

Ing. Gustavo Guillermo Bañuelos Ortega

Re-estructuración de Puentes Vehiculares de claro corto

2008



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería

## **RE-ESTRUCTURACIÓN DE PUENTES VEHICULARES DE CLARO CORTO.**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en

Ciencias de Ingeniería  
Línea Terminal Estructuras

Presenta

Ing. Gustavo Guillermo Bañuelos Ortega

Querétaro Qro. Enero 2008



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ciencias de Ingeniería Línea Terminal Estructuras

## RE-ESTRUCTURACIÓN DE PUENTES VEHICULARES DE CLARO CORTO.

### TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias

#### Presenta:

Ing. Gustavo Guillermo Bañuelos Ortega

#### Dirigido por:

Dr. Guadalupe Moisés Arroyo Contreras

#### SINODALES

Dr. Guadalupe Moisés Arroyo Contreras  
Presidente

Dr. Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández  
Secretario

M. en I. Abraham Martínez Bains  
Vocal

Dr. Eduardo Betanzo Quesada  
Suplente

M. en C. José Luis Reyes Araiza  
Suplente

Dr. Gilberto Herrera Ruiz  
Director de la Facultad de Ingeniería

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval  
Director de Investigación y Posgrado

RUBRICA

Firma

Firma

Firma

Firma

Firma

## RESUMEN

Este trabajo de Tesis surge de la necesidad de llevar a cabo una revisión general de la condición actual de los puentes, debido a que en los últimos años más recientes, circulan cargas mayores por la red nacional, a las del proyecto original con las cuales fueron diseñados; ocasionando que las funciones estructurales se vean afectadas y se requiera de una supervisión e inspección constante para su conservación. El objetivo de este trabajo es proponer un manual para la evaluación y registro de los puentes de claro corto, así como para la conservación de los mismos, solamente enfocado a la superestructura de aquellos. Como resultado de la evaluación se reportan patrones típicos de falla por diferentes causas y se proponen criterios para la intervención y reparación de los daños detectados. Se proponen procesos constructivos generales para su mantenimiento y poder llevar a cabo actividades como: refuerzo, rehabilitación, corrección y prevención, de tal manera que su aplicación sea fácil de ejecutar, buscando una solución que pueda resultar segura, funcional, estética y económicamente viable.

**Palabras clave:** Puente, superestructura, manual, evaluación, conservación, Inspección, mantenimiento.

## SUMMARY

This Thesis work arises from the necessity to in the last carry out a general overhaul of the present condition of the bridges, because more recent years, circulate greater loads around the national network, to those of the original project with which they were designed; causing that the structural functions are affected and one requires of a supervision and constant inspection for its conservation. The objective of this work is to propose manual for the evaluation and a registry of the bridges of clear short, as well as for the conservation of such, only focused to the superstructure of those. As resulting from the evaluation typical patterns of fault by different causes report themselves and criteria for the intervention and repair of the detected damages set out. Constructive processes set out general their maintenance and power to carry out activities like: reinforcement, rehabilitation, correction and prevention, in such a way that their application is easy to execute, looking for a solution that can be safe, functional, aesthetic and economically viable.

**Key words:** Bridge, superstructure, manual, evaluation, conservation, Inspection, maintenance.

## DEDICATORIAS

TOMAD, SEÑOR Y RECIBID MI LIBERTAD,  
MI MEMORIA, MI ENTENDIMIENTO  
Y TODA MI VOLUNTAD,  
TODO MI HABER Y POSEER,  
VOS ME LO DISTEIS, A VOS SEÑOR  
LO TORNO; TODO ES VUESTRO;  
DISPONED A TODA VUESTRA VOLUNTAD.  
DADME VUESTRO AMOR Y GRACIA,  
QUE ESTO ME BASTA.

A mis padres: **Gabriel Gustavo (q.e.p.d.) y Amelia**

A mis hermanos:

<b>Gabriela</b>	<b>Irma</b>
<b>Miguel</b>	<b>Javier</b>
<b>Héctor</b>	<b>Estela</b>
<b>Ma. Esther</b>	<b>Rosa</b>
<b>Rebeca (q.e.p.d.)</b>	<b>Leticia</b>
	<b>José Luis</b>

A mi esposa: **María Noemí por su paciencia y comprensión.**

A mis hijos: **Laura Elizabeth**  
**Pablo Guillermo**  
**Ana Paola**  
**Pamela Melissa**  
**por su cariño**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Universidad Autónoma de Querétaro**

**A la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción**

**A la Asociación de Ingenieros Civiles Estructuristas de Guanajuato A.C.**

**Al Dr. Guadalupe Moisés Arroyo Contreras** por su apoyo y orientación para la Realización y culminación de este trabajo.

**A mis asistentes de Servicios de Ingeniería Estructural:** Aldo Rocha Prado, Marco Antonio Delgado Muñoz, Estrella Silva Núñez y Esmeralda Zamora García por su apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

A mis maestros

A mis amigos de la maestría: Aldo Rocha Prado y Francisco Rivera Contreras

A mis compañeros de clase.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
Resumen	i
Summary	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Índice general	v
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
INTRODUCCIÓN.	1
<b>1. Antecedentes y generalidades sobre puentes y su conservación.</b>	<b>3</b>
1.1 Historia de los puentes en México.	3
1.2 Definición de puente.	7
1.2.1 Puente	7
1.3 Algunas clasificaciones.	9
1.3.1 Tipos de puentes	9
1.3.2 Descripción de los elementos del puente.	14
1.3.3 Vialidades urbanas	24
1.4 Materiales empleados en la construcción de puentes carreteros.	31
1.4.1 Mampostería	34
1.4.2 Acero	34
1.4.3 Concreto	36
1.4.3.1 Concreto reforzado	36
1.4.3.2 Concreto presforzado	37
1.4.3.2.1 a. Pretensado	37
1.4.3.2.2 b. Postensado	39
1.4.3.2.3 c. Tipos de acero utilizado	40
1.4.3.2.4 d. Tipos de concreto utilizado	44
1.4.3.2.5 e. Neopreno	44
1.5 Conservación de puentes.	46
1.5.1 Introducción	46
1.5.2 Definición y objetivos	49

1.5.3 Necesidades de conservar los puentes.	49
1.5.4 Situación de la conservación de puentes.	51
1.5.5 Estrategias y programas de conservación de puentes carreteros	53
<b>2. Cargas de diseño.</b>	<b>56</b>
2.1 Cargas permanentes.	56
2.2 Cargas variables.	57
2.3 Cargas eventuales y tablas comparativas de pesos.	68
<b>3. Inspección de puentes.</b>	<b>70</b>
3.1- Definición de Inspección	70
3.1.1 Inspección de puentes	71
3.2- Tipos de Inspección	73
3.2.1 Inspección preliminar	73
3.2.2 Inspección principal	74
3.2.3 Inspección especial	74
3.3- Medios y Requisitos Necesarios Para Llevar a Cabo Una Inspección.	75
3.3.1 Medios humanos ( <i>saber ver</i> )	75
3.3.2 Medios materiales ( <i>poder ver</i> )	76
3.4- Equipo de Inspección.	77
3.4.1 Equipo en general	79
3.4.2 Equipo para señalamiento	79
3.4.3 Equipo para nivelación	80
3.5- Procedimientos de Inspección	80
3.5.1 Superestructura	82
3.5.2 Subestructura	83
3.5.3 Cimentación	84
3.5.4 Equipamiento	85
3.6- Entrega de Reportes	85
3.6.1 Reporte de la inspección	88
3.6.2 Reporte fotográfico	88
3.6.3 Reporte de fallas	88
<b>4. Evaluación de puentes.</b>	<b>90</b>
4.1- Definición de Evaluación	90
4.2- Dictamen de la Inspección	91
4.2.1 Factores que intervienen	92

4.2.2 Determinación de la capacidad resistente de un puente	92
4.3- Criterios de Evaluación del Estado de los Puentes	93
4.3.1 Criterios de priorización	95
4.3.2. Manual para la evaluación y registro de puente vehiculares de claro corto	97
4.4. Manual de procedimientos	101
<b>5. Reparación, reforzamiento, mantenimiento y procesos constructivos.</b>	<b>116</b>
5.1- Definición de Mantenimiento.	116
5.2- Problemas Que Se Presentan En Los Puentes y Sus Posibles Causas	118
5.2.1 Patrón de falla 1. Presencia de agua	118
5.2.2 Patrón de falla 2. Corrosión	120
5.2.3 Patrón de falla 3. Grietas o fisuras	123
5.2.4 Patrón de falla 4. grietas o fisuras en acero estructural	128
5.2.5 Patrón de falla 5. Astillamiento en la cubierta de concreto	129
5.2.6 Patrón de falla 6. En dispositivos de apoyo	132
5.3- Mantenimiento Rutinario	136
5.3.1 Definición	137
5.3.2 Acciones más comunes	137
5.4- Reparaciones	138
5.4.1 Definición	138
5.4.2 Acciones y procedimientos más comunes	139
5.4.2.1 Cambio de apoyos elastoméricos	140
5.4.2.2 Inyección de grietas	142
5.4.2.3 Cambio de juntas de dilatación	146
5.4.2.4 Tratamiento de armados expuestos	148
5.4.2.5. Rehabilitación de concreto degradado	149
5.5- Reforzamientos	150
5.5.1 Definición.	150
5.5.2 Acciones y procedimientos más comunes	151
5.5.2.1 Encamisado de pilas	152
5.5.2.2 Refuerzo con placas y perfiles metálicos	155
5.5.2.3 Uso del preesfuerzo	157
5.6.-Ejemplos prácticos	160

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	177
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	178
APENDICE 1.- El problema de la corrosión	182
APENDICE 2.- Diseño del refuerzo para la reparación del Puente Vehicular localizado Malecón del río de los Gómez y Paseo de los insurgentes En la ciudad de León, gto.	188
APENDICE 3.- Diseño del refuerzo para la reparación de los Puentes vehiculares localizados sobre el blvd. Adolfo López Mateos en la glorieta formada por el cruce del Blvd. Aeropuerto, blvd. Morelos y Blvd. Torres landa En la ciudad de León, gto.	193
APENDICE 4.- Productos comerciales para reparaciones en la construcción	211
APENDICE 5.- Ingredientes de los materiales para reparación	219
APENDICE 6.- Procedimiento de preparación del sustrato.	222
APENDICE 7.- Procedimiento de limpieza de la superficie.	239

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
Cuadro 1 Vehículo de proyecto por funcionalidad vial	25
Cuadro 2. Velocidad de proyecto por nivel de funcionalidad	25
Cuadro 3. Distancia de visibilidad de parada en terreno plano	26
Cuadro 4. Cuadro de diámetros de alambre.	41
Cuadro 5. Propiedades del cable de siete alambres sin revestimiento.	42
Cuadro 6. Diámetros y resistencias de las varillas	43
Cuadro 7. Cargas actuantes en puentes	56
Cuadro 8. Clasificación de vehículos según la norma NOM -012-SCT-2-1995.	58
Cuadro 9. Tabla de vehículos modelo IMT 66.5	61
Cuadro 10. Tabla de claros para el vehículo modelo IMT 20.5	62
Cuadro 11. Factores de reducción en carriles múltiples.	64
Cuadro 12. Tabla de impacto IMT.	67
Cuadro 13. Impacto de nuevas dimensiones de los vehículos en el proyecto geométrico de carreteras	68
Cuadro 14. Comparación de peso y dimensiones máximas permisibles en El reglamento anterior de peso y dimensiones.	69
Cuadro 15. Clasificación de los puentes según SCT.	96
Cuadro 16. Registro de inspección	98
Cuadro 17. Registro de inspección 2	99
Cuadro 18. Registro de inspección 3	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1.1 Partes que conforman un puente	8
1.2 Puente metálico	11
1.3 Puente de concreto armado	11
1.4 Puente de concreto preesforzado	12
1.5 Puente de claro corto	13
1.6 Descripción de elementos de un puente	16
1.7 Descripción de elementos de un puente desde el terraplén	23
1.8 Descripción de elementos de un puente ya en uso	23
1.9. Distribución de puentes por tipo de material.	33
1.10 Métodos de pretensado	38
1.11 Métodos de postensado	39
1.12 Pesos de camiones	47
1.13 Pesos de camiones de 46 y 77.5 tons.	48
2.1 Camión estándar cargado	59
2.2 Camión estándar, ancho estándar y alternativa.	60
2.3 Diagrama de vehículos del modelo IMT 66.5 para claros Iguales o mayores a 30 metros.	61
2.4 Diagrama de vehículos del modelo IMT 66.5 para claros menores a 30 metros.	62
2.5 Diagrama de vehículos del modelo IMT 66.5 para análisis tridimensional	62
2.6 Diagrama de vehículos del modelo IMT 20.5 para claros Iguales o mayores a 15 metros.	63
2.7 Diagrama de vehículos del modelo IMT 20.5 para claros menores a 15 metros.	63
2.8 Diagrama de vehículos del modelo IMT 20.5 para análisis Tridimensional	63
2.9 Parapetos vehiculares	65
2.10 Parapetos peatonales y para bicicletas	66

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
5.1 Patrón de Falla 1. Presencia de agua	120
5.2 Patrón de Falla 2. Corrosión	123
5.3 Fisuras de flexión	126
5.4 Fisuras de cortante	127
5.5 Fisuras de contracción hidráulica y térmica	127
5.6 Patrón de Falla 5. Astillamiento	129
5.7 Patrón de Falla 5. Astillamiento	130
5.8 Procedimiento constructivo del cambio de apoyos en sus Diferentes etapas.	141
5.9 Muestra la manera en que se debe de limpiar la superficie para Aplicar la inyección de grietas	143
5.10 Muestra la colocación de la pasta	143
5.11 Colocación de inyectores	144
5.12 Prueba se sello	144
5.13 Muestra que elementos se deben usar para la inyección de Grietas y a que capacidad	145
5.14 Limpieza después de la inyección de grietas	145
5.15 Demolición de losa, fijar junta de dilatación	147
5.16 Colocación y fijación de junta	147
5.17 Nivelación de junta	148
5.18 Colocación de perfil de neopreno	148
5.19 Preparación del encamisado de pilas	153
5.20. Muestra como resanar los huecos en la mampostería	153
5.21 Colocación de elementos de anclaje	154
5.22 Colocación y fijación de malla de anclaje	154
5.23 Colocación de concreto	155
5.24 Refuerzo con placas metálicas	156
5.25 El presfuerzo longitudinal	159
5.26 El presfuerzo transversal	159
5.27 El presfuerzo vertical	160
5.28 Inspección del puente	162
5.29 Inspección del puente	162

5.30 Inspección del puente	163
5.31 Inspección del puente	163
5.32 Inspección del puente	164
5.33 Procedimiento de perforación para anclaje	164
5.34 Anclaje, Placa base y Columna de acero en posición	165
5.35 Re-estructuración y refuerzo terminado	165
5.36 Detalle de conexión de trabe-columna	166
5.37 Detalle de apoyo principal y colocación de ángulo de desvío de agua.	166
5.38 Vista superior de puente 2 (croquis).	169
5.39 Corte transversal de puente 2 (croquis).	169
5.40. Sección geométrica trabe puente 2 (croquis).	170
5.41 Vista panorámica en glorieta	170
5.42a Puente 1 vista general	170
5.42b Puente 2 vista general	170
5.43 En la superestructura se notan los escurrimientos	171
5.44 En la superestructura se notan los escurrimientos	171
5.45 En la parte inferior de las trabes se observan grietas, a una distancia del apoyo aproximadamente igual al peralte de la viga	172
5.46 En la parte inferior de las trabes principales se observan grietas	172
5.47 Se observa (encerrada en el círculo) una grieta de 45° (cuarenta y cinco grados)	173
5.48 Existe un escurrimiento cercano a la grieta diagonal, de manera que existe el riesgo de que el agua se filtre a la viga y dañe al acero de refuerzo	173
5.49 Camiones T3-S2 de carga con altura excesiva	174
5.50 Golpe en la parte inferior de las vigas dejando en algunas partes al acero de la viga expuesto.	174
5.51 Deflexión importante en el Puente	176
5.52 Deflexión importante en el Puente	176
5.53 Refuerzo a Flexión	177
5.54 Escurrimiento y deflexión de la estructura	177

## **INTRODUCCIÓN.**

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, pues, 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 efecto, siendo el puente un elemento singular de la ruta en que se encuentra, especial ha de ser también su gestión enmarcada en el contexto general de la actividad del tramo o zona de red en la que se localiza.

