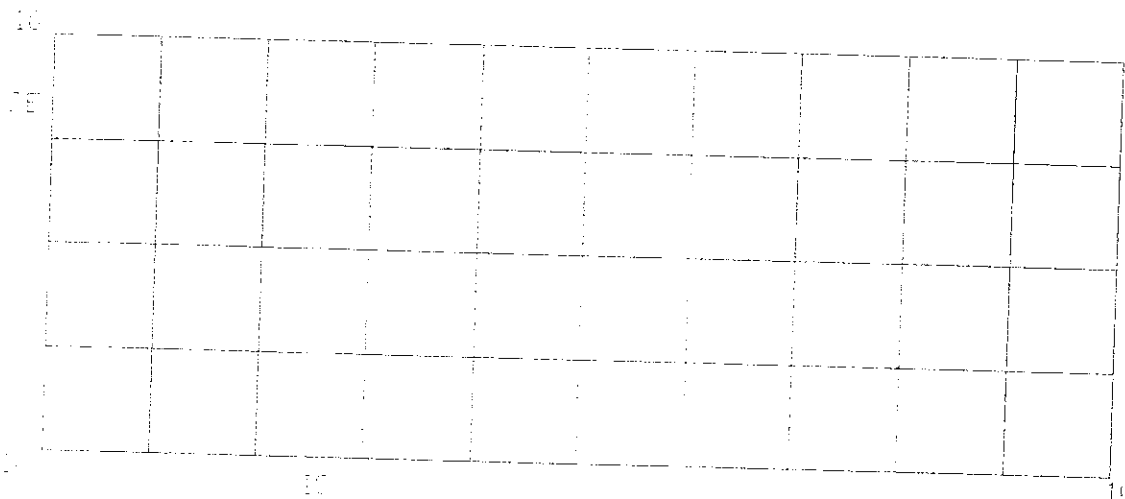
ICSUP = Índice de la condición estructural de la superestructura, tal como se define en la tabla 1.

ICR = Índice de la condición de la superficie de rodamiento, tal como se define en la tabla 1.

SOC = Índice de la condición de la socavación.

**Cuadro 5. Deficiencia en la condición estructural**

CLASIFICACIÓN GLOBAL SEGÚN "SCT"	NIVEL	DESCRIPCIÓN
"C"	9	EXCELENTE CONDICIÓN
	8	CONDICIÓN MUY BUENA
	7	CONDICIÓN BUENA
	6	CONDICIÓN SATISFACTORIA
"B"	5	CONDICIÓN REGULAR
	4	CONDICIÓN POBRE
"A"	3	CONDICIÓN SERIA
	2	CONDICIÓN CRITICA
	1	CONDICIÓN INMINENTE DE FALLA
	0	CONDICIÓN DE FALLA



**Fig. 10: Gráfica de CE contra IC**

**3.2. CRITERIOS DE COMPARACIÓN.** Los criterios de comparación se basan en la importancia que tiene un puente con respecto a otro, por ejemplo, La importancia económica, social, histórica, etc.

#### **4. JERARQUIZACIÓN DE LOS TRABAJOS DE REHABILITACIÓN.**

Una vez que se ha llevado a cabo todo el trabajo de inspección, el siguiente paso es el establecimiento de un programa anual de trabajos de mantenimiento de estructuras. Para ello se obtiene en primer lugar el listado de estructuras en las cuales las inspecciones han recomendado actuaciones, especificando la naturaleza y el grado de urgencia de las mismas, así estas son evaluadas y se forma una lista de puentes con más prioridades que otros.

Por lo antes expuesto, se podrá entender que la inspección es un estudio delicado, que se apoya, gran parte, en la apreciación y el buen juicio de quien la realiza.

De esta actividad depende, no sólo la identificación de necesidades de mantenimiento presentes, si no la obtención de una información valiosa para evaluar, planear, presupuestar y diseñar un buen programa de conservación de puentes.

## VI. MANTENIMIENTO

### 1. DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO.

El mantenimiento de puentes es una de las actividades más importantes entre las que hay que realizar para llevar a cabo la conservación de una red de carreteras. Su objetivo final, como la de toda labor de conservación, es la del mantenimiento de todas las condiciones de servicio de la carretera en el mejor nivel posible.

La falta de mantenimiento adecuado en los puentes da lugar a problemas de funcionalidad y seguridad que pueden ser graves: limitación de cargas, restricciones de paso, riesgo de accidentes, riesgo de interrupciones de la red..., y a un importante problema económico por el acortamiento de la vida útil de las obras.

Las causas y razones más comunes por las que es necesario el mantenimiento de un puente son:

- 1) Errores en el proyecto, errores durante la construcción, vigilancia, mantenimiento o reparaciones inexistentes o inadecuadas.
- 2) Materiales inadecuados o deterioro y degradación de los mismos.
- 3) Variación con el tiempo de las condiciones de tráfico (cargas y velocidades).
- 4) Acciones naturales de tipo físico, mecánico o químico (intemperismo).
- 5) Acciones accidentales, terremotos, avalanchas, inundaciones, explosiones, impacto de vehículos con elementos estructurales del puente.

Según la importancia del deterioro observado, las acciones para el mantenimiento un puente se clasifican en tres grupos:

- Mantenimiento rutinario.
- Reparaciones.
- Reforzamientos.

Como ya se ha señalado más del 50% de los puentes teóricamente son considerados fuera de vida útil; sin embargo, resulta complicado pensar en la sustitución y en la inversión que para ello se requiere, por lo que parece más sencillo y práctico continuar con un programa permanente de mantenimiento, reparación y refuerzo de puentes.

El mantenimiento rutinario es una labor substantiva que debe ampliarse para evitar que crezca el número de puentes con daños.

Con los trabajos de reparación y reforzamiento, se pretende que los puentes recuperen un nivel de servicio similar al de su condición original. Sin embargo, por la evolución del tránsito, a veces no es posible obtener este resultado y se requieren trabajos de refuerzos y ampliaciones.

## **2. PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN EN LOS PUENTES Y SUS POSIBLES CAUSAS.**

Son muchos los problemas que se presentan durante la vida útil de un puente, a continuación trataremos de sintetizar esos problemas y las soluciones que se presentan con más frecuencia.

La presencia de agua por una inadecuada evacuación de la misma da lugar a problemas muy diversos que pueden afectar tanto a los estribos como a las pilas, cabezales, arcos, bóvedas, tableros, vigas, apoyos, terraplenes de acceso, etc. Ya sea por la propia acción directa del agua: erosiones, socavaciones, humedad. Por su acción como vehículo de otros agentes agresivos: corrosión por sales, ataque por sulfatos, disolución de ligantes en mortero, o por jugar un papel predominante en otros fenómenos: reacción árido-alkali.

En las estructuras metálicas resulta evidente la importancia de evitar la presencia permanente en determinadas zonas de humedad, que acabarán siendo origen de fuertes problemas de corrosión.

Los desperfectos originados en las zonas de apoyo y juntas por las humedad que permanentemente se presentan en tales zonas. El mantenimiento de los desagües del tablero es importante.

Las fisuras de flexión son las que se sitúan mas generalmente en la zona central del claro, incluyendo las zonas llamadas de "momentos nulos". Nacen en la fibra inferior, cortan el cordón inferior de la viga, suben por el alma, al principio verticalmente, y luego se inclinan bajo la influencia del esfuerzo cortante cuando se aproximan a los apoyos.

Sólo pueden existir fisuras inclinadas en el alma, en la cercanía de los apoyos, son fisuras producidas por el esfuerzo cortante.

Estas fisuras son activas, es decir, su abertura varia bajo el efecto diario del gradiente térmico (insolación del tablero) y bajo el de la circulación (vehículos pesados).

La razón esencial de esta fisuración es un pretensado insuficiente ante las sollicitaciones de flexión de la estructura.

Se logra el objetivo de la reparación poniendo en una obra un pretensado adicional después de haber inyectado las fisuras que estén suficientemente abiertas; el umbral de una inyección es del orden de 0.2 a 0.3 mm.

Por su proximidad al mar, las altas temperaturas del verano y los vientos dominantes, el puente está sometido a un ambiente altamente agresivo, lo que unido a la deficiente calidad de los materiales y la alta porosidad del concreto puede producir la alta carbonatación del mismo, acelerando la oxidación de las armaduras y el arrancamiento del concreto en muchas zonas.

La oxidación en mayor o menor grado de la armadura activa puede ser extremadamente grave, pues es sabido que la corrosión bajo tensión es un fenómeno que produce su rotura sin previo aviso, poniendo en peligro la estabilidad del puente. Esta corrosión, por lo general, puede ser debida a dos causas: recubrimientos defectuosos o insuficientes o fallios en la inyección de las vainas.

Pérdidas de recubrimiento, oxidación de armaduras, grietas y fisuras generalizadas en todos los elementos del puente, más a menudo en el tablero y las zonas próximas a las juntas y los drenes.

Despegue del concreto de las péndolas en el tablero y arcos, oxidación de las rotulas metálicas, mal funcionamiento de los drenes del tablero, juntas no estancas y muy deterioradas, muchas veces inexistentes.

A causa de los materiales: concreto fabricado con áridos con elevado contenido de feldespatos (granitos, esquistos, pizarras, etc.), si después tiene un aporte considerable de agua, en este caso este tipo de áridos puede reaccionar con el hidróxido cálcico de la pasta de cemento, produciendo unos nuevos compuestos químicos: ceolitas, productos que son expansivos y que en un plazo más o menos largo producen la destrucción del concreto.

Los procedimientos más usuales para solucionar los problemas más comunes en cada una de las etapas y para los elementos más comunes en los puentes, se sintetizan a continuación:

## **2.1. CAUSES Y CIMENTACIONES.**

- Limpiar, reponer y estabilizar la alineación y la sección transversal del cauce.
- Para evitar erosiones y socavaciones: utilizar gaviones o muros de mampostería o de concreto ciclópeo.
- Reconstruir los conos de derrame y delantales frente a los apoyos extremos.
- Hacer zampeados de mampostería de piedra con dentellones en el fondo del cauce.
- Proteger los caballetes con pedraplenes o escolleras instaladas al frente y alrededor.

## 2.2 SUBESTRUCTURAS.

- Recimentación de pilas y estribos:
  - Utilizando concreto ciclópeo colado bajo el agua.
  - Construcción de una pantalla perimetral de micropilotes.
    - Reparación y refuerzo de pilas y estribos fracturados por socavación, hundimientos e inclinación por cargas.
- Utilizando encamisados de concreto.
- Con el adosamiento de estructuras metálicas.
  - Reparación de pilotes que presentan fractura y exposición del acero de refuerzo.
  - Reforzamiento de corona y cabezales.
  - Inyección de grietas y reposición de concreto degradado.
  - Reconstrucción de coronas y bancos de apoyo.