La especialidad que la administración de los puentes requiere viene determinada por consideraciones tan distintas como:

- La enorme variedad tipológica de los puentes que hay en México, así como la diversidad de los materiales de que están contruidos.
- La gran amplitud cronológica de sus fechas, y aun de sus épocas de construcción.
- Las diferentes intensidades de tráfico estacional u horario y las posiciones de las cargas tan variables que soportan.
- Como punto singular que es el del viaje, origina una especial atención del usuario y, por tanto, una mayor demanda social de la calidad de su nivel de servicio que otro punto cualquiera del trayecto.
- La complejidad y carestía de ciertas operaciones de mantenimiento que hay que realizar sin desvío posible del tráfico.

El objetivo de este trabajo es proponer un manual para la evaluación y registro de los puentes de claro corto, así como para la conservación de los mismos, solamente enfocado a la superestructura de aquellos.

Como resultado de la evaluación se reportan patrones típicos de falla por diferentes causas y se proponen criterios para la intervención y reparación de los daños detectados. Se proponen procesos constructivos generales para su mantenimiento y poder llevar a cabo actividades como: refuerzo, rehabilitación, corrección y prevención, de tal manera que su aplicación sea fácil de ejecutar, buscando una solución que pueda resultar segura, funcional, estética y económicamente viable.

## **CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES SOBRE PUENTES Y SU CONSERVACIÓN.**

### **1.1 Historia de los puentes en México.**

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. A lo largo de la misma ha habido realizaciones de todas las civilizaciones, pero los Romanos fueron los grandes ingenieros históricos, no habiéndose superado su técnica y realizaciones hasta los últimos dos siglos.

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.

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 contribuyó todavía más al desarrollo de esta técnica, abaratando costos, facilitando técnicas, y en definitiva "popularizando" su construcción.

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.

Además es de vital importancia para el país el traslado de personas y mercancías, a los centros de producción económica y centros de consumo, México 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.

Al desarrollarse la tecnología del concreto reforzado, empezaron a construirse estructuras complejas con este material. Al principio, únicamente losas planas de 10 m de claro máximo y, posteriormente, losas sobre varias nervaduras hasta de 15 m de claro. Para claros mayores se seguía recurriendo al acero estructural.

Sin embargo, pronto se observó que el concreto era un material mucho más económico que el acero, porque se fabricaba al pie de la obra con elementos locales. La Secretaria de Comunicaciones fue pionera en México en la instalación de laboratorios para el control de calidad de los materiales de la construcción y para la implantación de las normas correspondientes. El desarrollo de esta tecnología permitió obtener concretos de mayor resistencia y de mayor confiabilidad.

Lo anterior, favoreció la construcción de grandes puentes de concreto reforzado, como el arco del puente Belisario Domínguez, que vino a sustituir el puente colgante sobre el río Grijalva, en Chiapas, en el año de 1954.

Por otra parte, la aplicación del concreto reforzado en los puentes comunes de claros pequeños y modernos, se hizo, prácticamente, general. Al observarse la gran influencia que los moldes tenían en el precio unitario del concreto surgió la superestructura de solo dos nervios, innovación nacional respecto a la práctica de la época.

Aunque la idea del concreto presforzado es muy antigua, no pudo materializarse en las obras de ingeniería civil mientras no se desarrollaron los concretos y aceros de alta

resistencia que, por una parte, permitían la aplicación de grandes fuerzas externas y, por la otra, reducían las pérdidas que esas fuerzas experimentaban, como consecuencia de las deformaciones diferidas.

La aplicación del concreto presforzado a los puentes se da, por primera vez, en Europa, al término de la segunda guerra mundial y se ve impulsada en ese continente, por la necesidad de reconstruir numerosos puentes destruidos por la guerra.

En México, la aplicación de esa nueva tecnología fue relativamente temprana, El puente Zaragoza, sobre el río Santa Catarina, en la ciudad de Monterrey fue el primer puente de concreto presforzado del continente americano, construido en 1953 bajo la dirección exclusiva de ingenieros mexicanos, que idearon un sistema original para el sistema de anclaje de los cables de preesfuerzo y comprobaron la validez de sus cálculos con la realización de una prueba de carga sobre una viga de escala natural.

Pocos años después, en 1957, se construyó el puente sobre el río Tuxpan, en el acceso al puerto del mismo nombre, en el estado de Veracruz que constituye otra primicia de la ingeniería mexicana en el continente americano, ya que fue la primera obra de este lado del océano en que se aplicó el sistema de dovelas en doble voladizo. El puente tiene claros de 92 m y es de tipo Gerber, con articulaciones metálicas al centro de los claros. El concreto se presforzó con barras de acero redondo y, durante la construcción, se tuvieron diversos problemas por la falta de experiencia en este sistema de construcción, al grado que para la primera dovela en voladizo se requirieron 45 días, en tanto que, para las últimas, el tiempo se acortó a 10 días.

El incremento de la industria del presfuerzo y la prefabricación permitió el empleo cada vez más frecuente de vigas presforzadas y prefabricadas en los puentes. Con estos elementos se evitaban las obras falsas y se reducían los tiempos de construcción. Al principio, este tipo de estructuras se veía limitado en su aplicación por falta de personal calificado y por dificultades para el transporte de los elementos hasta el sitio de las obras, pero esas limitaciones fueron superadas al irse desarrollando el país.

Uno de los puentes más importantes en los que por primera vez se aplica en forma intensiva el uso de vigas prefabricadas presforzadas es el que cruza el río Coatzacoalcos y que permite el paso de la carretera costera del golfo y del ferrocarril. Durante varios años, este puente, con una longitud de, aproximadamente, 1 Km. fue el mas largo de México.

En lo que se refiere a los puentes de acero estructural, se tiene un avance importante cuando se empieza a aplicar la soldadura en la ejecución de juntas, como lo ocurrido a mediados de la década de los 50's que permitió la construcción de estructuras más ligeras, en el puente de Chinipas del ferrocarril Chihuahua-Pacífico, se construyeron uniones remachadas y soldadas en una armadura de tres tramos continuos de paso superior y con un sistema ingenioso de montaje.

Otro avance en estructuras de acero se tuvo al introducir en ellas un presfuerzo exterior, que permite la optimización de la sección transversal, reduciendo el peso propio de la superestructura. El puente de Tuxtepec esta constituido por tramos libremente apoyados formados por losas de concreto reforzado sobre traveses de acero soldadas, presforzadas.

Especialmente sobresaliente dentro de las estructuras de acero son los puentes Fernando Espinosa y Mariano García Sela, que fueron los primeros en que se diseño en México un sistema de piso con placa ortotrópica. Este tipo de estructuras permite una considerable reducción del peso propio, ya que la placa de la calzada, además de recibir las cargas vivas, trabaja como patín superior de las costillas, las piezas del puente y las traveses maestras. El sistema es, además, altamente eficiente y optimiza el empleo del acero. En estos puentes, las conexiones fueron remachadas en las traveses maestras construidas por segmentos en voladizo y soldadas en el sistema de piso ortotrópico.

## **1.2 Definición de puente.**

### **1.2.1. 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 o 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 (ver figura 1.1):

Elementos portantes (Generalmente vigas).

En la Superestructura Diafragmas.

Sistemas de piso (Losas).

Pilas y estribos.

En la subestructura Sistemas de apoyo.

Otros elementos de soporte de la superestructura.

Pilotes.

En la cimentación Zapatas de cimentación.

Pilastrones.

Juntas de dilatación.

Sistemas de drenaje.



## 1.3 Algunas Clasificaciones.

### 1.3.1. Tipos de Puentes

Los materiales con los que se pueden construir los puentes actualmente son muchos y muy variados, que van desde elementos de mampostería hasta los hechos de una pieza a base de concreto presforzado, pasando por los puentes metálicos.

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

- Puentes peatonales.
- Puentes, viaductos o pasos carreteros.
- Puentes, 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.

Ahora bien, según su estructuración pueden clasificarse fundamentalmente en tres tipos:

Viga.- Transmiten su carga a los apoyos ejerciendo acciones verticales, comportándose como un elemento simplemente apoyado. Los progresos en la técnica de los materiales y su conocimiento han ido dando lugar a otras formas más complejas, pero que responden a una misma idea: los tramos en voladizo, los puentes basculantes, los levadizos o los tendidos sobre apoyos flotantes.

Arco.- Su característica más importante es el empuje horizontal que ejerce sobre los apoyos. En estos puentes, el arco es el elemento que sustenta la vía de paso, o tablero. Se han construido puentes con el tablero en posición superior, inferior o intermedia con respecto al arco, pero siempre se ha de disponer de estribos capaces de absorber los empujes creados por los arcos

Colgante.- Este puente está conformado básicamente por cables que soportan la vía de paso. Este es el rasgo que diferencia a este puente de los anteriores, la reacción del elemento resistente -el cable- que tira de los puntos de anclaje y ejerce una tracción casi horizontal. El conocimiento de materiales de mayor resistencia a la tensión ha permitido cubrir vanos cada vez mayores, hasta llegar a ser hoy el tipo de puente que ostenta el récord de luz cubierta.

Este trabajo se enfocará exclusivamente a los puentes tipo viga, de los cuales podemos mencionar los siguientes subtipos de puentes de un modo muy particular:

Puentes metálicos.- Inicialmente construidos con hierro colado y hierro forjado y, después, con acero laminado, permiten grandes luces a la altura justa, se prestan a sustituciones y ampliaciones y son de rápida construcción. Sus inconvenientes son el elevado precio de la materia prima, los gastos de mantenimiento por su sensibilidad a los agentes atmosféricos y gases corrosivos y su excesiva deformación elástica. El acero puede presentar diversas formas según trabaje por *tracción*, *compresión* o *flexión*, pudiendo estar unidas las piezas por *remachado* en caliente o por *soldadura* fundamentalmente. Las pilas y estribos pueden ser de hierro o, generalmente, de hormigón. (Ver figura 1.2)

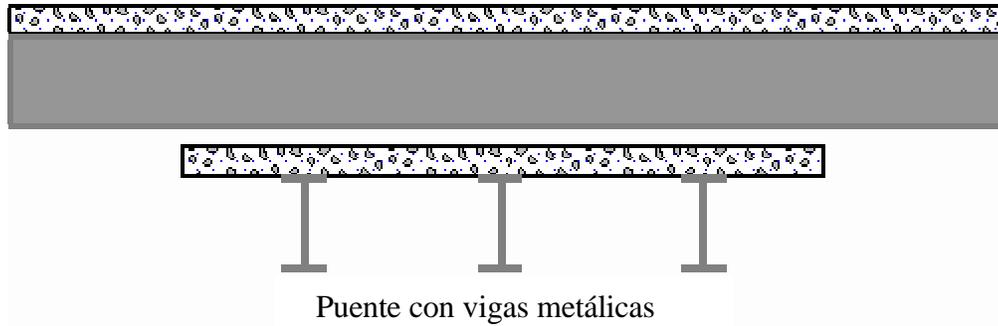


Figura 1.2. Puente metálico

Concreto armado.- Son preferentemente de arco y viga, adaptándose el hormigón a variadas soluciones que permiten aprovechar un mismo elemento para varios fines. No tienen gastos de mantenimiento y son de rápida construcción, particularmente si se utilizan elementos prefabricados. Al ser discreto su coste se utiliza mucho en construcciones no muy atrevidas. (Ver figura 1.3)

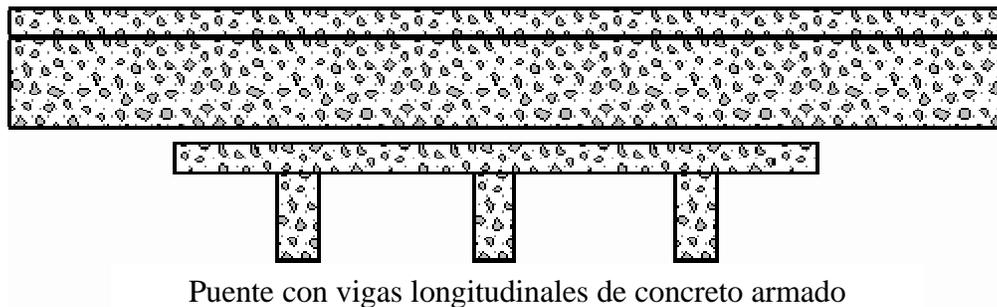
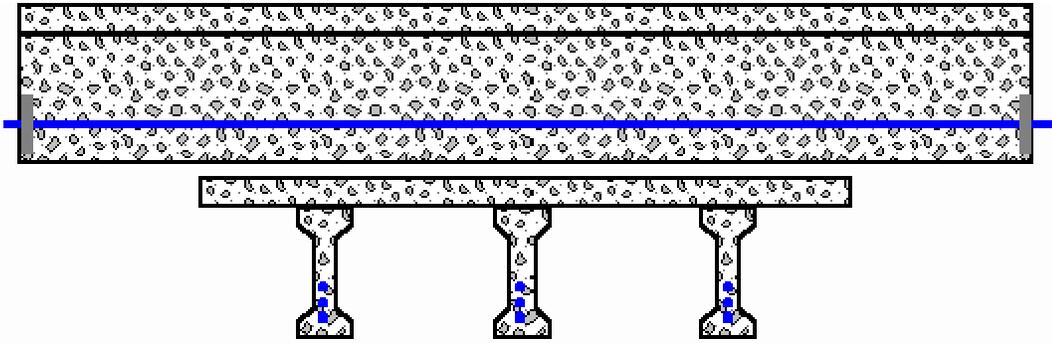
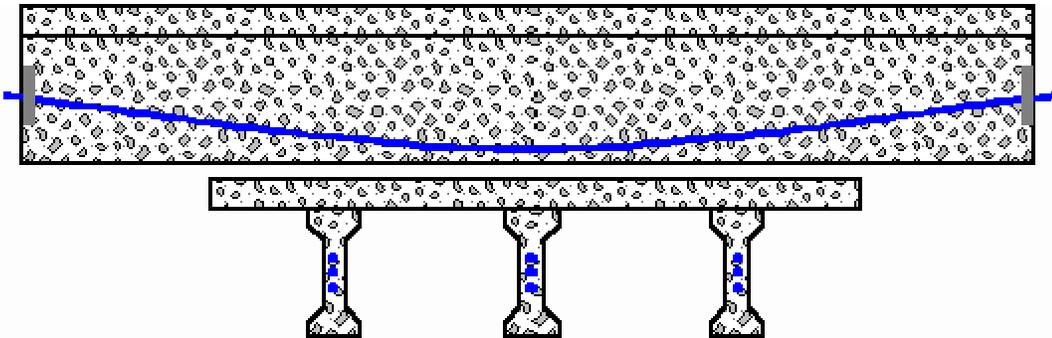


Figura 1.3. Puente concreto armado

Concreto presforzado.- Permiten grandes luces con suma esbeltez, son de rápido montaje, no precisan gastos de mantenimiento y presentan grandes posibilidades estéticas. (Ver figura 1.4).



a).-Puente con vigas de concreto pretensado



b).-Puente con vigas de concreto postensado

Figura 1.4. Puentes de concreto presforzado.