## 2.3. SUPERESTRUCTURAS

De concreto:

- Reparación de grietas en trabes, diafragmas y losas.
- Inyección de resinas epoxicas.
  - Para reforzar los elementos de la superestructura:
- Adosar soleras metálicas con resinas epóxicas.
- Incremento del número de trabes.
- Construir sobrelosas.
- Colocar preesfuerzo longitudinal, transversal y vertical.
  - Alineamiento de superestructuras desplazadas transversalmente por asentamiento de los apoyos o por efectos dinámicos, sismos e impactos de vehículos.

metálicas:

- Reparaciones por oxidación y corrosión:

- Sustitución de elementos que han tenido pérdidas del área de su sección transversal.
- Reemplazo de remaches y pernos.
  - Para reforzar los miembros de la superestructura:
- Con cubre placas.
- Con perfiles laminados.
- Incremento del número de trabes.
  - Sustitución de sistemas de piso.
  - Ampliaciones y refuerzo.

Arcos de mampostería y arcos de concreto:

Mampostería: Ha requerido reforzamientos con arco de concreto o trabes pretensadas, afianzamiento de dovelas y, para su ampliación, se han construido sobrelosas voladas de concreto armado.

Los puentes de arcos de concreto, en general, han presentado la misma problemática que las estructuraciones de concreto reforzado.

#### **2.4. DISPOSITIVOS DE APOYO.**

Requieren de un programa de limpieza a intervalos regulares y protegerlos con pintura o material galvanizado.

En caso de corrosión severa que impidan su funcionamiento, deben reemplazarse.

Otros casos típicos de sustitución se presentan con mecedoras de concreto armado que se fisuran ó los apoyos que se deforman.

### **3. EL PROBLEMA DE LA CORROSIÓN.**

En la vida diaria con frecuencia consideramos a la corrosión de los metales como algo molesto que debemos prevenir y evitar sopena de tener que desechar nuestras utensilios o bien tener que limpiarlos o pintarlos frecuentemente para que puedan darnos servicio durante un poco más de tiempo.

Nos preocupamos sobre todo por los objetos expuestos al medio ambiente, principalmente cuando este medio ambiente corresponde a un clima húmedo y cálido.

Sin embargo, hay que aclarar que, la corrosión, no es un hecho trivial, sino que, a nivel mundial, viene a ser uno de los fenómenos más trascendentales en la economía de toda sociedad humana.

Por lo que se refiere a los perjuicios que el fenómeno de la corrosión ocasiona a la industria de la construcción, cabe mencionar que hoy en día se tiene plena conciencia de que el factor más determinante para la reducción en la durabilidad del concreto estructural es la falta de control de la corrosión en los aceros de refuerzo.

Es interesante hacer la observación de que generalmente se dé preferencia, en el diseño, a la construcción de obras de concreto reforzado o presforzado sobre las de acero estructural, pensando en que estas últimas requieren de una conservación periódica y costosa, mientras que en los primeros basta con llevar, durante la construcción, un estricto control de calidad en la construcción para que la vigilancia y conservación de dichas obras durante su etapa de servicio no sea tan estricta como en el caso de las estructuras de acero.

La realidad es que el inicio de la corrosión en las estructuras metálicas es observable con toda claridad y permite tomar medidas oportunas mientras que en las estructuras de concreto el fenómeno permanece encubierto y cuando se descubre el daño, muchas veces, ya es irreparable. Por otro lado se sabe también, que la corrosión bajo tensión en aceros de preesfuerzo puede provocar el colapso súbito de las estructuras presforzadas. Cabe mencionar las fallas por corrosión bajo tensión en los aceros de preesfuerzo de las siguientes obras:

- 1967 en E.U., colapso del puente Silver sobre el río Ohio, que costó la vida de 46 personas.
- 1980 en México, colapso de la techumbre del auditorio Benito Juárez en la Ciudad de Guadalajara, Jalisco, que pudo costar la vida a más de 10,000 personas.
- 1981 en Maracaibo, Venezuela, sustitución de más de 1,300 toneladas de acero de los cables del puente atirantado que se encuentra en este lugar, debido al deterioro por corrosión bajo tensión.

**3.1. EL FENÓMENO DE LA CORROSIÓN.** Acción química, electromecánica, mecano química, o biológica, lenta o acelerada de la naturaleza o el medio ambiente, que degrada y destruye los materiales. Este fenómeno, al que se da el nombre de corrosión se manifiesta más

sólidos como son los metales, las cerámicas, los polímeros artificiales, los agregados y los minerales fibrosos de origen natural.

El fenómeno de la corrosión de la materia sólida consiste básicamente en la pérdida del equilibrio en las fuerzas cohesivas. Las fuerzas que mantienen la cohesión de la materia sólida son de naturaleza eléctrica.

Esta cohesión es el resultado del equilibrio de las fuerzas de atracción entre los núcleos atómicos positivos y los electrones con carga negativa, con las fuerzas de repulsión de los electrones entre sí y de los núcleos atómicos entre sí.

**3.2. FORMAS DE CORROSIÓN.** Para evaluar los daños producidos por la corrosión es muy conveniente clasificarlos según la forma como se producen:

Cuando la superficie del metal se corroe en una forma casi uniforme se dice que la corrosión es de tipo "superficial". Es la forma más benigna o menos peligrosa pues el material se va gastando gradualmente extendiéndose en forma homogénea sobre toda la superficie metálica y su penetración media es igual en todos los puntos. Un ataque de este tipo permite evaluar fácilmente y con bastante exactitud la vida de servicio de los materiales expuestos a él.

A veces el ataque se profundiza más en algunas partes, pero sin dejar de presentar el carácter de ataque general constituyendo un caso intermedio entre corrosión uniforme y corrosión localizada, en este caso se dice que se trata de una corrosión "en placas".

Existe otra forma de corrosión, conocida como corrosión "por picadura" que se presenta cuando una superficie metálica que ha sido pasivada se expone a un medio agresivo. Durante el picado, el ataque se localiza en puntos aislados de superficie metálicas pasivas y se propaga hacia el interior del metal formando en ocasiones túneles microscópicos.

La corrosión se puede presentar de varias formas que difieren en apariencia.

*Corrosión general:* La corrosión general es la forma más común que se puede encontrar y la más importante en términos de pérdidas económicas. Se caracteriza por un ataque más o menos uniforme en toda la superficie expuesta con solamente variaciones mínimas en la profundidad del daño. En las estructuras se pueden usar recubrimientos especiales para minimizar el ataque de la corrosión.

*Corrosión galvánica:* Se puede producir un daño severo por corrosión cuando dos o más metales distintos se acoplan eléctricamente. Esto se conoce como corrosión galvánica y resulta por la existencia de una diferencia de potencial entre los metales acoplados que causa un flujo de corriente entre ellos. El metal más activo padece una corrosión más acelerada, mientras que la corrosión en los miembros menos activos se retarda o se elimina.

*Corrosión por hendiduras:* La corrosión por hendiduras es un tipo que se presenta en espacios confinados o hendiduras que se forman cuando los componentes están en contacto estrecho. Para que se presente la corrosión por hendidura, la hendidura debe ser muy cerrada, con dimensiones menores a un milímetro. Aunque no se han definido los límites de la brecha, es conocido que este tipo de corrosión no se presenta en espacios más grandes.

Para que se presente la corrosión por hendiduras no es necesario que las dos superficies de aproximación sean metálicas. También se ha reportado corrosión por hendiduras formadas por varios materiales no metálicos (polímeros, asfaltos, vidrio, neopreno) en contacto con superficies metálicas. El hecho de que esto pueda ocurrir es de una importancia especial en la aplicación y selección de materiales de juntas de dilatación, apoyos, etc.

*Picaduras:* Las picaduras son una parte localizada de corrosión en la que el ataque está confinado a muchas cavidades pequeñas en la superficie del metal. Las cavidades que se forman pueden variar en cantidad, tamaño y forma. Las picaduras pueden contribuir de manera importante a una falla general, en componentes sujetos a esfuerzos muy altos, dando como consecuencia la falla por corrosión bajo tensión.

El picado se puede presentar en varios metales y aleaciones, pero los aceros inoxidable y las aleaciones de aluminio son susceptibles en especial a este tipo de degradación.

*Agrietamiento por corrosión y esfuerzos:* El agrietamiento por corrosión y esfuerzos es una falla corrosiva en la que se forman las grietas de un componente bajo la acción combinada de esfuerzos mecánicos y un medio ambiente agresivo. Los esfuerzos y el medio ambiente agresivo se unen para ocasionar una falla súbita.

Por lo general los requisitos para que se presente la corrosión son dos:

- Un metal o aleación susceptibles. Aceros de alta resistencia, latones y aceros inoxidable, y aleaciones comunes de aluminio, acero, hierro, etc.
- Un medio ambiente específico. Por lo general, un ambiente húmedo o salado, por lo general un ambiente lleno de iones específicos (iones de cloruro, iones de monio, etc.)

#### **4. MANTENIMIENTO RUTINARIO.**

Las tareas de conservación se pueden clasificar en: ordinarias y extraordinarias, en función de que sean labores que se deban llevar a cabo con una periodicidad fija o de que haya que efectuarlas sólo cuando la evolución del estado del elemento a conservar lo demande.

Del primer grupo (ordinarias), se refieren básicamente a la de inspección, limpieza y pintura; mientras que las del segundo (extraordinarias) abarcan un amplio campo que va desde la rehabilitación del concreto degradado hasta la renovación de elementos de equipamiento como juntas, impermeabilización, etc.

**4.1. DEFINICIÓN.** El mantenimiento rutinario lo comprenden aquellas actividades de mantenimiento en los puentes que pueden ser realizadas por el personal de las residencias de conservación. Dichas actividades son:

- Señalización, pintura, alumbrado, etc.
- Limpieza de acotamientos, drenes, lavaderos y coronas de pilas, estribos, caballetes, etc.
- Limpieza y rehabilitación de conos de derrame incluida su protección, enrocamiento o zampeado.
- Limpieza y rehabilitación del cauce.
- Recarpeteo de los accesos del puente.
- Protección contra la socavación.
- Reacondicionamiento de parapetos dañados.
- Limpieza o rehabilitación de las juntas de dilatación.
- Limpieza o protección de apoyos.

**4.2. ACCIONES MÁS COMUNES.** Las acciones del mantenimiento rutinario más comunes son:

Limpieza de drenes, limpieza de juntas, pequeños rellenos en zonas erosionadas en los terraplenes de acceso, limpieza en zona de apoyos, pintura de barandillas, señalamientos, etc. Todas estas operaciones se llevan a cabo por los equipos encargados del mantenimiento ordinario de la carretera.