Debido al claro que cubren los puentes se pueden clasificar en:

Alcantarillas.- Si la longitud del claro es menor de seis (6) metros.

Puentes de claro corto.- Si la longitud varía de seis a sesenta (6 –60) metros.

Puentes de gran claro.- Si la longitud es mayor a sesenta (60) metros. (Ver figura 1.5).

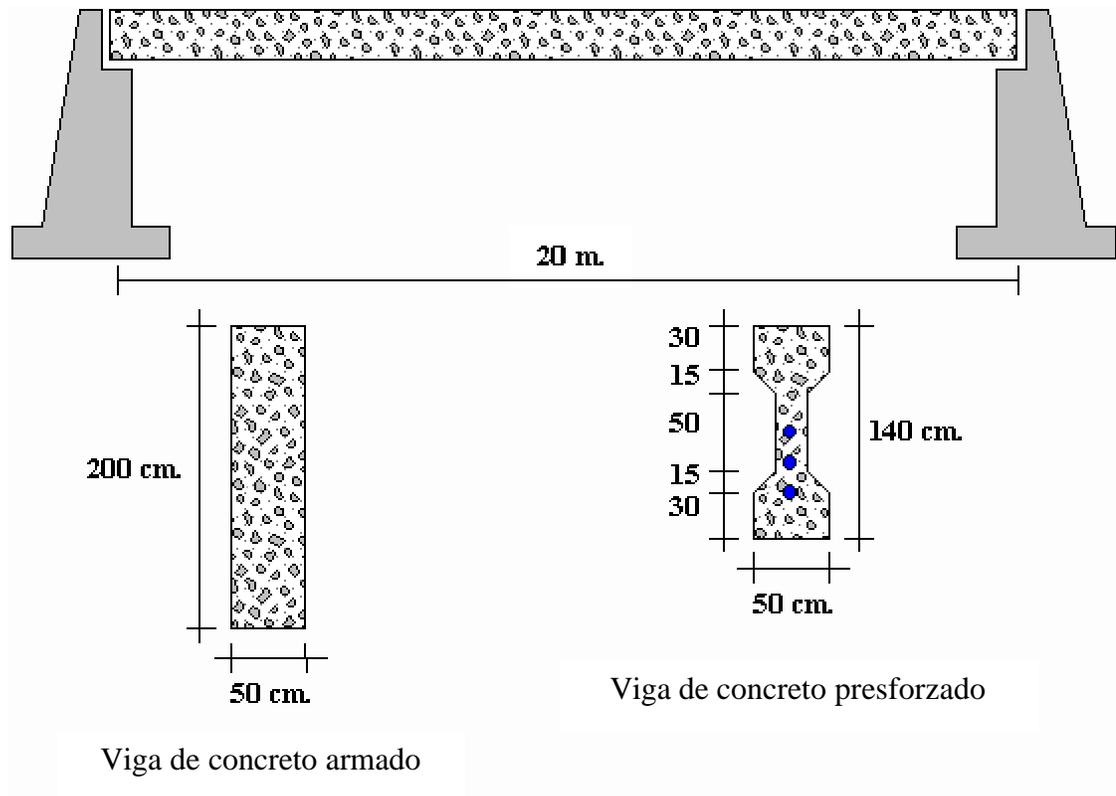


Figura 1.5. Puentes de claro corto.

Considerando su resistencia lateral los puentes pueden ser:

Marcos.- Aquellos en que exista continuidad entre traveses, cabezales y columnas, excepto con los estribos.

Pilas y muros de concreto reforzado.- Son aquellos elementos anchos cuyo comportamiento previsible ante carga lateral es por cortante y no por flexión. Se considerará como pila o muro a la subestructura de un puente que en el sentido de análisis tenga una relación entre su altura y su ancho menor que 3.

Columnas aisladas.- Todos aquellos en los que una columna es el único elemento sismorresistente y que trabaja a flexo - compresión en la dirección de análisis.

Péndulo invertido.- Serán todos aquellos puentes apoyados sobre una columna en los que se presente cabeceo de la superestructura.

Estribos.- Elementos que rematan las rampas de acceso en el caso de puentes en áreas planas o el apoyo en laderas en puentes en zonas montañosas o en las zonas cercanas a la orilla de los ríos.

Ahora bien; según su geometría deberán clasificarse en regulares e irregulares. En puentes con dos o más claros podrá hacerse una clasificación distinta para cada componente o módulo del puente. En este caso se debe garantizar que estas partes estarán totalmente aisladas y que tendrán un movimiento sísmico independiente de otros componentes del puente, y que las juntas constructivas han sido expresamente diseñadas para evitar el golpeteo. Con fines de clasificación por geometría, no se podrán considerar aislados dos soportes del puente sobre los que descansa la superestructura con apoyos deslizantes o de neopreno; esto es debido a que el movimiento que se presentará entre ambos soportes puede ser distinto, lo que ocasionaría la pérdida de apoyo de la superestructura, situación que se agrava notablemente en puentes irregulares.

Un puente irregular será aquel en el que se cumpla al menos una de las siguientes características: Los puentes en línea recta con apoyos esviajados que formen ángulos mayores que 25 grados con respecto al eje transversal del camino; Puentes curvos que subtiendan un ángulo de un estribo a otro, o al final del puente, mayor que 25 grados, medido desde el eje principal del camino; ó que existan cambios abruptos en rigidez lateral o en masa a lo largo de su longitud. Los cambios en estas propiedades que excedan 25 por ciento de apoyo a apoyo, excluyendo estribos, deberán ser considerados abruptos.

### 1.3.2. Descripción de los elementos del Puente

#### Gálibo Horizontal (Espacio libre horizontal)

Cuando se trate de un puente o de una estructura que tenga por objeto cruzar una carretera o una vía férrea, el gálibo horizontal, es decir, el espacio libre horizontal definido por la distancia entre los paramentos de los estribos, entre los paramentos de un estribo y una pila, entre los paramentos de dos pilas o columnas contiguas, entre los ceros de los

conos de derrame o entre los ceros de un cono de derrame y el paramento de una pila, medida normalmente al eje longitudinal del cuerpo de agua, la carretera o vía férrea que se cruce, cumplirá con lo siguiente: (ver figura 1.6)

- Para estructuras que crucen una carretera:

Cuando se trate de pasos inferiores vehiculares (PIV), de ferrocarril (PIF), peatonales (PIP) y ganaderos (PIG), así como pasos superiores vehiculares (PSV), puentes canal y puentes ducto, el gálibo horizontal o espacio libre horizontal debe ser, como mínimo, igual que el ancho total de la calzada de la carretera que se cruce más sus acotamientos y adicionado preferentemente por uno coma dos (1,2) metros a cada lado, con el propósito de colocar defensas de protección que disten como mínimo sesenta (60) centímetros del paramento del estribo o de la pila.

- Para estructuras que crucen una vía férrea:

Cuando se trate de pasos superiores de ferrocarril (PSF), si la vía férrea es sencilla, el gálibo horizontal o espacio libre horizontal debe ser, como mínimo, de tres coma cinco (3,5) metros a cada lado del eje de la vía, o si es doble, igual o mayor que la distancia entre los ejes de ambas vías más tres coma cinco (3,5) metros a cada lado. Cuando la vía férrea tenga un trazo en curva y si la deflexión del trazo en el sitio donde se ubique la estructura es mayor de 3°, el espacio libre horizontal se aumentará en diez (10 %) por ciento.

- Para puentes

Tratándose de un puente, los gálibos horizontales o espacios libres horizontales entre los paramentos de los apoyos, deben ser como mínimo, los que se determinen con base en las longitudes mínimas de los claros que establezca el estudio hidráulico-hidrológico correspondiente. Si el puente cruza una vía navegable federal, dichos gálibos deberán ser sometidos a la aprobación de la Secretaría de Marina.

#### Gálibo Vertical (Espacio libre vertical)

Cuando se trate de un puente o de una estructura que tenga por objeto cruzar una carretera o una vía férrea, el gálibo vertical, es decir, el espacio libre vertical definido por la

distancia mínima vertical entre el intradós o cara inferior de la superestructura y cualquier punto de la superficie de la calzada y de sus acotamientos, la parte superior del riel más alto, o el nivel de aguas de diseño (NADI) de la corriente, cumplirá con lo siguiente:

- Para estructuras que crucen una carretera:

Cuando se trate de pasos inferiores vehiculares (PIV), de ferrocarril (PIF), peatonales (PIP) y ganaderos (PIG), así como pasos superiores vehiculares (PSV), puentes canal y puentes ducto, el gálibo vertical o espacio libre vertical debe ser como mínimo, de cinco coma cinco (5,5) metros. Si se prevé que no se colocarán sobrecarpetas en la carretera inferior, como es el caso de las pavimentadas con concreto hidráulico o de los caminos rurales, el gálibo vertical puede reducirse hasta a cinco (5) metros.

- Para estructuras que crucen una vía férrea:

Cuando se trate de pasos superiores de ferrocarril (PSF), el gálibo vertical o espacio libre vertical sobre el riel más alto, debe ser como mínimo de siete coma cinco (7,5) metros.

- Para puentes

Tratándose de puentes, el gálibo vertical o espacio libre vertical, debe ser como mínimo, el que establezca el estudio hidráulico-hidrológico correspondiente.



Figura 1.6 Descripción de elementos de un puente.

## Ancho de Calzada

Cuando la estructura dé servicio al tránsito de vehículos automotores, peatones y/o bicicletas, su ancho de calzada corresponderá al espacio libre entre las partes inferiores de las guarniciones o banquetas, medido normalmente al eje longitudinal de la estructura. Si no existen guarniciones o banquetas, el ancho libre será la distancia mínima entre las caras interiores de los parapetos de la estructura.

En la determinación del ancho de calzada se tomará en cuenta lo siguiente:

- Para el servicio de vehículos automotores, el ancho de calzada de la estructura debe ser igual al ancho de corona de la carretera en los accesos a la estructura, es decir, al ancho de la calzada más sus acotamientos, definido en el proyecto geométrico de la carretera, en función de su tipo, según el Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal, salvo en casos especiales en los que se considerará lo siguiente:
  - I.1. Las estructuras para carreteras de dos carriles sin acotamientos, que se ubiquen en tangente, deben tener un ancho de calzada mínimo de siete coma cinco (7,5) metros. En el caso de que el ancho de corona de la carretera sea menor, se hará la transición necesaria en los accesos, en una longitud dependiente de la velocidad de proyecto, para pasar del ancho de corona de la carretera al ancho de calzada de la estructura.
  - I.2. En caminos rurales, las estructuras de un solo carril que se encuentran en tangente, deben tener un ancho de calzada de cuatro (4) metros como máximo.
  - I.3. Cuando la estructura se ubique en curva o en transición, se añadirá a su ancho de calzada la ampliación correspondiente establecida en el proyecto

geométrico de la carretera, en función del grado de curvatura y de la velocidad de proyecto.

I.4. Cuando se estime conveniente, el ancho de calzada de la estructura puede ser mayor que el de la corona de la carretera, previendo su futura ampliación. En tal caso se harán las transiciones necesarias en los accesos, en una longitud dependiente de la velocidad de proyecto.

I.5. En estructuras urbanas, el ancho de calzada debe ser el mismo que el de la calle de acceso, conservando la continuidad en los anchos de las banquetas.

- Para pasos inferiores peatonales (PIP) y ganaderos (PIG), los anchos mínimos de calzada deben ser de uno coma cinco (1,5) y dos (2) metros, respectivamente.

#### Ancho Total de la Estructura

El ancho total de la estructura es la distancia entre las caras extremas de la superestructura, medida normalmente a su eje longitudinal. Para estructuras que den servicio al tránsito de vehículos automotores, peatones y/o bicicletas, será la suma de los anchos de calzada, de las guarniciones o banquetas con los parapetos y, en su caso, de las medianas.

#### Superficie de rodadura

Cuando la estructura dé servicio al tránsito de vehículos automotores, peatones y/o bicicletas, la superficie de rodadura de la calzada debe ser resistente al derrapamiento.

#### Drenaje de la calzada

El drenaje transversal de la calzada se hace mediante el bombeo de la sección transversal de la superficie de rodadura, y el longitudinal por una contraflecha o por la pendiente longitudinal de la rasante. No se permitirá que el agua que baje por las cunetas de los accesos escurra sobre la estructura. Al efecto, al inicio de ésta deberá construirse una obra que la intercepte y capte también la del drenaje transversal. En estructuras largas el

drenaje se da por medio de drenes o coladeras del tamaño y número suficiente para drenar el agua en forma apropiada.

En estructuras cortas, de claros continuos, particularmente en pasos superiores vehiculares o de ferrocarril, pueden omitirse los drenes y conducirse el agua de la calzada a bajadas próximas a los extremos de la estructura. Estas bajadas deben ser rígidas, de material resistente a la corrosión, con ancho mínimo de diez (10) centímetros y con dispositivos o registros para efectuar su completa limpieza. La colocación de los drenes de la calzada y sus detalles se hace en tal forma que el agua de descarga no caiga sobre alguna parte de la estructura ni sobre el tránsito de una carretera inferior. Los voladizos de las losas de concreto deben tener un gotero cerca de su extremo para evitar que el agua escurra sobre los paramentos de la estructura.

#### Sobre elevación

La sobre elevación de la superficie de rodadura de una estructura en curva horizontal se da de acuerdo con las especificaciones establecidas en el proyecto geométrico de la carretera, sin embargo no debe exceder del diez (10) por ciento. En estructuras que se alojan en una tangente de transición a una curva, la sobre elevación será preferentemente constante a lo largo de la estructura.

#### Juntas de Expansión

Para permitir la expansión o la contracción de la estructura por efecto de los cambios de temperatura, se colocan juntas (holguras) en sus extremos y en otras secciones intermedias en que se requieran. Las juntas deben sellarse con materiales flexibles, capaces de tomar las expansiones y contracciones que se produzcan y ser impermeables. Si las juntas no pueden sellarse, se colocarán bajo ellas canalones para la captación y desalojo del agua.

### Longitudes de apoyo

Las longitudes mínimas de apoyo de la superestructura, medidas perpendicularmente al paño del soporte (estibo, columna, pila) se determinan con las siguientes expresiones (Secretaría de Comunicaciones y Transporte) SCT

è Estructuras Tipo B, zona sísmica A o B:

$$La = (20+0.17*L+0.60*H)*(1+0.000125*\alpha^2)$$

è Estructuras Tipo A en todas las zonas y Tipo B, zona sísmica C, D o E y :

$$La = (30+0.25L+0.60*H)*(1+0.000125*\alpha^2)$$

Donde:

La = Longitud mínima de apoyo, (cm)

L = Longitud a paños exteriores de la superestructura, (m)

H = Altura promedio de los soportes, (m). En puentes de un solo claro H = 0

$\alpha$  = Ángulo de Esviajamiento.

### Guarniciones, Banquetas y Medianas.

- Guarniciones

Las guarniciones, que son elementos de concreto colocados en las orillas de la calzada de la estructura, con el propósito de encauzar el tránsito vehicular y servir de base a un parapeto o a una defensa, tendrán una altura mínima, sobre la superficie de rodadura, de treinta (30) centímetros y un ancho mínimo en sus bases de cuarenta (40) centímetros. Las caras de las guarniciones del lado de la calzada, serán inclinadas con talud de uno a tres (1:3), horizontal a vertical, respectivamente.

En caso de que las guarniciones tengan una proyección horizontal en su base hacia la calzada, dicha proyección tendrá un ancho máximo de veinticinco (25) centímetros, medido desde el pie de la base inclinada hasta el plano vertical tangente a la cara interior de la defensa o parapeto.

En los accesos a la estructura, las guarniciones se prolongarán en una longitud mínima de veinte (20) metros y estarán provistas de defensas, excepto en zonas urbanas en las cuales deben tener parapetos. La altura de las guarniciones en los accesos puede ser igual o menor a la de la guarnición en la estructura. Los extremos de las defensas en los accesos, ancladas en el hombro o bordillo, se rematarán en forma inclinada y alabeada hacia afuera para protección del conductor.

- Banquetas

Las banquetas, elementos de concreto construidos en las orillas de la calzada, cuyo objetivo es permitir, en condiciones de seguridad, el paso de peatones, tendrán un ancho libre mínimo de setenta y cinco (75) centímetros, medido horizontalmente desde el pie de la banqueta hasta el plano vertical tangente al parapeto por el lado de la calzada. En zonas urbanas, el ancho libre de las banquetas será, preferentemente, igual al de las banquetas en los accesos. La altura mínima de las banquetas sobre la superficie de rodadura será de veinticinco (25) centímetros. (ver figura 1.7 y 1.8)

- Medianas

Las medianas, elementos de concreto o acero que se colocan sobre la calzada de la estructura cuando la carretera es de tres o más carriles y cuenta con barreras centrales, para separar los sentidos de circulación e incrementar la seguridad de los usuarios, tendrán una altura mínima de ochenta (80) centímetros y un ancho en su base no mayor de sesenta (60) centímetros. En zonas urbanas, las medianas deben tener las mismas características que las barreras centrales de los accesos.

- Parapetos

Los parapetos son sistemas de postes verticales y elementos longitudinales que se colocan sobre las guarniciones o las banquetas, a lo largo de los extremos longitudinales de la estructura, principalmente para la protección de los usuarios. Los elementos longitudinales pueden ser uno o varios y estar constituidos por vigas de concreto, tubos y perfiles metálicos, o defensas metálicas de lámina.

En las estructuras para vías rápidas urbanas, que cuenten con banquetas, se deben instalar los parapetos para vehículos automotores en las orillas interiores de éstas y en las exteriores, los parapetos peatonales. Se deben cuidar las proporciones y el aspecto de los parapetos para que sean estéticos y armonicen con el aspecto general de la estructura. Los materiales a emplear en la construcción de los parapetos pueden ser concreto reforzado o presforzado, acero, madera o una combinación de ellos. Sin embargo, en parapetos para vehículos automotores no deberán emplearse materiales metálicos con un alargamiento comprobado a la falla menor que el diez (10) por ciento. (ver figura 1.7 y 1.8)

- Instalaciones

Es necesario que en el proyecto se diseñen los elementos que se requieran para alojar instalaciones tales como postes de alumbrado; ductos para agua, cables de electricidad, teléfono, gas o drenaje; así como postes para cables de trolebús y tranvías en zonas urbanas, entre otros. Se prohibirá la colocación sobre una estructura de instalaciones no incluidas en el proyecto a menos que se otorgue el permiso correspondiente después de revisar el proyecto estructural.



Figura 1.7. Descripción de elementos de un puente, desde el terraplén



Figura 1.8 Descripción de elementos de un puente ya en uso.

### 1.3.2. Vialidades urbanas (consideraciones geométricas).

#### Clasificación.

Existen tres tipos comunes de clasificación en la planeación de vías urbanas, las cuales serían las siguientes:

Nivel urbano (municipal) : Considera una combinación de parámetros cuantificables objetivamente, como su ancho de sección, su número de carriles, la presencia o no de camellón, los volúmenes vehiculares que soportan y su función dentro de la estructura vial. De este modo las vías pueden ser: primarias, secundarias, locales y de acceso a colonias.

Jurisdiccional (estatal): Cada vía se encuentra clasificada de acuerdo con el nivel de responsabilidad gubernamental para su mantenimiento. Las cuatro clases principales son: Federal / Troncal, Estatal / Alimentadora, Federal / Rural y Municipal.

Funcional: Trata la composición de una red de vías urbanas a corredores individuales y enlaces, de acuerdo con el funcionamiento para el cual fue destinado dentro de la red. La jerarquía está basada en el grado de movilidad que provee, en la que la movilidad está determinada por el nivel de acceso local, el cual se abastece a lo largo de la vía y el grado de prioridad sobre otros enlaces estipulados en las intersecciones. Así pues, las vías se dividen en: calles locales (acceso a propiedades adyacentes y en las cuales las necesidades de tránsito de paso tienen poca o ninguna prioridad), vías secundarias o colectores ( combinan las dos funciones de enlazar las calles locales al sistema arterial y proveen el acceso local a propiedades adyacentes), arterias primarias (proveen de traslados a velocidades más altas para el tránsito de paso), vías subregionales (proveen enlaces entre el sistema primario y los principales generadores de viajes por un lado y, el sistema regional por el otro) y vías regionales (son el enlace entre una autopista de la ciudad con el sistema nacional de carreteras).

### Vehículo de Proyecto

Para el diseño óptimo de las vialidades es necesario proponer un vehículo de proyecto, basándose principalmente en las dimensiones del vehículo, no en el peso. Tomando en cuenta la clasificación por funcionalidad vial (ver cuadro 1)

Cuadro 1. Vehículo de proyecto por nivel de funcionalidad vial.

<u>Vehículo de proyecto por nivel de funcionalidad vial.</u>	
Clase de Vialidad	Vehículo de Proyecto(**)
Regional	DE1525
Sub-regional	DE1525 (*)
Primaria	DE1525 (*)
Secundaria	DE610 o DE1220
Local	DE610

(\*) A menos que esté específicamente prohibido por el Reglamento Local.  
(\*\*) Manual de proyecto geométrico de carreteras –SCT-.

### Velocidades de proyecto

La velocidad de proyecto es la velocidad máxima segura que se puede mantener en una sección específica de una vía, cuando la configuración del proyecto geométrico de la vía rija. (Ver cuadro 2)

Cuadro 2. Velocidad de proyecto por nivel de funcionalidad

<u>Velocidad de proyecto por nivel de funcionalidad (km/hr)</u>			
Clase de Vialidad	Topografía		
	Plano	Lomerío	Montaña
Regional	110	90	80
Sub-regional	90	80	70
Primaria (centro)	50-65	50-65	50-65
Primaria (periferia)	65-80	60-75	55-70
Secundaria	30-65	30-60	30-55
Local	30-50	30-50	30-50

### Distancia de visibilidad de parada

La distancia de visibilidad es la longitud visible de la vía para el conductor. La distancia mínima visible disponible en una vía debe ser suficientemente larga para permitirle al vehículo viajar a la velocidad de proyecto y parar antes de alcanzar un objeto estacionado en su ruta.

La distancia de visibilidad, en cada punto a lo largo de la vía, debe ser por lo menos la requerida para un operador por abajo del promedio o para que un vehículo pare en esta distancia.

La distancia de visibilidad de parada es la suma de dos distancias: la distancia recorrida por el vehículo desde el instante que el conductor ve un objeto necesitando parar aplicando los frenos y, la distancia requerida para detener el vehículo desde el instante que se empiezan a aplicar los frenos; se refiere a una distancia de reacción de los frenos y, la distancia de frenado, respectivamente. (Ver cuadro 3)

Cuadro 3. Distancia de visibilidad de parada en terreno plano (pendiente =0)

Distancia de visibilidad de parada en terreno plano (pendiente =0)					
Velocidad de Proyecto Km/hr	Tiempo de Reacción Seg.	Distancia m	Coef. de Fricción	Distancia de Frenado m	Distancia de Visibilidad de Parada M
30.00	2.50	20.83	0.400	8.858	29.69
40.00	2.50	27.78	0.380	16.577	44.35
50.00	2.50	34.72	0.360	27.340	62.06
60.00	2.50	41.67	0.340	41.686	83.35
70.00	2.50	48.61	0.325	59.358	107.97
80.00	2.50	55.56	0.310	81.280	136.84
90.00	2.50	62.50	0.305	104.557	167.06
100.00	2.50	69.44	0.300	131.234	200.68
110.00	2.50	76.39	0.295	161.484	237.87

## Sección Transversal

Existen tres tipos básicos de secciones transversales, los cuales se describen a continuación:

Sección sencilla: Una sección sencilla consiste en un arroyo de uno o dos sentidos de circulación, con acotamientos o banquetas a cada lado. Esta es la sección más común en las áreas urbanas.

El ancho del arroyo de circulación puede variar en el rango de cinco (5) a cuarenta (40) metros. Las ventajas de una sección sencilla en comparación con las otras son:

- Para un determinado número de carriles es la más angosta y por eso requiere menos derecho de vía.
- Es la más manejable para el diseño de intersecciones.
- Permite a los vehículos distribuirse libremente entre todos los carriles de circulación y así aprovechar toda la capacidad potencial de la vía.
- En el caso de tramos de doble sentido y con flujos relativamente bajos, esta sección permite el acceso directo a las propiedades colindantes desde ambos sentidos de circulación, quedando así, no son necesarios los retornos en U.

La principal desventaja de una sección sencilla es que, en el caso de tramos con una alta velocidad de marcha (promedio superior a los cincuenta –50- kilómetros por hora) no ofrece ninguna protección contra choques de frente.

Sección separada: Una sección separada consiste en dos arroyos de circulación de sentido único, separado por un camellón central y banquetas o acotamientos a los dos lados. Las ventajas de este tipo de sección son:

- En el caso de tramos de alta velocidad de marcha (promedio de cincuenta –50- kilómetros por hora o más) un camellón central suficientemente ancho o con una barrera central, reduce la posibilidad de choques de frente.

- Un camellón central da la posibilidad de construir carriles para retornos en U y vueltas a la izquierda protegidos del tránsito de frente y así disminuir el riesgo de choques de alcance.

Las desventajas de una sección separada son:

- Una *sección separada* puede requerir de un derecho de vía más amplio comparado con una *sección sencilla*. En el caso de una vialidad con frecuentes intersecciones que incluyen carriles exclusivos para vueltas a la izquierda, resulta casi igual el ancho necesario para una sección sencilla y una separada.
- Por restringir las entradas a la izquierda desde las propiedades colindantes y las vías transversales, estas vueltas se transforman en retornos en U, que pueden interferir aún más en la capacidad y seguridad de la vialidad. Esta desventaja solamente se refiere a vialidades de bajo volumen (en caso contrario, los altos volúmenes de tránsito de paso impedirían las entradas de vuelta izquierda al igual que un camellón). La desventaja causada por el desvío disminuye a medida que se proporcionan aperturas para retornos con mayor frecuencia.

Los factores que influyen en la elección de una sección sencilla o separada incluyen:

- Si el derecho de vía disponible es suficientemente ancho para un camellón.
- El tipo de acceso permitido a las propiedades colindantes y posibles conflictos entre el tránsito de frente y las vueltas a la izquierda para entrar o salir de estas propiedades.
- Si es necesario o no proporcionar carriles protegidos para vueltas a la izquierda y/o retornos.

Cabe mencionar que la topografía normalmente no entra como factor en la elección de secciones transversales de vialidades urbanas.

Sección compuesta: Una sección transversal compuesta consiste en un corredor central bordeado por camellones laterales que lo separen de los arroyos laterales. El

corredor central puede ser un arroyo de doble sentido, o dos cuerpos de sentido único separados por un camellón central.

Son diversos los motivos por los que se construyen vialidades de sección compuesta:

- Separar el tránsito local o lento del tránsito rápido o de paso.
- Complementar con carriles laterales de acceso local a una carretera cuya construcción anticipó el desarrollo urbano de los terrenos colindantes.

Además de las ventajas potenciales arriba mencionadas, a menudo las vialidades de sección compuesta crean graves problemas operacionales para el tránsito automotor. Las desventajas potenciales de la sección compuesta son las que se describen a continuación:

- En un cruce a nivel, la introducción de cuerpos laterales complica la operación por añadir movimientos conflictivos y así crear nuevos focos de conflicto, alargar el tamaño de la intersección y, en el caso de intersecciones semaforizadas, aumentar la proporción del tiempo perdido en cada ciclo de semáforo.
- Normalmente, las entradas y salidas del corredor central se realizan a través de aperturas en camellones laterales mal diseñados, lo que crea condiciones de alto riesgo y baja capacidad.

### Ancho de Arroyos y Carriles

El ancho mínimo de un carril de circulación es de tres punto dos (3.2) metros y el deseable es de tres punto cinco (3.5) metros para todos los movimientos direccionales (frente y vueltas a la izquierda o derecha). El ancho mínimo de carriles de estacionamiento es de tres punto dos (3.2) metros, sin embargo, siempre que sea posible debe proporcionarse un ancho igual a un carril de circulación por la probabilidad de que en el futuro se convierta en un carril de circulación.

El ancho mínimo de un arroyo de sentido único es de cinco (5) metros ya que, al igual que el estacionamiento prohibido, siempre habrá ocasiones en que un vehículo quede

descompuesto o temporalmente parado en el arroyo por cualquier otro motivo. El ancho deseable sería siete (7) metros por las mismas razones citadas anteriormente.