Barreras de seguridad y barandillas. El mantenimiento y renovación de las barreras de seguridad doble-onda en las estructuras está sujeto a los mismos condicionantes que en el resto de la carretera. Únicamente se da el problema diferencial de la oxidación.

Aceras y canalizaciones. La corrosión de los anclajes que unen las piezas a la estructura, los movimientos diferenciales, los usos de explotación diferentes a los previstos inicialmente, etc., unidos a los defectos de la colocación inicial, dan lugar a bastantes reparaciones algunas muy costosas y complejas. Además, en ocasiones, el concreto con el que se construyeron estos elementos es de menor calidad que el empleado en la estructura por lo

que en aceras e impostas se dan comparativamente bastantes problemas de deterioro.

El pavimento. Normalmente la vida de las mezclas asfálticas sobre tableros es mucho más dilatada que en pavimentos normales produciéndose la rotura al cabo de los años por cuarteos debidos al propio envejecimiento de la mezcla y el despegue propiciado por el agua que escurre entre el pavimento y la losa.

Por otra parte, es obvia la conveniencia de no reparar el pavimento añadiendo una capa sobre la existente por lo que supone de sobrecarga y en muchos casos la anulación de bordillos, drenes y juntas de dilatación.

Por consiguiente, las acciones de conservación que se llevan acabo sobre el pavimento de los puentes consisten en el sellado de grietas o el extendido de capas finas a base de lechadas asfálticas que regeneran las características superficiales y a la vez que mejoran la impermeabilidad de las losas.

En otros casos es necesario eliminar el pavimento existente mediante fresado o demolición, y extender una nueva capa de mezcla asfáltica previa renovación o implantación de la correspondiente capa de impermeabilización.

## **5. REPARACIONES.**

**5.1. DEFINICIÓN.** Reparaciones dentro del mantenimiento se consideran las siguientes acciones:

Sellado de fisuras, inyección de fisuras, saneo de concreto degradado, reposición de concreto, limpieza de armaduras, impermeabilización del tablero, pintura perimetral, recolocación o recalce de apoyos, reparación o reposición de barreras o parapetos, reparación de aceras y canalizaciones de servicios, actuaciones sobre el pavimento y otras actuaciones singulares como, por ejemplo, arreglo de socavaciones en la cimentación, etc. Estas acciones se llevan a cabo por equipos específicos una vez que se ha decidido su realización.

La reparación de los puentes enmarca las siguientes actividades en los puentes que son realizadas por personal técnico especializado (Empresas Contratistas):

- Alineamiento vertical y horizontal de tableros de la superestructura.
- Cambio de apoyos.
- Cambio de juntas de dilatación.
- Rehabilitación del concreto degradado.

- Tratamiento de armados expuestos.
- Inyección de grietas en subestructura y superestructura.
- Protección de aceros expuestos en subestructura y superestructura utilizando Sand-Blasting, picado o pegacreto para colocar concreto lanzado.

El mantenimiento de puentes es una de las actividades más importantes entre las que hay que realizar para llevar a cabo la conservación de una red de carreteras. Su objetivo final, como la de toda labor de conservación, es la del mantenimiento de todas las condiciones de servicio de la carretera en el mejor nivel posible.

Otro tipo de acciones es la reparación de daños producidos por golpes. Con cierta frecuencia se producen colisiones del tráfico con las obras, especialmente de vehículos que circulan con altura excesiva de carga por pasos inferiores, aunque también dentro de la propia autopista por colisionar contra pilas, etc. Estos daños cuando se producen son reparados aunque no constituyan un peligro inmediato para el buen funcionamiento de la estructura. La reparación consiste normalmente en la eliminación del concreto roto y sus sustitución por un mortero de reparación.

**5.2.ACCIONES Y PROCEDIMIENTOS MÁS COMUNES.** Cuando el deterioro del concreto de la estructura del puente aparece en estado avanzado, con desprendimientos en algunas zonas, armaduras pasivas al descubierto con oxidación evidente, y a veces, desaparición de la misma, armaduras activas con inicios de oxidación y sus conductos con zonas sin inyectar, falta de recubrimiento, o síntomas de fallas en los anclajes; la reparación del puente se efectuara atendiendo a los principios siguientes:

Las acciones que se llevan a cabo con mayor frecuencia son:

- Impermeabilización y regeneración del concreto de losas, pilas y estribos, consistente en:

Descubrir la cara superior del tablero y proceder a su inspección y auscultación para descubrir fisuras, zonas huecas, degradación, etc. En pilas y estribos se inspeccionan las partes visibles.

Inyectar las fisuras cuya abertura y profundidad suponga un peligro grave para la durabilidad tanto en la cara superior como inferior, y sellar el resto.

Eliminar, en el caso que existe, el concreto cuarteado, desagregado, o separado en láminas y sustituirlo por un mortero de reparación.

Limpiar el óxido de las armaduras descubiertas y sustituir las en el caso de que tuvieran una corrosión importante.

Mejorar en sistema de drenaje en los casos en que convenga.

Extender una capa de impermeabilización competente en la cara superior del tablero, regularizando la superficie previamente si es necesario.

Recubrir el concreto visto, cara inferior de las losas, pilas, estribos, alzados, etc. con una pintura antihumedad y anticarbonatación transparente o de color, previo chorreado con arena.

Reparación o sustitución de elementos del equipamiento. Componen el equipamiento de un puente: los apoyos, las juntas de dilatación, los sistemas de impermeabilización y drenaje, el pavimento, las barreras de seguridad, las barandillas, las aceras, las eventuales canalizaciones para servicios, etc.

En la mayoría de los casos, además, del deterioro de estos elementos es mucho más rápido que el de la estructura por lo que normalmente una buena parte de acciones va dirigida a la reparación o renovación de los mismos.

Las acciones que se llevan a cabo son las siguientes:

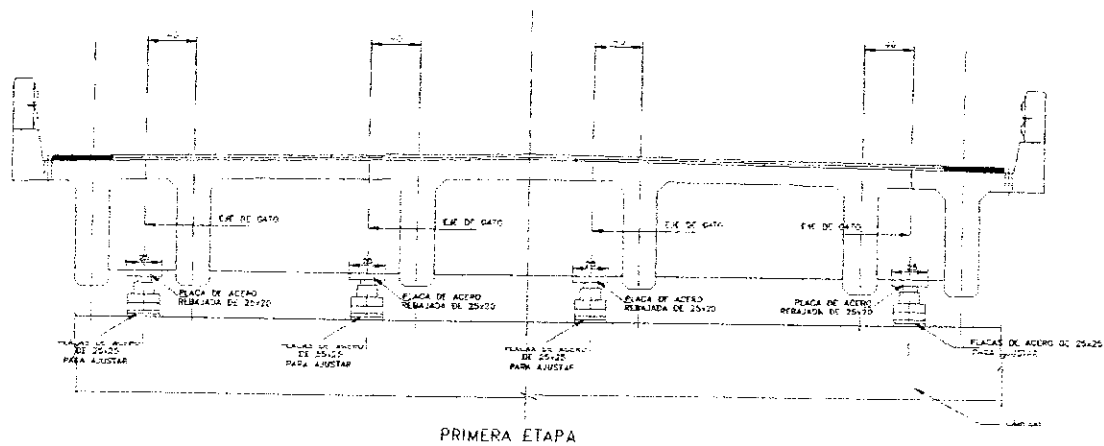
**5.2.1. Cambio de apoyos elastoméricos.** Aunque presumiblemente en un futuro sea necesaria la renovación de apoyos, hasta el momento no se han observado roturas ni envejecimiento que hagan aconsejable su sustitución salvo en algún caso aislado. Sin embargo si ha sido necesario recolocar algunas pastillas de neopreno que se habían desplazado de su posición original como consecuencia normalmente de una mala colocación inicial y de un deficiente apoyo de la estructura.

También ha sido necesario corregir el descenso de algunas líneas de apoyos sobre estribos cimentados en terraplenes o macizos que han sufrido asentamientos. Estos descensos producen un quiebro brusco en el perfil longitudinal que es preciso corregir para mantener la regularidad de la rasante.

La elevación de apoyos es una de las acciones de conservación más complejas y costosas ya que exige el levantamiento del tablero mediante gatos, el desvío del tráfico y la demolición parcial y posterior recrecido de los muretes de contención del firme.

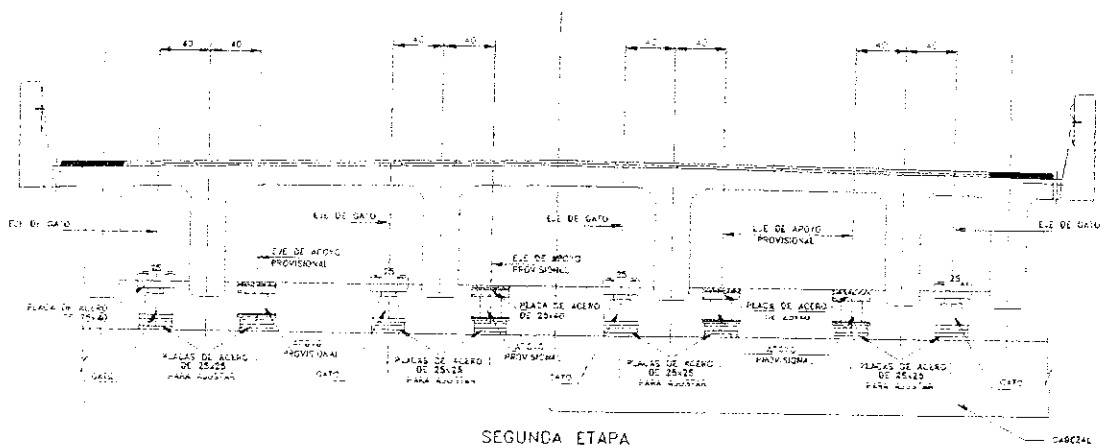
A continuación el procedimiento constructivo del cambio de apoyos:

**Fig. 11: Apoyos elastoméricos**



**PRIMERA ETAPA:**

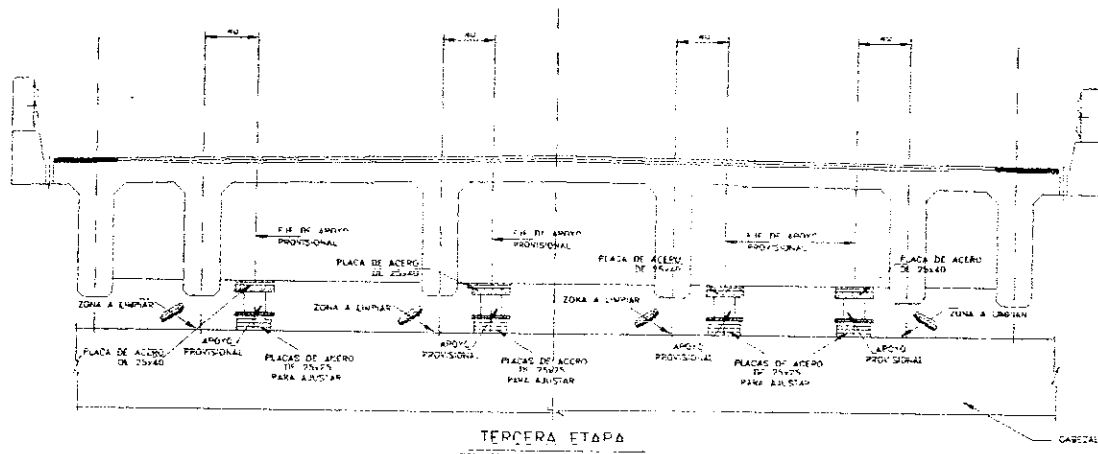
SE COLOCAN LOS GATOS BAJO EL DIAFRAGMA EN LA POSICIÓN INDICADA, LEVANTANDO LA SUPERESTRUCTURA HASTA LA ALTURA NECESARIA PARA REALIZAR MANIOBRAS. EL ACCIONAMIENTO DE LOS GATOS SERA SIMULTANEO DE TAL MANERA QUE NO SE MODIFIQUE LA PENDIENTE DEL PUENTE.