El ancho mínimo de un arroyo de sentido único con un carril de circulación y uno de estacionamiento, es de seis punto cuatro (6.4) metros pero el deseable es de siete (7) metros. Con estacionamiento en los dos lados, el ancho se incrementa para nueve punto seis (9.6) metros mínimo y diez punto cinco (10.5) deseable.

El ancho de un arroyo de doble sentido y sin estacionamiento puede ser, en casos extremos, tan reducido como seis punto cuatro (6.4) metros, siempre y cuando ya exista en la ciudad un programa eficaz de vigilancia. En caso contrario, debe de proporcionársele no menos de siete (7) metros de ancho. Si se permite el estacionamiento, se incrementarán los valores de ancho tres punto dos (3.2) metros (mínimo) ó tres punto cinco (3.5) metros (deseable) por cada carril de estacionamiento permitido.

### Ancho de Camellones

El ancho requerido para un camellón central depende de sus funciones:

Si pretende crearse aperturas para retornos en U y, los volúmenes de tránsito en la dirección opuesta fueran no muy altos (no mas que 300 vehículos / hora) se puede considerar como una opción mínima un ancho que permita el retorno entre el carril interior y el exterior del sentido opuesto. En el caso de la construcción de una nueva vialidad en áreas de la periferia urbana, o en el caso de volúmenes en el sentido contrario, se debe de proporcionar un ancho suficiente para que el vehículo de proyecto realice completamente su retorno del carril interior al carril interior del sentido contrario.

- Si se prohíben los retornos en U, pero se requieren carriles protegidos para las vueltas a la izquierda, el ancho debe de ser suficiente para acomodar un carril de 3.2 m y una faja separadora de no menos de 0.5 m (mínimo) o 0.8 m (deseable).
- Si se prohíben tanto las vueltas a la izquierda como los retornos en U, el ancho mínimo sería de 0.5 m y de 1.0 m, deseable.

#### **1.4 Materiales empleados en la construcción de puentes carreteros.**

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.

El no llevar un control de calidad, trae como consecuencia cuellos de botella locales o regionales, mismos que acarrean problemas más o menos importantes, pues entorpecen el flujo 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:

1.- Tiempo. Suministro total de recursos oportunamente, cumplimiento de plazos, verificación de rendimientos, uso de programas de ruta crítica, etc.

2.- 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.

3.- Calidad. Cumplimiento de todas las especificaciones del proyecto en cuanto a características o normas American Concrete Institute (ACI), American Society for Testing and Materials (ASTM), Norma Oficial Mexicana (NOM) 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; pero este por ningún motivo debe ser el caso de la calidad, debido a las especificaciones existentes, por lo que 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 este 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 ensaye de Materiales ASTM, y varias oficinas locales o estatales.

Las especificaciones de diseño son preparadas por asociaciones gubernamentales y profesionales que dictan el criterio mínimo aceptable para diseño. ACI, RCDF, ASTM, NOM, etc.

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; solo 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, Mampostería, Concreto armado o presforzado. (Ver figura 1.9)

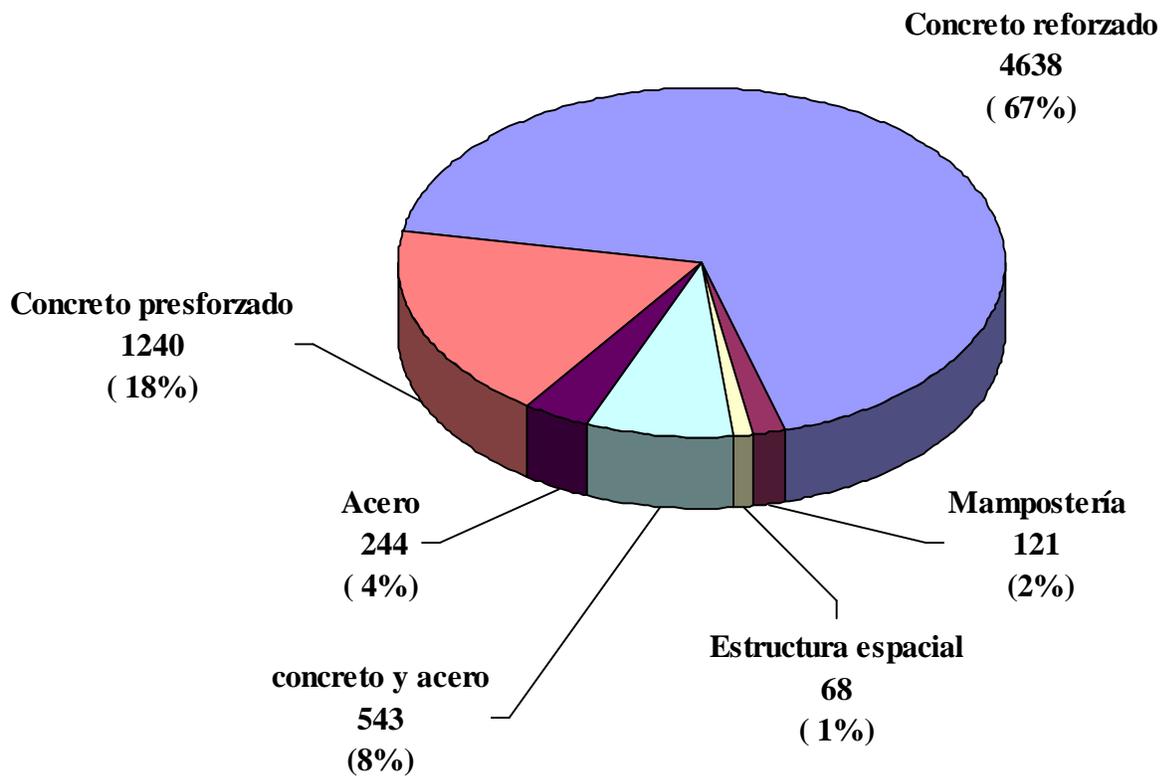


Figura 1.9. Distribución de puentes por tipo de material.

#### 1.4.1 Mampostería

Tipos de piezas.- Las piezas que se usan en elementos estructurales de mampostería deberán cumplir los requisitos mínimos de calidad especificados por la Dirección General de Normas para el tipo de rocas que se va a emplear.

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.

Las recomendaciones que se presentan para piedras naturales, se basan en las que fijo la Secretaria de obras Públicas en sus Especificaciones Generales de Construcción (1971).

Para construcciones en puentes rige la última edición de las Normas para Construcción e Instalación, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en particular lo relativo al libro 3.01.02, capítulo 024 (Mamposterías) y las especificaciones complementarias anexas en cada proyecto.

#### 1.4.2 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:

- A) Gran facilidad para unir diversos miembros por medio de varios tipos de conectores como son la soldadura, los tornillos y los remaches.
- B) Posibilidad de prefabricar los miembros de una estructura.
- C) Rapidez de montaje.
- D) Gran capacidad de laminarse y en gran cantidad de tamaños y formas.
- E) Resistencia a la fatiga.
- F) Posible rehuso después de desmontar una estructura.
- G) 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 indico 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, solo 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 **L** tienen esta propiedad.

### 1.4.3. Concreto

#### 1.4.3.1. 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 den 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.

#### 1.4.3.2. Concreto presforzado

El presfuerzo 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, 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.

##### 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.

##### 1.4.3.2.1. a) Pretensado

Los tendones, generalmente son de cable torcido con varios torones 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 alta 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 torones tienden a acortarse, pero no lo hacen por estar ligados al concreto por adherencia. En esta forma la fuerza de presfuerzo 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 presfuerzo. (Ver figura 1.10)

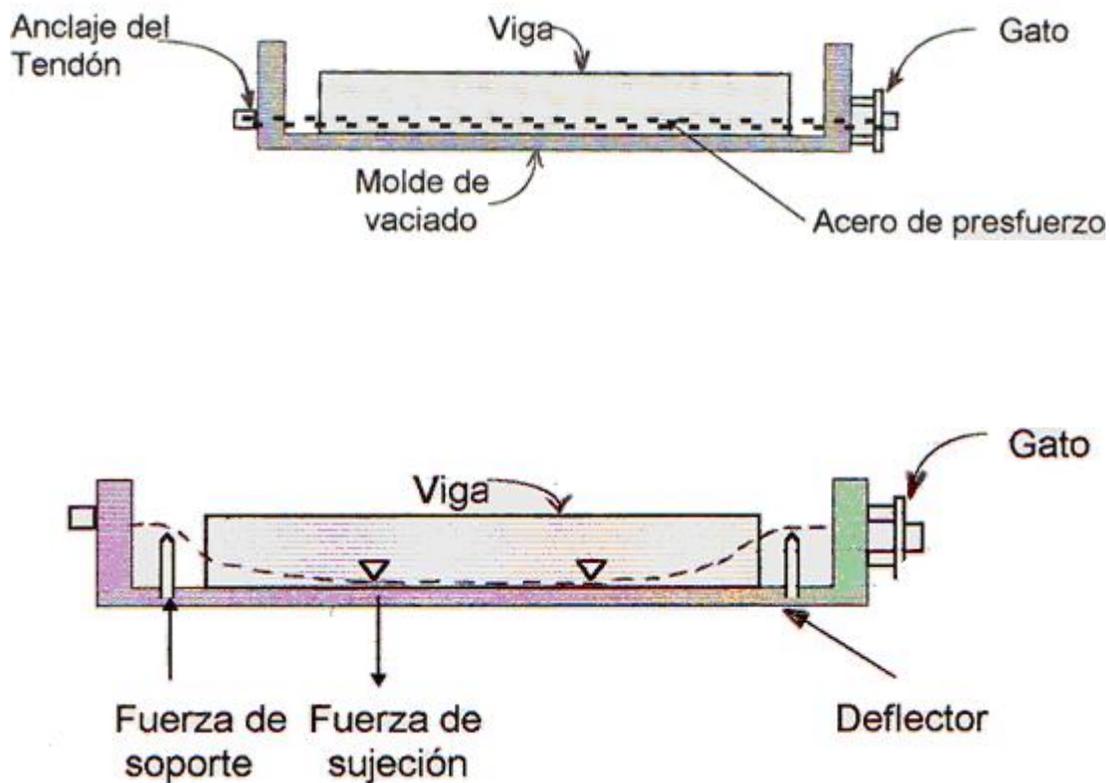


Figura 1.10. Métodos de pretensado

#### 1.4.3.2.2. b) Postensado

Cuando se hace el presforzado 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 torones, 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 fuerza el mortero al interior del ducto en uno de los extremos, a alta presión, y se continúa 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. (Ver figura 1.11)

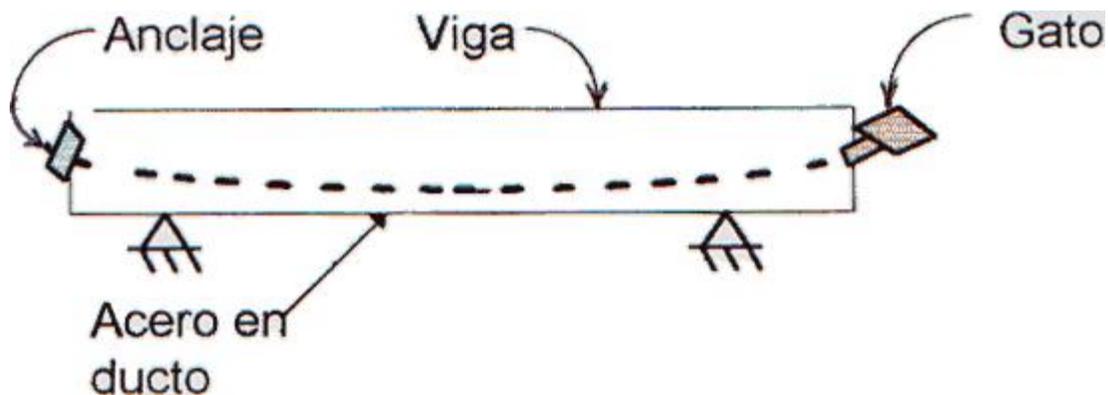


Figura 1.11. Métodos de postensado

El uso de acero de alta resistencia para el presfuerzo 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.

#### 1.4.3.2.3. c) 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. (Ver cuadro 4).

Cuadro 4. Diámetro de alambre

		Mínima resistencia de Tensión (N/mm <sup>2</sup> )		Mínimo Esfuerzo para una Elongación de 1% (N/mm <sup>2</sup> )	
Diámetro nominal (mm)	Tipo BA	Tipo WA	Tipo BA	Tipo WA	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 el 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. (Ver cuadro 5).

Cuadro 5. Propiedades del cable de siete alambres sin revestimiento que se deben cumplir.

<b>Diámetro Nominal (mm)</b>	<b>Resistencia a la Ruptura (kN)</b>		<b>Área Nominal del Cable (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga mínima para una Elongación de 1% (kN)</b>
		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 el (cuadro 6).

Cuadro 6. Diámetros y resistencias de las varillas.

<b>Diámetro Nominal (mm)</b>	<b>Área Nominal de la Varilla (mm<sup>2</sup>)</b>		<b>Resistencia a la Ruptura (kN)</b>	<b>Mínima Carga para una Elongación de 0.7 % (kN)</b>
		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
<b>Diámetro Nominal (mm)</b>	<b>Área Nominal de la Varilla (mm<sup>2</sup>)</b>		<b>Resistencia a la Ruptura (kN)</b>	<b>Mínima Carga para una Elongación de 0.7 % (kN)</b>
		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

#### 1.4.3.2.4 d. 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 resistente, es que el concreto 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 presfuerzo.

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 el colado, se necesitara 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 cubico de concreto. Si es posible un vibrado cuidadoso, se puede emplear concreto con un revenimiento de 1.2 cm o cero, y serian suficientes poco menos de 9 sacos por metro cubico 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.

#### 1.4.3.2.5 e) Neopreno

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

## A) 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.

## B) EFECTIVIDAD

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.

## C) 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:

- 1.- 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.

2.- 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 hasta 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.

## **1.5 Conservación de puentes.**

### **1.5.1. 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 la actualidad, el sistema carretero nacional alcanza los 240 000 Km. de longitud, de los que destacan por su importancia 46 000 Km., que conforman la Red Federal Carretera. Dentro de este sistema, se cuenta con 6 500, puentes, con mas de 6 m y que en total conforman aproximadamente 200 Km.

En cuanto a las cargas de diseño, como el 70% de los puentes fueron construidos antes de 1970, 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 adoptó 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. (ver figura 1.12).