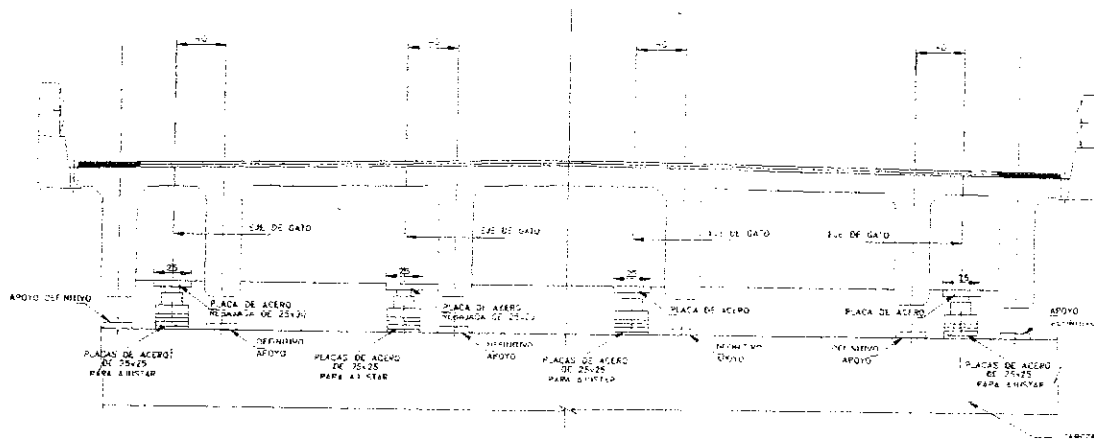
**SEGUNDA ETAPA:**

SE COLOCARAN LOS APOYOS PROVISIONALES BAJO EL DIAFRAGMA CUIDANDO QUE LOS GATOS DESARROLLEN LA MISMA FUERZA, Y AL BAJAR LAS TRABES SE CONSERVE LA PENDIENTE ORIGINAL DEL PUENTE.

**Fig. 11.1 : Continuación Apoyos elastoméricos**



TERCERA ETAPA:  
SE PROCEDERA A REPARAR LA CARA INFERIOR DE LA TRABE DE SER NECESARIO. SE PREPARARA LA SUPERFICIE DE LA CORONA PARA LA COLOCACION DEL NUEVO APOYO.



CUARTA ETAPA:  
UNA VEZ QUE BAJO LAS TRABES ESTEN COLOCADAS SUS PLACAS DE APOYO DEFINITIVO, SE LEVANTARA LA SUPERESTRUCTURA NUEVAMENTE Y SE RETIRARAN LOS APOYOS PROVISIONALES Y LA CALZA, PARA ASENTAR LA ESTRUCTURA DE MANERA DEFINITIVA.

### 5.2.2. Inyección de grietas. Pasos a seguir para la inyección de grietas:

Preparación de la superficie. Limpiar con un cepillo de alambre el área de la grieta removiendo el concreto deteriorado, quedando una superficie libre de grasas y polvo. Cuando exista humedad en la fisura es preciso retirarla a base de aire comprimido de tal manera que la fisura quede totalmente seca.

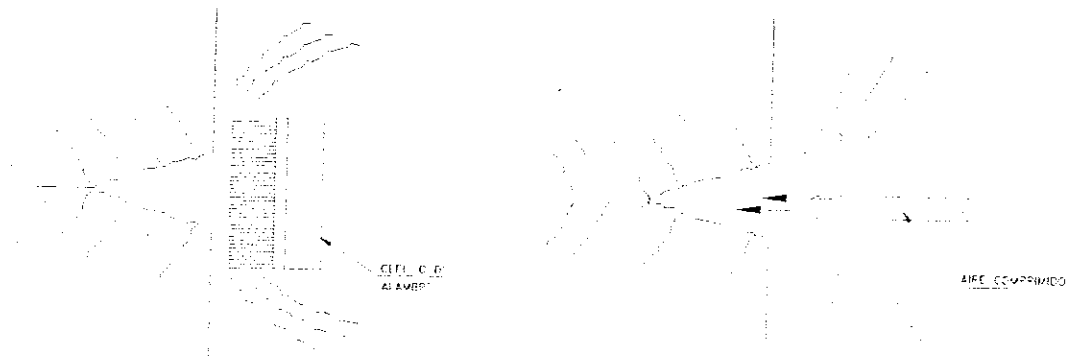


Fig. 12 : Inyección de grietas

Colocación de la pasta. Colocación de la pasta de poliéster (sellador) con una espátula sobre el inyector, esta pasta deberá ser capaz de soportar la presión de inyección sin que se bote.

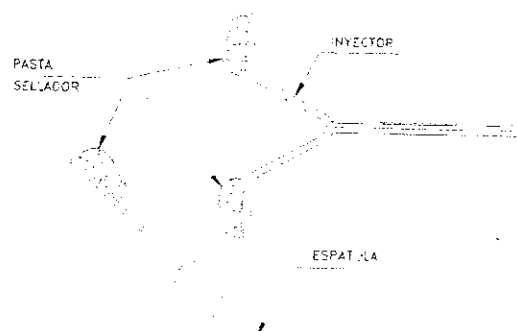
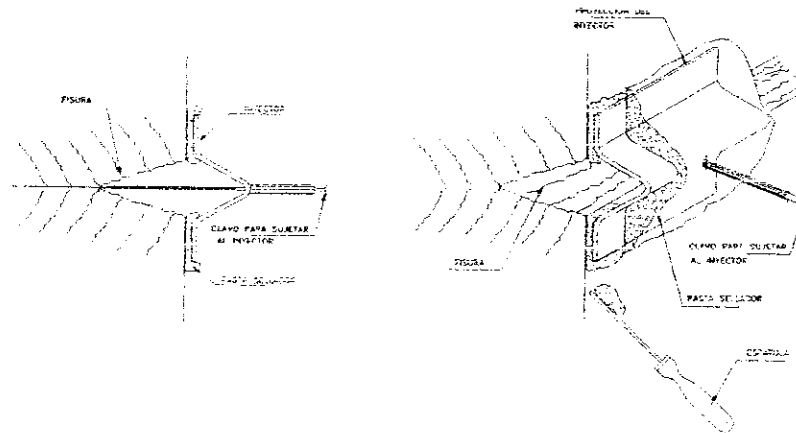


Fig. 12.1 : Continuación inyección de grietas

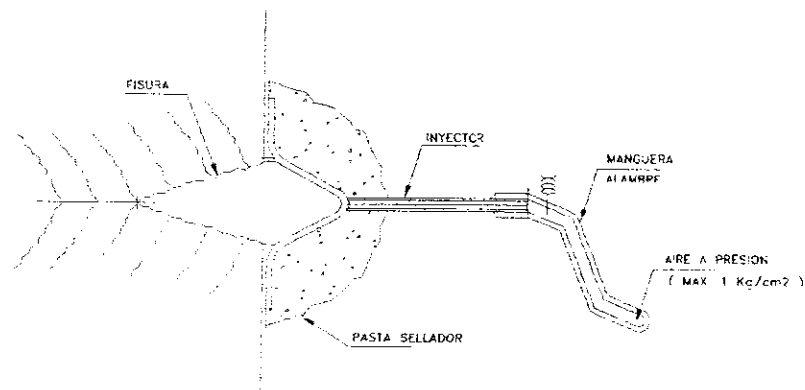
**Colocación de inyectores.** Colocar los inyectores a lo largo de la fisura sujetándolos por medio de un clavo. Colocar pasta sellador a lo largo de toda la fisura de tal manera que no pueda fugarse la resina durante la inyección. Cuando las fisuras atraviesen todo el elemento se deberán colocar inyectores en ambos lados.

**Fig. 12.2 : Continuación inyección de grietas**



**Prueba de sello.** Una vez endurecido el sello, se conectarán las mangueras a los inyectores y mediante aire a baja presión se comprobará la comunicación de todos los puntos de salida y la estanqueidad del sello.

**Fig. 12.3 : Continuación inyección de grietas**

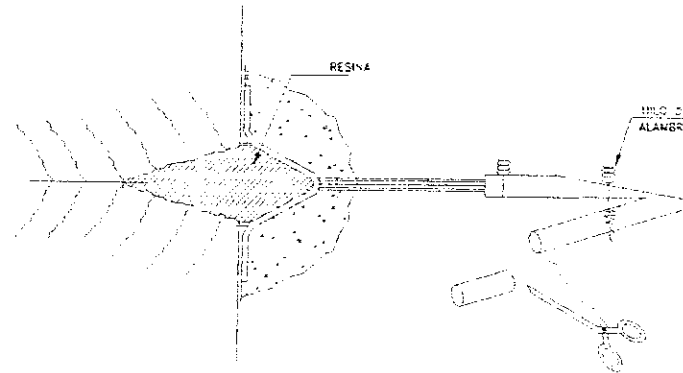


**Inyección.** Una vez comprobada la continuidad de los puntos se deberá realizar lo siguiente:

- Preparar la resina.
- Iniciar la inyección por el punto extremo inferior de la fisura hasta que la resina salga por el siguiente punto.