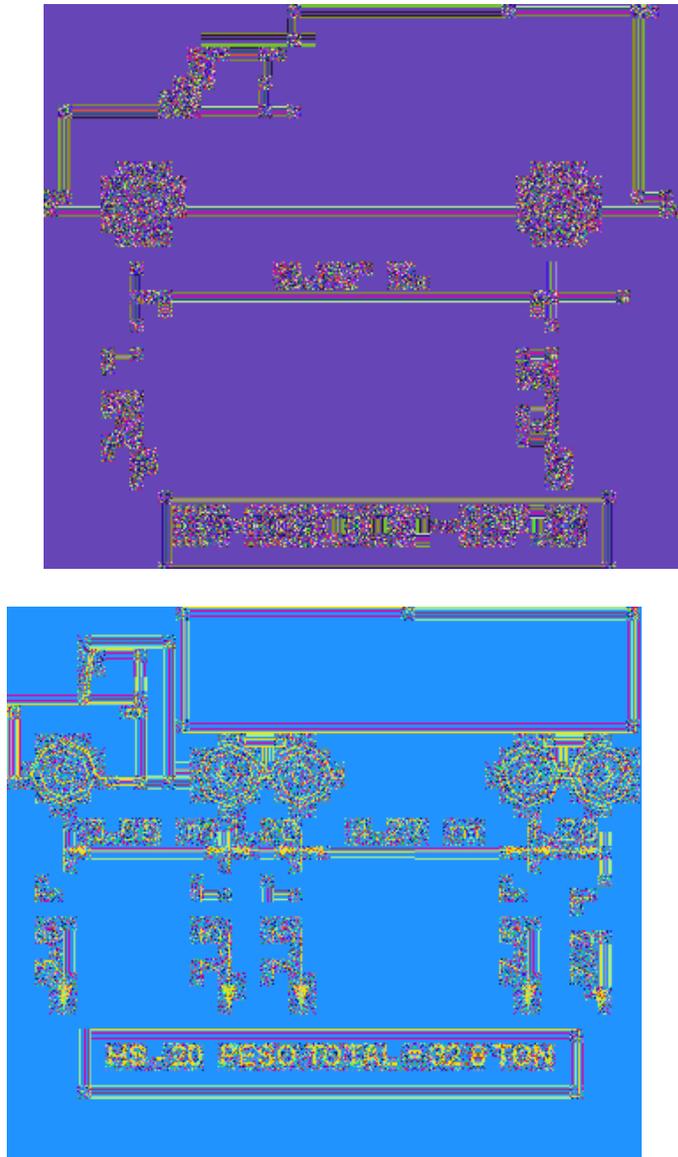


Figura 1.12 Pesos de camiones.

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. (Ver figura 1.13)

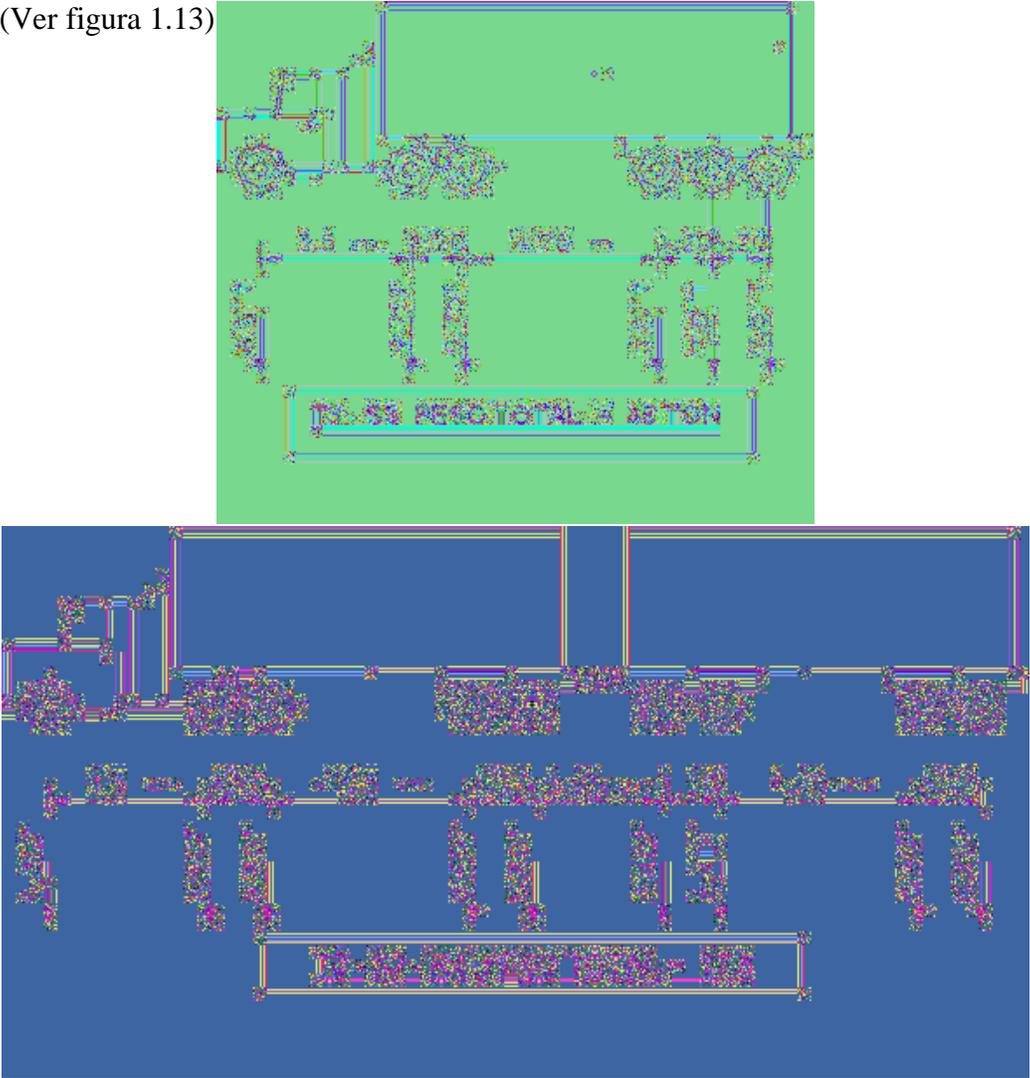


Figura 1.13 Pesos de camiones.

### 1.5.2. 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:

- 1.- Garantizar que el mantenimiento de los puentes de la red carretera se lleve a cabo de una manera optima.
- 2.- Jerarquizar las necesidades de los proyectos de rehabilitación y de la ejecución de las obras.
- 3.- Realizar la optimización de los presupuestos anuales.
- 4.- Ejecutar proyecciones de los requerimientos de presupuesto para un periodo de 5 años.
- 5.- Optimizar los criterios de evaluación para que los proyectos de reparación de los puentes sean lo mas próspero posible.

### 1.5.3. 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. Así mismo, 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. Una gran parte de nuestros puentes fueron calculados para la carga AASHTO H-15 con un peso total de 13.6 Ton., en tanto que el camión T3-S3, autorizado por el reglamento de operación de caminos, tiene un peso legal de 47 Ton. y, frecuentemente, un peso ilegal de 75 Ton. Esta situación explica los daños en las estructuras de pavimentos y puentes, causados por el aumento de las sollicitaciones mecánicas al aumentar el peso de las cargas rodantes y por la disminución de resistencia por efecto de la fatiga estructural ocasionada por el efecto de frecuencia en la aplicación de esas cargas.

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.

Aun 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.

#### 1.5.4. Situación de la conservación de puentes en México

En los 46,000 Km. de la red federal de carreteras, existen, aproximadamente, 6,500 puentes con una longitud del orden de 200 Km., que representan una inversión inicial superior a los 8 billones de pesos. De acuerdo con los numerosos estudios realizados en todo el mundo, un nivel mínimo recomendable de inversión para la conservación de estructuras viales es el 2% de la inversión inicial. Lo que conduce a definir un presupuesto anual de 160 mil millones de pesos como mínimo necesario para la conservación de esas obras. Desafortunadamente, por muchos años, por las razones antes mencionadas, los

presupuestos asignados fueron nulos o mucho menores a la cifra señalada, lo que ha propiciado una grave acumulación del deterioro.

En una evaluación reciente de los puentes de la red federal, se estimó que, aproximadamente en 3,000 de ellos, el 60% del total, se requerían acciones importantes de rehabilitación.

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

Adicionalmente, en Francia, los 6,700 puentes de la red principal de carreteras requieren una inversión anual de 40 millones de dólares durante 20 años. De esta inversión, un tercio se destinara a acciones preventivas de mantenimiento y dos tercios a la rehabilitación o reemplazo del 25% de esas obras.

A pesar de que la construcción y administración institucional de puentes carreteros en México empieza en 1952 con la fundación de la Comisión Nacional de Caminos, es solo hasta 1982 cuando se inician acciones administrativas que consideran el problema global de la conservación de puentes. Antes de esa fecha, solo se emprendían acciones dispersas diferidas a casos puntuales, que en su mayor parte se aplicaban a la reconstrucción de puentes colapsados por socavación durante los temporales.

En 1982, se levanta un inventario de los puentes de la red federal que incluye una evaluación de sus condiciones. Este documento constituye un esfuerzo importante de la Dirección General de Construcción y Conservación de Obra Pública por el control de las estructuras viales a su cargo. Posteriormente, se establecen Residencias de Conservación de Puentes en la mayor parte de los estados y se llevan a cabo numerosas obras de reparación

y modernización de puentes. Similares esfuerzos han sido realizados en la última década por el organismo Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, por el Departamento del Distrito Federal y por la empresa de Ferrocarriles Nacionales de México para atender los puentes a su cargo.

Por otra parte, es importante señalar que existen numerosos puentes que se encuentran desprotegidos, porque las entidades que los administran, quizás fundamentalmente por la carencia de recursos, no han realizado acciones sustantivas para su conservación. Se trata de los puentes de las redes estatales de caminos alimentadores y de los puentes de los caminos rurales. Aunque estos puentes soportan, en general, volúmenes de tránsito mucho menores que los de la red troncal, muchos de ellos tienen una gran antigüedad y un deterioro severo como consecuencia de una escasa o nula conservación, por lo que constituyen un grave peligro para la seguridad pública.

#### 1.5.5 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 hay muy pocos 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.

Caminos y Puentes Federales (CAPUFE), Comisión Nacional de Electricidad (CFE) y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); tienen sus propios programas de conservación de puentes, aunque son muy parecidos por ser "copiados" de programas de otros países.

El último y más ambicioso de estos programas fue implantado por SCT, firmado en 1992 con el Directorio Danés de Carreteras. Este programa lleva como nombre SIPUMEX. El Sistema de Puentes de México (SIPUMEX) es un sistema que permite contar con un inventario de la totalidad de los puentes de la Red Federal de Carreteras, en el que se incluyen las características, ubicación y estado físico. Ello permite efectuar una priorización de las necesidades de mantenimiento y rehabilitación, con lo que se logra una optimización de los recursos aplicables, atendiendo al mismo tiempo a la seguridad de los usuarios.

La primera fase de SIPUMEX, que se firmo en el año de 1992, esta constituida por las siguientes actividades:

Inventario.

Inspecciones principales.

Inspecciones rutinarias.

Mantenimiento menor y limpieza.

Evaluación de la capacidad de carga.

Jerarquización de los trabajos de rehabilitación.

A mediados de 1993 se firmó el contrato de la Fase 2, cuyos trabajos finalizaron a fines de 1996, esta segunda fase incluía las siguientes actividades:

Inspecciones especiales.

Diseño de reparación de puentes

Diseño y especificaciones para puentes nuevos.

Rutas para transporte pesado.

Mapa de puentes.

Libro de precios (Catalogo de precios unitarios para trabajos de mantenimiento y rehabilitación).

La primera etapa de SIPUMEX, si fue cumplida, dando como resultado un inventario de los puentes de la Red federal de Carreteras, que sumaron 6,150 en total, con datos básicos como: Entidad federativa donde se ubica la estructura, la carretera, el kilometraje, tramo, año de construcción, tipo de superestructura y subestructura, el Transito Diario Promedio Anual (TDPA), etc.

También, resultados de esta primera etapa, fueron, una relación de puentes que requieren reparación urgente según SIPUMEX, con un total de 280 puentes en toda la República Mexicana.

La segunda etapa no llevo completamente a cabo sus objetivos por cuestiones de la economía mexicana y su crisis, por la que paso el país en esos años.

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

- 1.- Uniformizar los criterios de inspección de todas las Residencias generales de Conservación de Carreteras.
- 2.- Actualizar sistemáticamente la base de datos del estado de los puentes, por lo menos una vez al año.
- 3.- Contar con los recursos necesarios para mantener el sistema en operación, sobre todo recursos financieros, mayor apoyo en los presupuestos para conservación de puentes
- 4.- 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.
- 5.- Una buena planeación de los programas de conservación de puentes.

## CAPÍTULO 2. CARGAS

Los tipos de cargas de cargas que actúan generalmente sobre las estructuras de este tipo son las permanentes, que como su nombre lo indica permanecen durante toda la vida útil de la estructura y no varía su magnitud; las cargas variables, que generalmente son las cargas vivas y sus efectos; y las eventuales, que podría decirse también que son las cargas accidentales puesto que se presentan ocasionalmente en la vida útil de la estructura.(Ver cuadro 7).

Cuadro 7. Cargas actuantes en puentes

Permanentes	Variables	Eventuales
<ul style="list-style-type: none"> <li>∅ Cargas Muertas</li> <li>∅ Empujes de Tierras</li> <li>∅ Empujes Hidrostáticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>∨ Carga Viva</li> <li>∨ Impacto</li> <li>∨ Fuerza centrífuga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>è Viento</li> <li>è Sismo</li> <li>è Frenaje</li> <li>è Fricción</li> <li>è Variación de la temperatura</li> <li>è Empuje dinámico del agua</li> <li>è Sub presión</li> <li>è Contracción por fraguado</li> <li>è Acortamiento de arcos</li> <li>è Flujo plástico</li> <li>è Asentamientos diferenciales</li> <li>è Oleaje</li> </ul>

### 2.1 Cargas Permanentes

- ∅ Cargas muertas : Las cargas muertas son todas aquellas cargas que pertenecen a la estructura en sí; el peso de toda la estructura, guarniciones, estribos, muros de contención, parapeto, diafragmas, señales, carpeta asfáltica, instalaciones en

general, y todos aquellos elementos estructurales que requiera el puente para su correcto funcionamiento.

- Ø Empujes de tierras: Los elementos sometidos a cargas por empujes de tierras se diseñaran mediante el análisis de Rankine u otro procedimiento que considere los efectos de interacción suelo – estructura.
- Ø Empujes hidrostáticos: cuando se diseñen elementos (muros) de retención se considerará el relleno saturado para calcular dicho empuje, pero si existe cualquier tipo de drenaje esta acción puede omitirse.

## **2.2 Cargas Variables**

- ✓ Cargas vivas: las cargas vivas son todas aquellas cargas pertenecientes a los vehículos, peatones, ciclistas, equipos de mantenimientos (eventual), ganado y cualquier otra carga móvil. Ahora bien las cargas vivas deberán ubicarse según el objeto que la provoque (vehículo, peatones, etc.) por ello se debe tener en cuenta lo siguiente:
  - Número de carriles: se obtiene dividiendo el ancho de calzada entre tres punto cinco metros – ancho estándar – y se redondea al número menor. En revisiones se consideran dos carriles si el ancho es menor a diez punto cinco metros y mayor a cinco punto cinco.
  - Las cargas móviles, concentradas y uniformemente distribuidas se ubicarán sobre el carril en el lugar más crítico para obtener los elementos mecánicos más desfavorables.
  - Las ruedas de los vehículos se acercarán a la guarnición a una distancia mínima de treinta centímetros para análisis de voladizos, ó sesenta centímetros para el análisis de otros elementos.

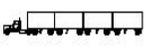
## ✓ Vehículos de proyecto

La parte principal de las cargas vivas es la carga vehicular, siendo ésta carga la más importante debido a que generalmente en puentes rige el diseño. Dependiendo de las características geométricas, viales y funcionales de la estructura, se escoge un vehículo de proyecto. Cabe mencionar que al realizar el análisis produce la condición más desfavorable de diseño, para la estructura en cuestión. No siempre el vehículo más pesado es el vehículo crítico, es por ello que es conveniente analizar la estructura con más de un modelo. Los vehículos de proyecto con los cuales se realiza el proyecto se describirán a continuación.

### Clasificación de la SCT (NOM-012-SCT-2-1995)

Actualmente en México existe una clasificación de vehículos establecida en la Norma NOM-012-SCT-2-1995, donde se indica el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de auto-transporte sobre los puentes y caminos de jurisdicción federal. De aquí, la Secretaría de Comunicaciones propone como los vehículos críticos a los denominados T3 –S3 y T3-S2-R4 para un carril y la carga de un vehículo HS-20(AASHTO) en los demás carriles (si los hubiese). (ver cuadro 8).

Cuadro 8. Clasificación de vehículos según NOM-012-SCT-2-1995

TIPO	Nº	CONFIGURACIÓN Y CLASE	NUMERO DE EJES LLANTAS	EJ	PESOS MÁXIMOS EN TONELADAS AUTORIZADOS POR TIPO DE CAMINO				
					ET4 Y ET2	A4 Y A2	B4 Y B2	C	D
T-S	11	 T3-S3	6 ejes 22 llantas	SC1	P= 48.50	P= 48.50	P= 48.50	P= 43.00	N/A
				DM2	PSN= 54.50	PSN= 54.50	PSN= 54.50	PSN= 49.00	
				TC	L= 23.00	L= 20.80	L= 20.80	L= 18.50	
T-S-R	16	 T3-S2-R4	9 ejes 34 llantas	SC1	P=66.50	P=66.50	P=66.50	P=58.00	N/A
				DM2	PSN= 75.50	PSN= 75.51	PSN= 75.52	PSN= 67.00	
				DC	L= 31.00	L= 31.01	L= 28.50	L= 23.50	
DIMENSIONES MÁXIMAS ANCHO = 2.60 m. ALTO = 4.5 m PSN = PESO BRTO VEHICULAR MÁXIMO CON SUSPENSIÓN NEUMÁTICA									

## Clasificación AASHTO

Los vehículos de diseño propuestos por la AASHTO son los denominados H-15, H-20 (que representan a un camión con dos ejes cargados) y los HS-15 y HS-20 (que representan a un camión con tres ejes cargados). (ver figura 2.1 y 2.2)

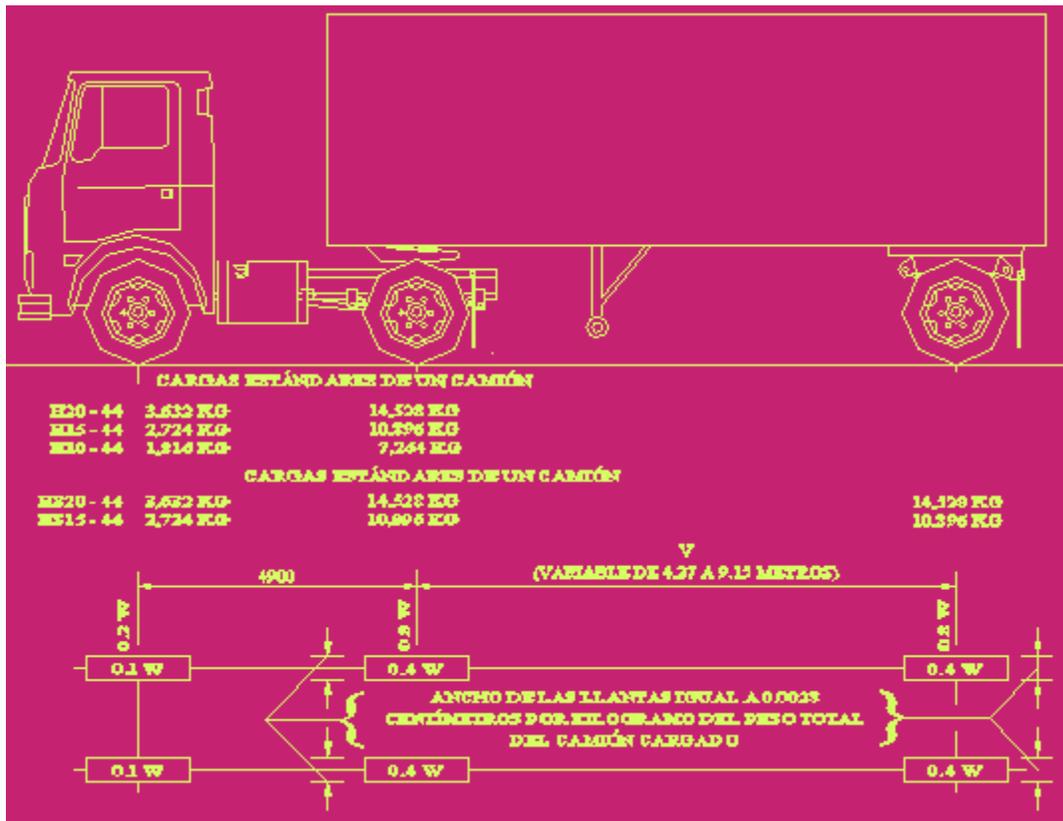


Figura 2.1.- Camión estándar cargado. W = peso total del camión y la carga, “V” es una longitud variable, para encontrar el esfuerzo máximo.

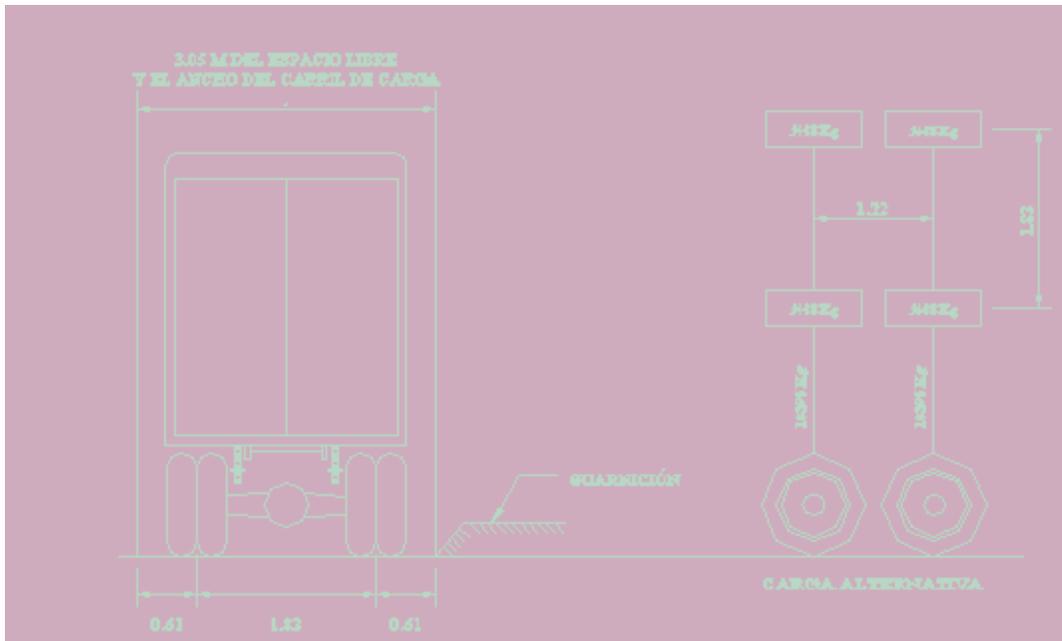


Figura 2.2.- Camión estándar, ancho estándar y carga alternativa.

### Clasificación del IMT (Instituto Mexicano del Transporte)

Como se mencionó anteriormente, después de varios estudios realizados por el Instituto, se llegó a la conclusión de que los vehículos de proyecto (SCT, AASHTO) utilizados en el diseño de puentes provocaban elementos mecánicos bastante inferiores a los que realmente ocasionan los grandes vehículos que transitan por las carreteras del país.

Por ende se propusieron vehículos virtuales -como los denominan por no existir físicamente- que arrojen esfuerzos superiores a los provocados por los vehículos.

- ♦ Modelo IMT 66.5.- Aplicable a estructuras que se proyecten para carreteras de los tipos ET, A, B y C, así como para autopistas. (ver cuadro 9)

Cuadro 9. Tabla de vehículos modelo IMT 66.5

<b>Modelo IMT 66.5</b>					
<b>Tipo de Análisis</b>	<b>Claro</b>	<b>Cargas</b>			
	<b>L (m)</b>	<b>P<sub>1</sub> (kN)</b>	<b>P<sub>2</sub> (kN)</b>	<b>P<sub>3</sub> (kN)</b>	<b>w (kN/m)</b>
<u>Longitudinal</u>	$L > 90.00$	49.00	235.00	368.00	10.00
	$30.00 < L < 90.00$	49.00	235.00	368.00	$10(L-30)/60$
	$30.00 > L$	49.00	235.00	368.00	0.00
<u>Tridimensional</u>	$L > 90.00$	24.53	58.86	61.32	$10.00/3$
	$30.00 < L < 90.00$	24.53	58.86	61.32	$10(L-30)/180$
	$30.00 > L$	24.53	58.86	61.32	0.00

Donde:

L = longitud del claro (m)

w = carga uniformemente distribuida (kN/m)

Para caminos tipo C, estas cargas deberán afectarse por un factor de reducción de 0.9 (ver figura 2.3)

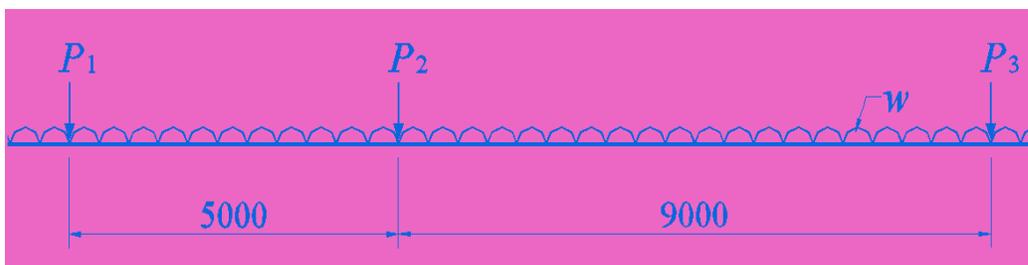


Figura 2.3.- Diagrama de cargas de vehículos del modelo IMT 66.5 para claros iguales o mayores a treinta metros.

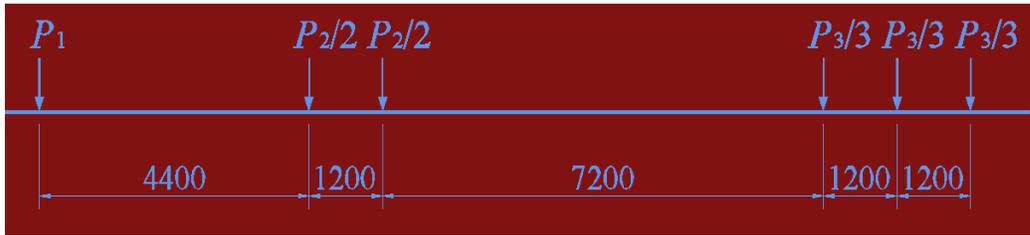


Figura 2.4.- Diagrama de cargas de vehículos del modelo IMT 66.5 para claros menores a treinta metros.

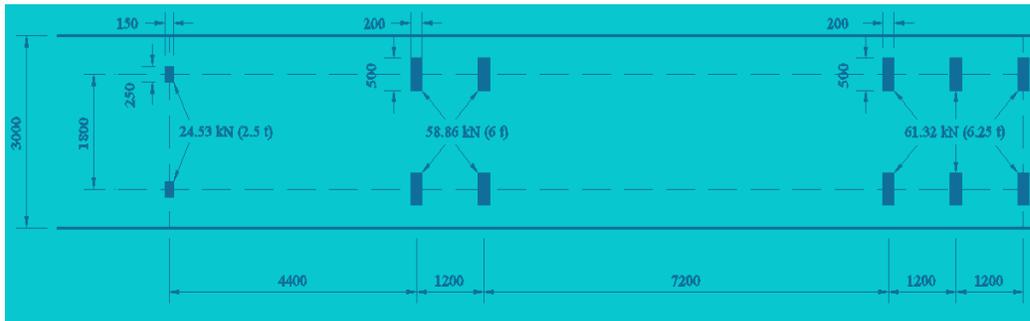


Figura 2.5.- Diagrama de cargas de vehículos del modelo IMT 66.5 para análisis tridimensional.

- ♦ Modelo IMT 20.5.- Aplicable a estructuras que se proyecten para carreteras de los tipos D, así como para caminos rurales. (ver cuadro 10).

Cuadro 10. Tabla de claros para el vehiculo modelo IMT 20.5

<b>Modelo IMT 20.5</b>				
<b>Tipo de Análisis</b>	<b>Claro</b>	<b>Cargas</b>		
	<b>L (m)</b>	<b>P<sub>4</sub> (kN)</b>	<b>P<sub>5</sub> (kN)</b>	<b>w (kN/m)</b>
<u>Longitudinal</u>	L > 15.00	25.00	177.00	8.80
	15.00 > L	25.00	177.00	8.80*L/15
<u>Tridimensional</u>	L > 90.00	25.00	177.00	8.80/3
	30.00 > L	25.00	177.00	8.80*L/45

Donde:

$L$  = longitud del claro (m)

$w$  = carga uniformemente distribuida (kN/m)

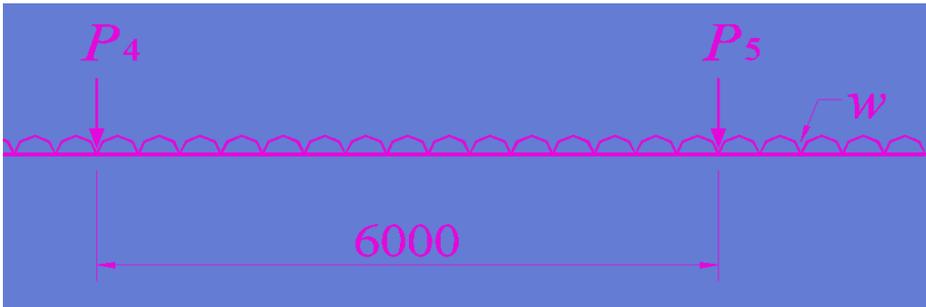


Figura 2.6. Modelo IMT 20.5 para claros iguales o mayores a quince metros.