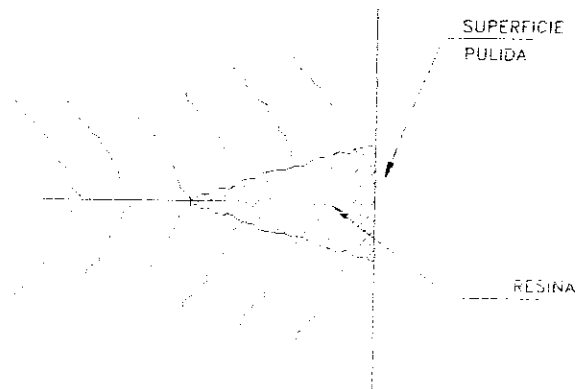
- Cortar la manguera y pizcarla con hilo de alambre de tal manera que este totalmente cerrada.
- Seguir inyectando hasta que la resina salga por el inyector superior, cerrarlo y mantener la presión durante algunos minutos para asegurar el llenado completo de la fisura.
- Dejar un testigo de resina para que después se pueda verificar su endurecimiento.
- Para realizar la inyección se utilizará un recipiente provisto de un manómetro de manera que se pueda controlar la presión de inyección (no mayor a  $5 \text{ Kg/cm}^2$  y no menor a  $1.5 \text{ Kg/cm}^2$ ).

**Fig. 12.4 : Continuación inyección de grietas**



**Limpieza.** Se deberá secar la resina por lo menos 24 horas y se verifica que haya endurecido. Una vez endurecida la resina, retirar la pasta sellador e inyectores, y limpiar y pulir la superficie.

**Fig. 12.5 : Continuación inyección de grietas**



**5.2.3. Cambio de juntas de dilatación.** Las juntas son seguramente el elemento más delicado del equipamiento. Estas juntas, por definición, tienen la tarea de unir los espacios libres, requeridos por razones del comportamiento estructural entre dos elementos de un puente.

Una junta eficiente tiene que cumplir característicamente con los siguientes requisitos:

- Transmisión de cargas y libertad de movimiento.
- Durabilidad de todos los elementos de la junta.
- Emisión baja de ruidos durante el paso de vehículos.
- Autolimpiables.

Las acciones del tráfico inciden directamente sobre ellas mediante sollicitaciones de impacto repetitivas, lo que produce el agotamiento por fatiga o el desgaste de sus componentes, a los que hay que añadir la corrosión de los elementos metálicos y el envejecimiento de perfiles de goma, morteros, etc. Las acciones que se llevan a cabo son de dos tipos:

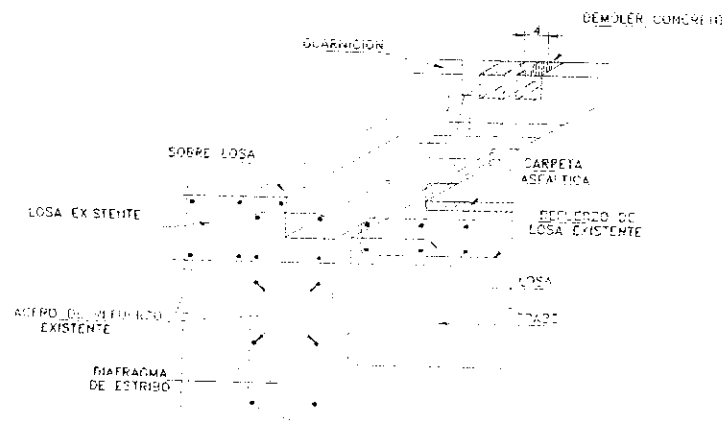
Reparación de juntas: sustitución de módulos retos, apretado de tuercas, y tornillos, reparación del mortero lateral roto o cuarteado, sustitución de perfiles de goma envejecidos o despegados.

Renovación de juntas: cambio de la junta por una nueva. En este caso es posible en bastantes ocasiones colocar una nueva junta más sencilla que la original debido a que los movimientos iniciales de la estructura (fluencia, retracción, etc.) no han de tenerse en cuenta.

Procedimiento constructivo de modernización de junta de calzada:

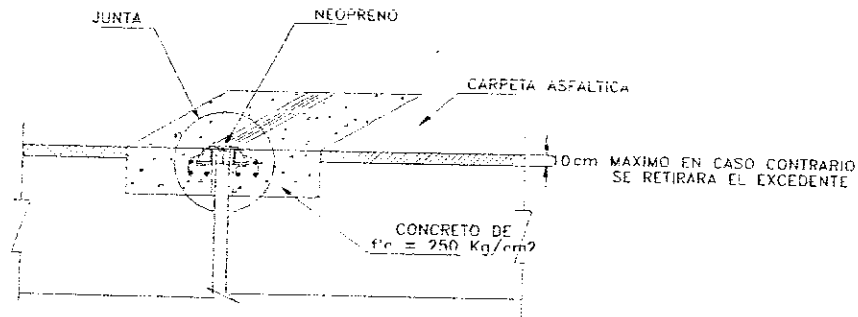
- Cortar y retirar la carpeta asfáltica en un ancho de 20 cms. En ambos lados de la junta de dilatación.
- Realizar la demolición de la losa y hasta 15 cms. dentro de la banqueta para fijar el remate de la junta de dilatación.

**Fig. 13 : Cambio de juntas de dilatación**



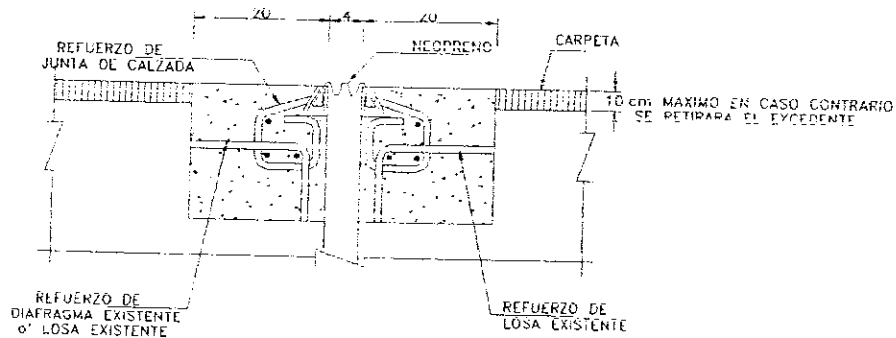
- Retirar ángulos y placa de acero de junta existente.
- Colocar y habilitar perfil en la calzada en ambos lados de la junta.
- Revisar nivelación de la junta.

**Fig. 13.1 : Continuación cambio de juntas de dilatación**



- Colar y vibrar perfectamente zona de juntas.
- una vez fraguado el concreto se colocara el perfil de neopreno.

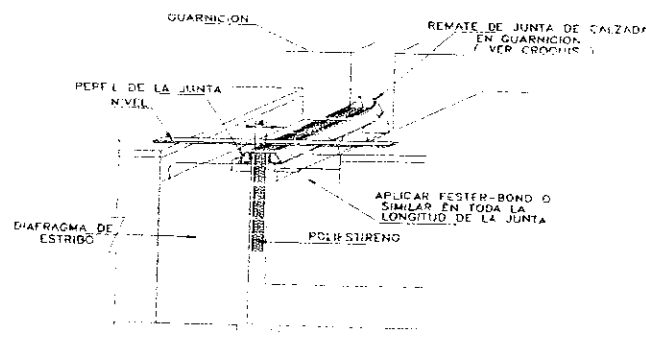
**Fig. 13.2 : Continuación cambio de juntas de dilatación**



**5.2.4. Tratamiento de armados expuestos.** El procedimiento más común para el tratamiento de las armadura oxidadas:

- Se descubrirán picando todo el concreto que las cubre.
- Se eliminará el óxido no adherido (cepillo de alambre o chorro de arena), después se les aplicara una pintura anticorrosiva.

**Fig. 13.3 : Continuación cambio de juntas de dilatación**



- Si la armadura presenta una pérdida de sección notable se suplantará, si es posible, con una nueva soldada a la antigua.

**5.2.5. Rehabilitación del concreto degradado.** Su necesidad surge por varios motivos. El proceso normal de degradación de las estructuras de concreto armado al estar sometido a las acciones ambientales da lugar a que se presente algunas degradaciones que es necesario reparar para evitar daños mayores.

Por una parte la inevitable carbonatación del concreto va penetrando progresivamente hasta alcanzar las armaduras, que pierden así la protección que les proporcionaba la elevada basicidad inicial. Este efecto, unido al ingreso de cloruros procedente fundamentalmente de las sales de deshielo, facilita la corrosión de las armaduras con los efectos negativos sobre el concreto, que conlleva a : fisuración, delaminación y desintegración más o menos localizadas.

Por otra parte, los fenómenos químicos del tipo reacción ácido-álcali y similares, que cuando se producen, dan origen a hinchamientos que se traducen normalmente en fisuración. Esta fisuración es debida en muchos casos a la superación de la resistencia a la tracción.

Estos procesos de degradación están ligados principalmente a dos factores: la mayor o menor permeabilidad del concreto y la existencia de agua que pueda acceder a la masa del concreto.

Esta serie de causas da lugar a un conjunto de acciones destinadas a rehabilitar el concreto y las armaduras deterioradas y a mejorar el sistema de impermeabilización y evacuación del agua, enemigo numero uno de las obras.

El procedimiento para la rehabilitación del concreto degradado se expone a continuación:

El concreto alterado se saneará incluyendo las zonas fisuradas demoliendo, la superficie así obtenida se limpiara cuidadosamente (cepillo metálico o chorro de arena) antes de colocar el concreto o el mortero que sustituirá la zona desaparecida. Este nuevo mortero o concreto deberá cumplir las siguientes condiciones:

- Tener una adherencia perfecta con el concreto viejo. Es normal para garantizarlo dar una impregnación de resina epoxica a la superficie de contacto.
- Resistencia mecánica mayor o igual a la del soporte.
- Baja o nula retracción.
- Módulo de deformación ligeramente al concreto de la pieza de soporte.
- Coeficiente de dilatación térmica próxima a la del soporte.

Estas condiciones suelen cumplirlas básicamente bien los morteros de cemento con los aditivos correctos.

## 6. REFORZAMIENTOS.

**6.1. DEFINICIÓN.** Desde el punto de vista estructural se puede considerar que el refuerzo de un puente es debido, en general, a una de las tres razones siguientes:

- Necesidad funcional de aumentar la capacidad resistente de un puente.
- Corregir fallos detectados que hacen suponer que ha disminuido la capacidad de carga prevista inicialmente.
- Saneamiento, reparación y refuerzo de puentes sometidos al deterioro natural del tiempo.

**6.2. ACCIONES Y PROCEDIMIENTOS MÁS COMUNES.** Entre las acciones más comunes dentro del reforzamiento de un puente, están:

- Elevación de rasantes.
- Ampliación de áreas hidráulicas.
- Reforzamiento pasivo (Inyección de grietas con resinas epoxicas y colocación de placas mecánicas adheridas ).
- Reforzamiento activo: (Inyección de grietas con resinas epoxicas).
- Reforzamiento externo: longitudinal, transversal y vertical.

Es muy frecuente clasificar los procedimientos utilizados en el refuerzo de estructuras en:

- Procedimientos pasivos.
- Procedimientos activos.

Estos últimos, los activos, como sabemos, son aquellos basados en la introducción en la estructura de acciones o deformaciones que modifican su estado tensional favoreciendo su comportamiento resistente.

Entre los procedimientos pasivos más utilizados se pueden citar los siguientes:

- Refuerzo con concreto armado.
- Refuerzo con concreto proyectado.

- Refuerzo con adición de PLACAS y perfiles metálicos.

Entre las aplicaciones del refuerzo con concreto armado se pueden citar:

- Refuerzo de pilares mediante recredido de los mismos.
- Refuerzo de tableros mediante recredido de sus vigas o losa para aumentar su resistencia a la flexión y/o al cortante.

En todos los casos se ha de garantizar el trabajo conjunto del concreto existente y del refuerzo, la limpieza de la superficie de unión, utilización de conectores y la aplicación de una resina especial.

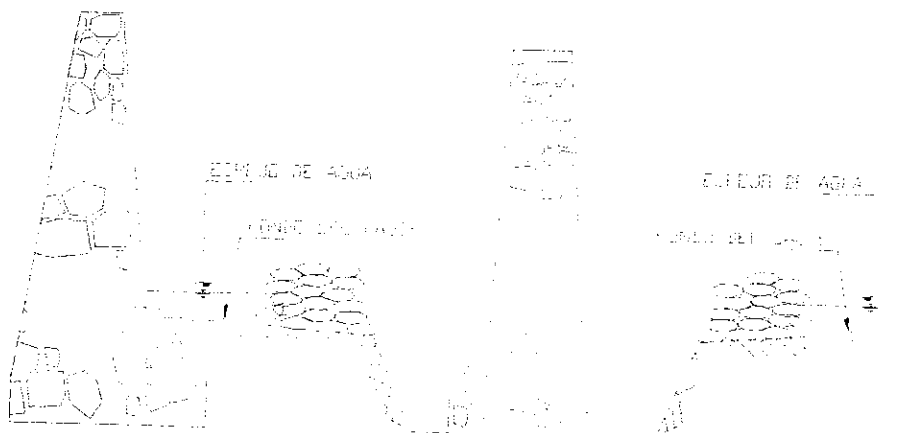
Los refuerzos con concreto proyectado se adaptan bien cuando hay que recubrir grandes superficies con un pequeño espesor, tanto como para reponer recubrimientos alterados como para el refuerzo con adición de armaduras pasivas. Se necesita una buena preparación de la superficie a tratar y se recomienda el tratamiento con chorro de arena o agua a alta presión. Prácticamente sólo se recomienda el sistema por vía seca, ya que la vía húmeda proporciona un concreto de peor calidad (menor resistencia, menor adherencia, mayor retracción y menor compacidad). El personal debe ser altamente especializado.

**6.2.1. ENCAMISADO DE PILAS.** Es necesario cuando la capacidad de carga de un puente esta en duda, cuando se presentan problemas de socavación o simplemente cuando se quiere proteger a las pilas contra posibles impactos con basura que arrastra la corriente.

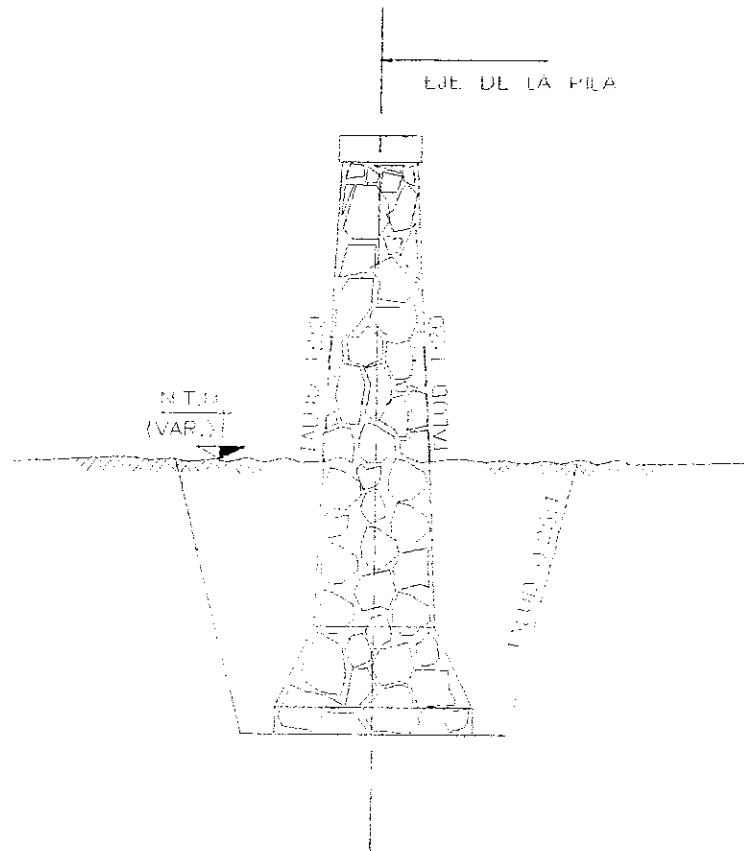
Este procedimiento se utiliza en la mayoría de las ocasiones para protección de la mampostería contra impactos, socavación o reforzamiento de las pilas, por lo regular se realiza de la siguiente manera:

Etapa 1.- Si existe escurrimiento se deberá desviar por medio de costaleras, y excavar hasta el nivel de desplante de la cimentación dejando un espacio suficiente para efectuar los trabajos.

**Fig. 14 : Encamisado de pilas**

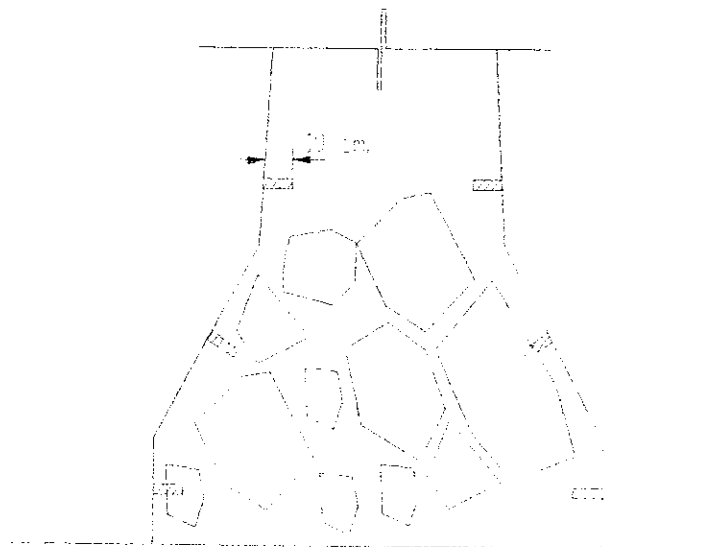


Etapa 2.- Resanar con Grout los huecos existentes en la mampostería.  
**Fig. 14.1 : Continuación encamisado de pilas**



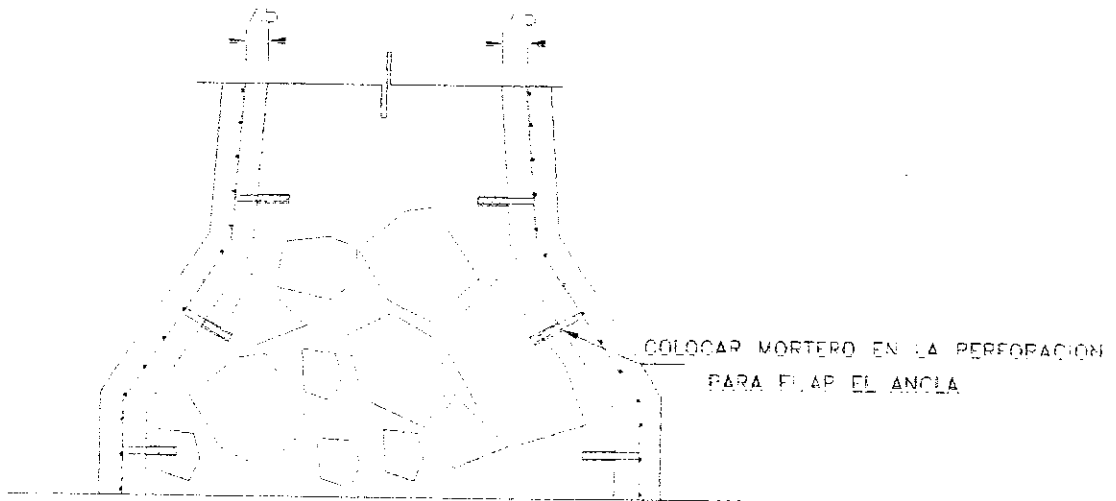
Etapa 3.- Colocar elementos de anclaje con una separación aproximada de 10 cms. En ambos sentidos para fijar la malla de refuerzo.

**Fig. 14.2 : Continuación encamisado de pilas**



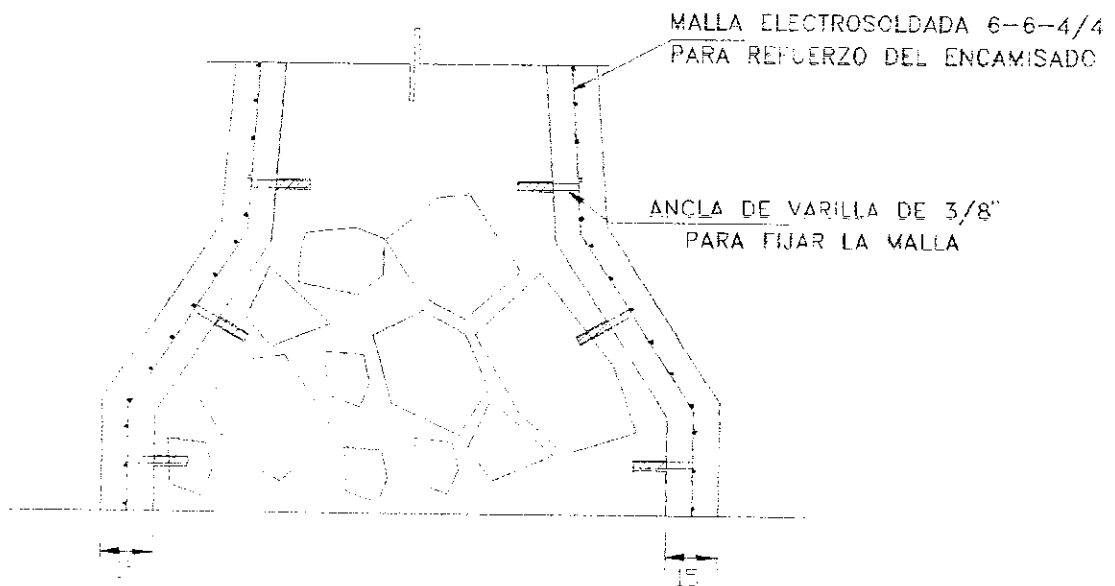
Etapa 4.- Colocar y fijar la malla a los elementos de anclaje dejando una separación mínima de 7.5 cms entre la malla y la mampostería.

**Fig. 14.3 : Continuación encamisado de pilas**



Etapa 5.- Colar concreto de 15 cms de espesor.

**Fig. 14.4 : Continuación encamisado de pilas**

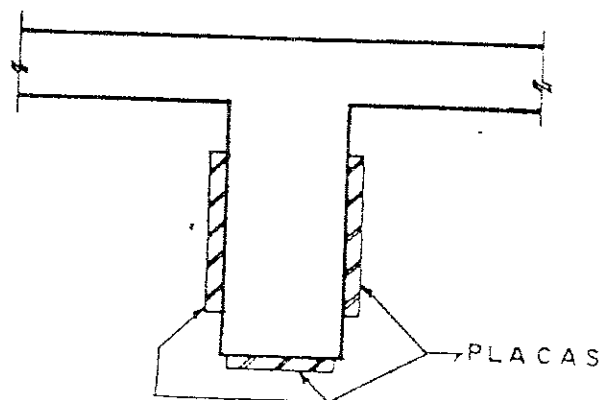
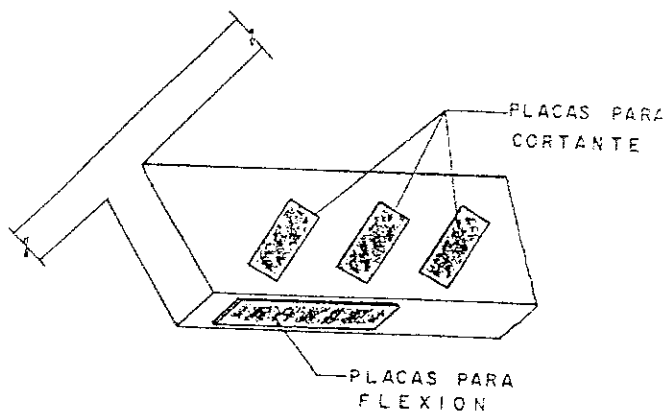


Nota: En algunas ocasiones en la etapa 5 se puede utilizar el concreto lanzado.

**6.2.2. REFUERZO CON PLACAS Y PERFILES METÁLICOS.** En cuanto al refuerzo con PLACAS y perfiles metálicos los más frecuentes son los siguientes:

- Refuerzo con perfiles metálicos superpuestos.
- Refuerzo con placas metálicas ancladas. Se caracteriza por la colocación de placas metálicas ancladas al elemento que se va a reforzar a través de conectores, consiguiendo así una unión casi continua a nivel de sección.
- El refuerzo con placas metálicas encoladas es posible gracias al desarrollo de las formulaciones de las resinas epóxicas que han resuelto el problema de unir piezas de acero al concreto sin necesidad de anclajes.

**Fig. 15 : Refuerzo con placas y perfiles metálicos**



La preparación y limpieza de la superficie del concreto es fundamental. La resina utilizada deberá tener una excelente adherencia al concreto y al acero, y además baja retracción y fluencia, modulo de elasticidad adecuado, y estabilidad a lo largo del tiempo.

Las placas de acero serán de calidad igual o superior del A-37, y espesor en general menor de 3 mm, se prepararán en taller y serán protegidas para evitar toda oxidación y deterioro en el transporte y hasta la puesta en obra.

Los procedimientos activos de refuerzos pueden ser realizados mediante el empleo del pretensado, gatos planos, predeformaciones de placas, etc. De todos ellos el empleo de las técnicas y elementos de pretensado es el más versátil y utilizado.

En cimentaciones tiene mucha aplicación en los casos de:

- Refuerzos de zapatas con armaduras y dimensiones insuficientes.
- Transmisión de cargas de unos elementos defectuosos o insuficientes, por ejemplo, pilotes, a otros nuevos.
- Y en cimentaciones ya realizadas cuando el suelo es excesivamente deformable para transferir la carga del terreno a otros elementos de cimentación profunda.

En elementos de contención, el caso más frecuente es el refuerzo de muros en el que es técnica normal el anclaje del terreno mediante pretensado.

En el caso de refuerzo de tableros de puentes y, en general de la superestructura, en algunos casos, ha sido posible incluso cambiar el tipo estructural, por ejemplo, pasar de un puente vigas a un puente de losa mediante un pretensado transversal.

**6.2.3. USO DEL PREESFUERZO.** Si se revisa la capacidad de carga de un puente tomando en cuenta las cargas vivas con que fue diseñado y las que actualmente transitan por los caminos de Guatemala, casi siempre resultará que el puente necesita ser reforzado para absorber los elementos mecánicos producidos por las cargas actuales.

El método más común para el reforzamiento de los puentes es el preesfuerzo exterior, que consiste en cables de acero de preesfuerzo, con los cuales se obtiene una resultante normal a la superestructura del puente que ayuda a absorber los momentos y cortantes producidos por las cargas vivas actuales.

Una vez que se a determinado que el puente requiere reforzarse, el procedimiento constructivo a seguir es el siguiente:

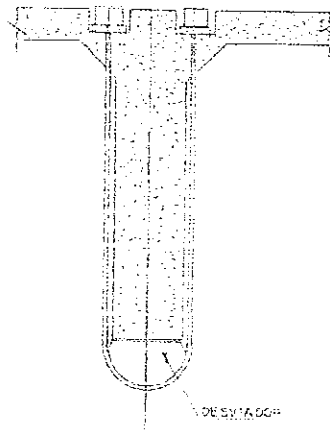
- Realizar perforaciones en nervaduras para dar paso al preesfuerzo transversal para colocar los bloques desviadores.
- Escarificar nervaduras en la zona donde se colocarán los bloques desviadores.
- Armar y colar los bloques desviadores.
- Alrededor de los tubos desviadores sellar con mortero Grout.
- Fabricar los bloques metálicos de anclaje.
- Colocar el señalamiento respectivo y cerrar parcialmente la circulación para retirar carpeta asfáltica existente y demoler losa para colocar los bloques de anclaje.
- Una vez que los bloques hayan alcanzado su resistencia de proyecto, se insertaran las barras de preesfuerzo y se tensaran al 50% de su fuerza de servicio para estabilizar los asentamientos del bloque desviador.
- Ya asentados los bloques, se procederá a tensar las barras transversales de preesfuerzo al 100% de su fuerza de tensado.
- Montar los bloques de anclaje, colocando mortero Grout para asegurar un adecuado contacto entre superficies.
- Cuando se haya tensado todo el preesfuerzo de todos los bloques desviadores y los bloques de anclaje hayan sido colocados se procederá a introducir y posteriormente tensar el acero de preesfuerzo longitudinal, el tensado de estos cables deberá ser por un extremo y simultáneo.
- Colar la zona donde se coloco el dispositivo metálico de anclaje, dejando la reservación para la colocación de la junta de dilatación.
- Colocar la carpeta asfáltica en la calzada y en los accesos.
- Realizar limpieza general y restituir la circulación normal del puente.

Para el mantenimiento de los bloques de anclaje se recomienda:

- Eliminar el antiguo mortero de relleno del cajetín.
- Eliminar el óxido de las cabezas de anclaje.
- Restituir el relleno a base de morteros especiales.

Y el preesfuerzo vertical.

**Fig. 16 : Continuación tipos del preesfuerzo exterior**



## CONCLUSIONES

Los puentes son una parte importante del patrimonio en infraestructura del país, ya que son puntos medulares en una red vial para la transportación en general y en consecuencia para el desarrollo de los habitantes. Preservar este patrimonio de una degradación prematura es, una de las tareas más importantes de cualquier administración de carreteras sea pública o privada.

Para ello hay que dedicar medios humanos y técnicos suficientes que permitan tener un conocimiento completo y actualizado de su estado, que permita definir el volumen de recursos necesarios para su conservación, y garanticen el empleo óptimo y eficaz de dichos recursos.

En el terreno de la normatividad también sería útil ampliar la existencia sobre productos de reparación y protección del concreto. En relación con dichos productos también hay que promover la formación de equipos y empresas especializadas en su aplicación que se sumen a las que ya están en el mercado.

La conservación de puentes es muy viable; se ha demostrado, a través de varios puentes que se creían inservibles, en la práctica, que con la aplicación del proceso de conservación se arrojan datos exitosos.

Se ha demostrado que los productos y procedimientos empleados en la conservación de puentes han evolucionado en tal forma que las estructuras mejoran su capacidad de resistencia, mucho más que en un estado original.

Se deben proponer períodos de supervisión más cortos para los puentes más importantes, como los internacionales (que tienen gran aforo); puentes especiales como son los atirantados o lanzados (de gran longitud y altura); y también se deben hacer paquetes para supervisión de puentes de tramos más importantes para la red vial.

Todo esto con el fin de hacer del proceso de conservación un proceso más dinámico mediante el cual se garantice la estabilidad de la red y el desarrollo de más departamentos del país.

Como un recordatorio a los futuros inspectores de puentes, las siguientes líneas son de suma importancia para la formación de los mismos, y son síntesis de lo que se busca en una inspección de cualquier tipo:

**Factores que causan el deterioro del concreto:**

- Congelamiento y deshielo. Los poros del concreto absorben agua, la que al congelarse crea una presión expansiva. Esta expansión produce resquebrajamiento, descarapelamiento o despostillamiento y astillamiento.
- Acción de la sal. El uso de la sal o de otros descongelantes contribuyen a la intemperización del concreto a través de la recristalización.
- Deformaciones térmicas diferenciales. Grandes variaciones de temperatura pueden provocar una deformación diferencial excesiva entre la superficie y el interior del concreto, lo que provoca ocasionalmente un deterioro. Agregados con bajo coeficiente de dilatación térmico respecto a la pasta de cemento provocan altos esfuerzos de tensión, con el consiguiente deterioro.

- Defecto de los agregados. Aquellos agregados de estructura débil y/o hendida, son materiales vulnerables a los efectos del intemperismo, la humedad atmosférica y el frío intenso.
- Agregados reactivos y alta alcalinidad en la pasta del cemento. El resquebrajamiento y debilidad del concreto en la estructura resulta de estas combinaciones, especialmente cuando se encuentra expuesto a los elementos intemperantes.
- Filtraciones. La filtración de agua a través de grietas o fisuras en el interior de la masa de concreto, provoca escurrimiento de hidróxido de calcio disuelto y otros componentes.
- Deterioro por desgaste o abrasión. El desgaste por tráfico vehicular y los impactos causan deterioro a la losa del puente; así como las guarniciones son dañadas por raspaduras provocadas por vehículos que derrapan en superficies de rodamiento desgastadas y lisas. En la losa el desgaste se presenta con grietas y daños en las juntas de dilatación.
- Corrosión en el acero de refuerzo. El incremento en el volumen del acero expuesto corroído ocasiona un aumento en la presión interna de la masa del concreto, dando por resultado desprendimiento de los recubrimientos.

### **Qué observar durante la inspección:**

**Desconchamientos o descarapelamiento:** La gradual y continua pérdida del mortero y agregados superficiales sobre un área de concreto expuesta. El inspector debe describir el carácter del desconchamiento o descarapelamiento, el área aproximada observada y la localización de la misma.

**Agrietamiento:** Una grieta es una línea que muestra una fractura en el concreto. La grieta se puede extender parcial o completamente a los largo y a

través del miembro de concreto. Cuando se reporten grietas deben describirse su tipo, dimensiones de abertura y longitud, dirección y localización. Hay que comparar los resultados de la inspección generada con los de una inspección previa para determinar si el agrietamiento continuara o se detendrá.

### **Factores que causan el deterioro del acero.**

- Aire y humedad. El aire y la humedad son causantes primariamente de oxidación y posteriormente de corrosión en el acero, especialmente en climas marinos.
- Gases industriales y de vehículos. Los gases dispersos en la atmósfera, producto de la combustión de diesel particularmente producen el ácido sulfúrico, causando severo deterioro en el acero.
- Agua marina y fango. Sin protección de los miembros de acero, cada uno de los elementos sumergidos en agua marina y cubiertos de fango, corren el gran riesgo de sufrir serios daños que pueden provocar fallas de la sección de acero.
- Esfuerzos térmicos o sobrecargas. Cuando el movimiento por dilatación térmica de los miembros, es restringido, o alguno de los miembros es sometido a un sobreesfuerzo, se pueden producir deformaciones o fracturas o el desprendimiento de remaches y pernos.
- Fatiga y concentración de fuerzas. La mayoría de las fracturas son producto de fatiga o deficiencia de detalles constructivos que se producen de una gran concentración de esfuerzos. Ejemplos de estos son: esquinas agudas, cambios bruscos de espesor y/o ancho de placas, pesadas concentraciones de soldadura, una insuficiente área de soporte en los apoyos, etc.

- Colisiones. Camiones, cargas excedidas descarrilamiento de autos, etc. , Cuando golpean las traveses o columnas, producen daños considerables al puente.
- Deshechos animales. Esta es una causa de corrosión y es considerada como un tipo especial de ataque químico que puede llegar a ser muy severo.

### **Qué observar durante la inspección.**

**Herrumbre:** La herrumbre en el acero presenta varias coloraciones que van desde el rojo intenso hasta el café rojizo. Inicialmente la herrumbre es un fino granulado, pero a medida que transcurre el tiempo se convierte en pequeñas escamas. Eventualmente la herrumbre se disemina a lo largo de todo el miembro. El inspector debe anotar su localización, características y área de extensión.

**Grietas:** Las grietas en el acero se diversifican en formas muy finas pero suficientes para debilitar al miembro afectado. Todos los tipos de grietas son obviamente serios, y deben ser reportados de inmediato y especificar cuando se trata de grietas que se cierran y se abren.

**Pandeo y torsión:** Estas condiciones se desarrollan a causa de los esfuerzos térmicos, sobrecargas o algunas otras circunstancias de carga como la reversible, que aun sin llegar a producir los esfuerzos de trabajo ocasionan fatiga en el acero.

Los daños por colisión son una causa más que provocan el pandeo, torsión y cortes.

**Concentración de esfuerzos:** Debe observarse la pintura que se encuentra alrededor de las juntas ya que la existencia de finas grietas indican altas concentraciones de esfuerzos. Hay que ponerse alerta con cualquier tipo de deformación tanto en los pernos como en los remaches y de las placas o cartabones que sujetan.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Brown, Maupin. 1990. *Extending the life of bridges*. 1ra. Edición. United States, Lichtestein. 200 págs.
2. Nardon, J. David. 1996. *Bridge and Structure Estimating*. 5ta. Edición. United States, McGraw-Hill. 345 págs.
3. Ontario Highway Bridge Design Code, Quality and Standards División, Ministry of Transportation, Ontario, Canada, 1992, 3ª Edición. 200 págs
4. Washington, D.C., 1994. American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO. *LRFD Bridge Design Specifications*. 300 págs.
5. Washington, D.C., 1996. American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO. *Standard Specifications for Highway Bridges*. 350 págs.
6. Xanthakos, Petros P. 1994 *Theory and design of bridges*. 4ta. Edición. New York, J. wiley. 500 págs.

## GLOSARIO

### A

Agrietamiento.- Zona que presenta varias grietas.

Alcantarilla.- Puentecillo en camino.

Anclaje.- Sistema que sirve para fijar.

Arnés.- Cinturón de seguridad para trabajos a un nivel alto.

Autotanque.- Vehículo cerrado, camión tanque, semiremolque o remolque tipo tanque, destinado al transporte de líquidos, gases licuados o sólidos en suspensión.

### B

Brigada.- Grupo de hombres que realizan trabajos de campo.

### C

Caballete.- Conjunto de traveses y columnas que los soportan.

Cajetín.- Compartimiento para alojar los gatos para el preesfuerzo.

Calidad.- Cualidad que deben cumplir los materiales y los trabajos.

Camión unitario.- Vehículo automotor de 6 ó más llantas, destinado al transporte de carga con peso bruto vehicular mayor de 4 Toneladas.

Canastilla.- Sistema mecánico que soporta a 1 ó 2 personas en una inspección.

Carbonatación.- Efecto que se observa en materiales con ácido carbónico.

Carga de gran peso o volumen.- Carga cuyo peso adicionado al peso vehicular rebasa los límites establecidos para el peso vehicular del reglamento o carga cuyas dimensiones rebasan las máximas autorizadas, por lo que para su transportación requiere de vehículos y disposiciones especiales.

Catalejos.- Binoculares de largo alcance.

Claro.- Espacio libre entre dos apoyos.

Cohesión.- Fuerza que une, adherencia.

Concreto presforzado.- Concreto que usa acero de preesfuerzo.

Concreto reforzado.- Concreto que usa acero de refuerzo.

Contracción.- Es la pérdida de agua que sufre el concreto.

Coqueras.- Huecos en las rocas, oquedades en el concreto.

Cuneta.- Pequeño canal que se utiliza para drenar agua por los costados del camino.

## D

Desconchamiento.- Desprendimiento que sufren los agregados que conforman el concreto por el intemperismo o el mal colado.

Desplantar.- Nivel donde se comienza a levantar o construir una cimentación

Desplome.- Hundimientos o desniveles que se presentan, pérdida de verticalidad de elementos.

Deterioro.- Nivel de funcionalidad de un puente.

Diafragma.- Elemento rigidizante de trabes.

Dictamen.- Fallo sobre el estado físico de un puente.

## E

Eflorescencias.- Transformación de ciertas sales que producen corrosión.

Elongación.- Aumento en la longitud de un elemento.

Esfuerzo.- Acción enérgica de un cuerpo contra una acción.

Estribo.- Elemento extremo auxiliar de los puentes para evitar deslaves.

Esviajamiento.- Ángulo que forma el puente con la corriente que salva.

F

Fisura.- Fractura que se presenta por los esfuerzos.

Fisuración.- Zona de fisuras.

Funcionalidad.- Cualidad que debe cumplir un puente para proporcionar un buen servicio.

G

Gálibo.- Dimensión mínima ideal autorizada para permitir el paso de vehículos sin problemas.

Grieta.- Abertura, fisura de mas de 2 ó 3 mm de espesor.

Grietómetro.- Medidor de grietas.

Guarnición.- Banqueta.

I

Infraestructura.- Conjunto de obras que prestan un servicio a la comunidad.

L

Larguero.- Elemento de acero longitudinal en un puente de acero estructural.

Levantamiento.- Mediciones hechas en campo para poder determinar un plano o croquis de los puentes.

N

Nervadura.- Elemento soportante de un puente (viga), generalmente de concreto.

O

Ortotrópico.- Que está constituido de un mismo material.

P

Parapetos.- Barandales de protección.

Pasarela.- Equipo para inspección.

Peso Bruto Vehicular.- Suma del peso vehicular y el peso de la carga, en el caso de vehículos de carga; o suma del peso vehicular y el peso de los pasajeros, equipaje y paquetería en el caso de vehículos destinados al servicio de pasajeros.

Peso Vehicular.- Peso de un vehículo o combinación vehicular con accesorios, en condiciones de operación, sin carga.

Pilastrones.- Pilotes.

## R

**Rasante.-** Proyección del eje de la corona de una carretera sobre un eje vertical.

**Rehabilitación.-** Reconstrucción, reparación o lo necesario para mantener un puente en buenas condiciones.

**Remolque.-** Vehículo con eje delantero y trasero no dotado de medios de propulsión y destinado a ser jalado por un vehículo automotor, o acoplado a un semirremolque.

## S

**Semirremolque.-** Vehículo sin eje delantero, destinado a ser acoplado a un tractocamión de manera que sea jalado y parte de su peso sea soportado por éste.

**Sobreelevación.-** Pendiente transversal descendente que se da a la corona hacia el centro de las curvas del alineamiento horizontal.

**Socavación.-** Material que se pierde de la cimentación de pilas o estribos.

## T

**Tablero.-** Losa de un puente.

**Tajea.-** Alcantarilla que sirve para dar paso al agua debajo de los caminos.

**Tipografía.-** Tipo de forma.

**Tipología.-** Tipo de material.

**Tractocamión.-** Vehículo automotor destinado a soportar y jalar semirremolques y remolques.

**Tractocamión articulado.-** Vehículo destinado al transporte de carga, constituido por un tractocamión y un semirremolque, acoplados por mecanismos de articulación.

Tractocamión doblemente articulado.- Vehículo destinado al transporte de carga, constituido por un tractocamión, un semirremolque y un remolque, acoplados por mecanismos de articulación.

Z

Zampeo.- Mamposteo con piedras trituradas.