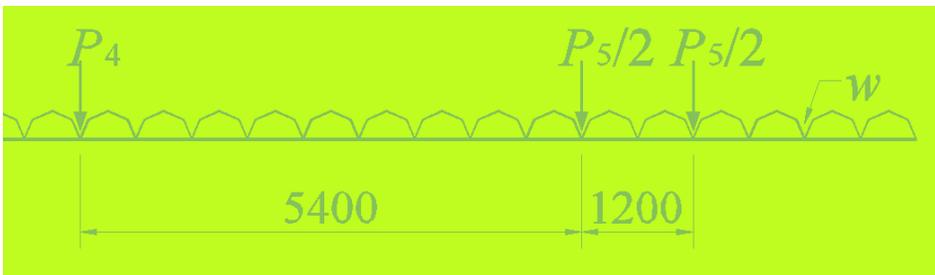


Figura 2.7. Modelo IMT 20.5 para claros menores a quince metros.

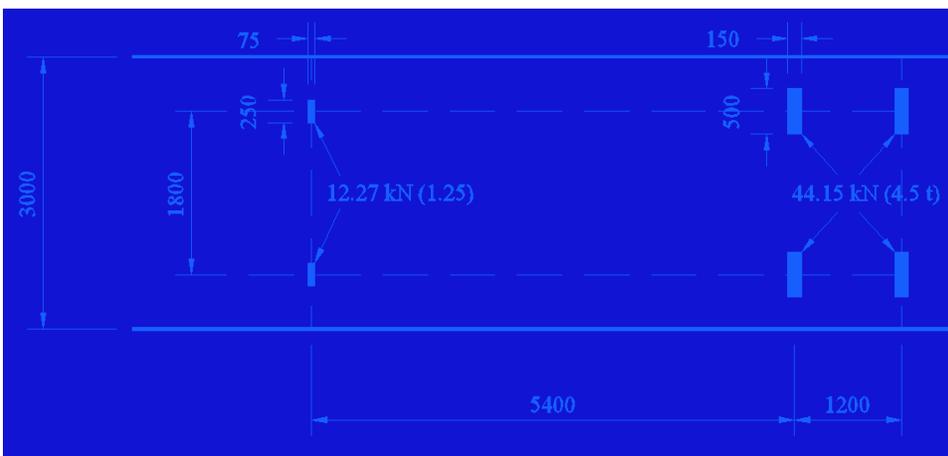


Figura 2.8. Modelo IMT 20.5 para análisis tridimensional.

### Factores de reducción en carriles múltiples.

Considerando la poca probabilidad de que coincidan más de dos vehículos en los carriles de la misma estructura al mismo tiempo se proponen los siguientes factores de carga: (ver cuadro 11).

Cuadro 11. Factores de reducción en carriles múltiples.

<b>Número de carriles cargados</b>	<b>Factor de reducción por presencia múltiple</b>
1	1.00
2	0.90
3	0.80
4	0.70
5	0.60
6 o más	0.55

- ∨ Carga viva en banquetas, guarniciones y parapetos.

### Banquetas

La carga viva en banquetas debido al paso peatonal se puede obtener de la siguiente manera:

- Para claros de hasta a ocho metros: 400 Kg/m<sup>2</sup>
- Para claros mayores a ocho y menores a treinta metros: 300 Kg/m<sup>2</sup>
- Para claros mayores a treinta metros se aplica la siguiente fórmula:

$$W_b = (1435 + (43800/L_b))((16.7 - A_b)/149.1)$$

Donde:

L<sub>b</sub> = longitud de la banqueta (m)

A<sub>b</sub> = Ancho de la banqueta (m)

Nota: Cuando el ancho de banqueta es menor a setenta y cinco centímetros se despreciará el valor de esta carga. Ahora bien si la banqueta es utilizada para el paso de ciclistas o ganado el valor de esta carga será de 400 Kg/m<sup>2</sup>.

### Guarniciones.

La guarnición deberá soportar una carga lateral de 750 kg/m aplicada en la parte superior de la misma o a veinticinco centímetros de la superficie de rodamiento.

### Parapetos.

Los parapetos se diseñan para soportar una carga horizontal lateral igual a 4.50 toneladas. Si el parapeto es mayor de ochenta y cinco centímetros entonces el valor de la carga se incrementa de la siguiente manera:

$$C = 1 + ((h-8.5)/45) > 1$$

Donde:

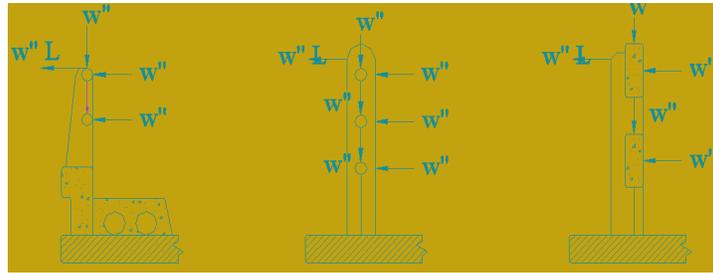
h = altura de la parte superior del parapeto sobre la superficie de rodamiento (cm).

Nota: En los parapetos de concreto de sección maciza o en las barreras de concreto, la fuerza transversal se distribuye en una longitud de 1.5 metros. (ver figura 2.9)

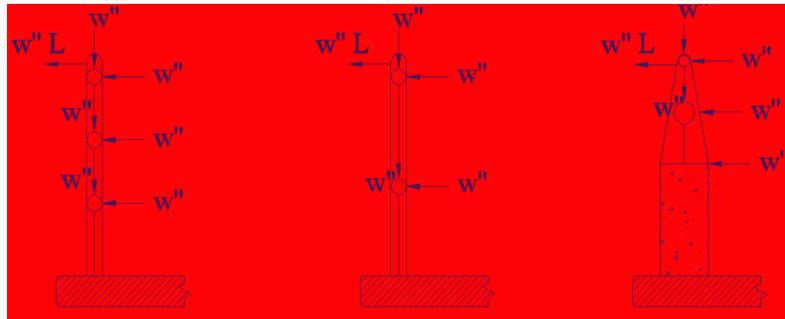


Figura 2.9. Parapetos Vehiculares

La carga debida a bicicletas o peatones será igual a 75 kilogramos por metro. Los postes se diseñarán para una carga igual a  $w'L$  ( $L$  =distancia entre postes). Esta carga aplica si solo si existiese una división entre el tránsito vehicular y el peatonal. (Ver figura 2.10)



a).-Parapetos Peatonales



b).- Parapetos para bicicletas

Figura 2.10. Parapetos peatonales y para bicicletas.

### ∨ Impacto

El impacto es el incremento en porcentaje de la carga vehicular al considerar los efectos dinámicos que produce el vehículo en el momento en que transita por la estructura.

Estos efectos se pueden deber a causas como la suspensión del vehículo, desniveles en las juntas constructivas, baches, etc. Cabe mencionar que este incremento no se aplica a las cargas en la banqueta, ni en la subestructura que no sea de acero o concreto. (Ver cuadro 12).

Cuadro 12. Impacto IMT.

<u>IMPACTO</u>	
<u>Impacto- IMT</u>	
<u>Elementos</u>	%
Elementos que integren una junta de dilatación.	75
Elementos mecánicos producidos por un solo eje (desglosado) de cualquier modelo virtual	40
Elementos mecánicos producidos por dos o tres ejes (desglosados) de cualquier modelo virtual	30
Elementos mecánicos producidos por más de tres ejes (desglosados) de cualquier modelo virtual	25
<b>Impacto - AASHTO</b>	
Para todos los elementos	$(15.24/(L/38)) \leq 30$

✓ Fuerza centrífuga

La fuerza centrífuga es una fuerza horizontal radial que actúa sobre los vehículos en estructuras alojadas en curvas horizontales. El modo de incrementar la carga considerando esta fuerza es multiplicando la carga vehicular por el siguiente factor:

$$FC = 0.0079 (s^2 / R)$$

Donde:

FC = factor de fuerza centrífuga.

s = Velocidad máxima de proyecto (Km/hr)

R = radio de curva (m)

La fuerza centrífuga se considera aplicada a 1.80 metros sobre la rasante.

### 2.3.- Cargas Eventuales

Debido a los alcances de este trabajo, no se consideraran este tipo de cargas. (Ver cuadro 13)

Cuadro 13. Impactos de las nuevas dimensiones de los vehículos en el proyecto geométrico de carreteras

<b>NATURALEZA DE CAMBIO</b>	<b>EFEECTO</b>	<b>POSIBLE IMPACTO</b>	<b>ASPECTOS POR ANALIZAR</b>
LONGITUD	a). Desplazamientos	1.- Ampliación del pavimento en curvas	Comparar los nuevos vehículos con el actual vehículo de proyecto.
		2.- Ancho del pavimento en intersecciones	
	b). Mano de rebase	1.- Incremento de la distancia de visibilidad de rebase	Comparar las distancias existentes para la maniobra de rebase con las requeridas para los nuevos vehículos.
PESO BRUTO VEHICULAR	a). Relación Peso/potencia	1.- Operación del camión en pendientes ascendentes	Comparar la longitud crítica de pendiente para el vehículo de proyecto existente con las que se requieran para los nuevos límites.
		2.- Velocidad de cruceo en tangentes a nivel	Checar velocidades de cruceo y su influencia en la capacidad.
		3.- Capacidad de aceleración en el rebase	Comparar los límites de aceleración del vehículo de proyecto actual con la capacidad de aceleración de nuevos vehículos.
	b). Frenado	1.- Distancia de visibilidad de parada	Comparar las distancias de visibilidad y analizar el impacto de las distancias de visibilidad de rebase y parada en curvas verticales.
a) ANCHO	a). Ancho de la trayectoria	1.- Incremento en el ancho del carril. 2.- Decremento de la capacidad. 3.- Seguridad	Comparación de anchos y análisis de los accidentes e investigación de la capacidad.
	b). Disturbios aerodinámicos en el vehículo	1.- Diseño geométrico	Analizar la influencia de estos impactos.
		2.- Seguridad	
c). Incremento del área de obstrucción.	1.- Visibilidad de las señales.	En camino de cuatro carriles, investigar las restricciones de visibilidad de las señales.	

Cuadro 14. Comparación de peso y dimensiones máximas permisibles en el reglamento anterior de peso y dimensiones y el actual

CONCEPTO	REGLAMENTO ANTERIOR			REGLAMENTO ACTUAL			INCREMENTO		
	CAMINO TIPO			CAMINO TIPO			CAMINO TIPO		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Eje sencillo con dos llantas	5 ton	5 ton	-	5.5 ton	5 ton	4 ton	10%	-	-
Eje sencillo con cuatro llantas	9 ton	8.65 ton	-	10 ton	9 ton	8 ton	11%	4%	-
Dos ejes sencillos en tandem con 4 llantas c/u.	14.5 ton	13.6 ton	-	18 ton	15 ton	14 ton	24%	10%	-
Tres ejes sencillo en tandem con 4 llantas	no se contempla			22.5	no se permite		-	-	-
Peso bruto vehicular máximo permitido	34 ton	31 ton	-	77.5 ton	35 ton	21 ton	128%	13%	-
longitud máxima permitida (m)	18.3	17.5	-	22	17	13.25	20%	-3%	-
Ancho máximo permitido(m)	2.50			2.50			-----		

## **CAPÍTULO 3. INSPECCIÓN DE PUENTES.**

### **3.1- 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 INSPECCIÓN 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 físico 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 entrara 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 o 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.

### 3.1.1. 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 la Dirección General de Construcción y Conservación de Obra Pública, se hacen, varios tipos de inspección con distintas finalidades:

- 1.- Para trabajos de mantenimiento normal o rutinario.
- 2.- Para evaluación estructural.
- 3.- Para permiso de tránsito de cargas especiales.
- 4.- 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 o 4 años, sin embargo, los puentes de condición dudosa o con deficiencias conocidas, se vigilan con mayor frecuencia. Por ser esta 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 petroquímica y 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.

### **3.2- Tipos de Inspección**

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

#### 3.2.1.- Inspección preliminar

A realizarse, por lo menos, una vez al año en cada puente por parte de personal local no especializado en puentes, pero si, 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 solo 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, uno "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.

### 3.2.2.- Inspección principal

A realizarse, por lo menos, una vez al año en aquellos puentes que haya 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.

### 3.2.3.- Inspección especial

Se realizará por personal altamente especializado en aquellos puentes que vayan a ser rehabilitados y tendrá por objeto el recabar los datos necesarios para la realización del proyecto ejecutivo. 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.

### **3.3- 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.

#### 3.3.1.- Medios humanos. (Saber ver)

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 ingeniería, 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 la 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 5 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 en manifiesto la gran importancia de establecer cursos de especialización para la formación de inspectores, del tipo de los establecidos en Francia y E. U.

### 3.3.2.- Medios materiales. (Poder ver)

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).

Por lo que se refiere 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:

- a) Altura de las pilas.
- b) Accesibilidad de la zona situada bajo el tablero (presencia de cursos de agua navegables o no, de otras vías de comunicación, etc.)
- c) Dimensiones del tablero (anchura total, anchura de aceras, canto máximo y mínimo, etc.)
- d) 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 antiruido, etc.)
- e) Exigencias de seguridad; consideraciones económicas; versatilidad del sistema.

- f) Restricciones al tráfico causadas por el sistema de colocado en posición de servicio.
- g) 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 tales 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 solo pueden situarse en ellas 1 o 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.

### **3.4- Equipo de Inspección.**

Para hacer la lista del equipo de una inspección es importante tener en consideración, si realmente va a ser de gran utilidad, si el costo es bajo, etc. Debe recordarse que si no se cuenta con transporte para el equipo es muy difícil transportarlo 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 o gises.
- Escaleras.
- Pasarelas.
- Canastillas.
- Tirfos.
- Poleas.
- Cables de acero de varios diámetros (5/16").
- Reatas o lasos.
- Cintas métricas y metros.
- Radios
- Cámaras fotográficas.
- Libreta de campo.
- Chalecos salvavidas.
- Grieto metros.
- Chalecos anti reflejantes.
- Nudos de acero (perros).
- Arnese.

El equipo para inspección se puede dividir en:

### 3.4.1.- 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.
- Flexómetro.
- Libreta de campo.
- Cámara (preferible 35 mm).
- Casco.
- Botas.
- Gafas.
- Chaleco salvavidas.
- Chaleco anti reflejante.

### 3.4.2.- Equipo para señalamiento

Debe utilizarse y es muy apropiado cuando se inspeccionan las calzadas:

- Conos de plástico.
- Triángulos.
- Chalecos anti reflejantes.
- Señales de seguridad.

### 3.4.3.- 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:

- Transito o teodolito.
- Nivel de mano.
- Estadales.
- Cintas métricas.
- Balizas.
- Libreta de transito.

### **3.5- 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 armado, 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.
4. En puentes de concreto presforzado:
  - Diafragmas.
  - Nervaduras.
  - Losa.
  - Anclajes.
  - Flechas.
5. 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.
6. Estudio del cauce:
  - Efectos de socavación.
  - Encauzamiento.
  - Obstrucción.
7. Subestructura:

- Socavación.
  - Destrucción por impacto.
  - Hundimientos.
  - Desplomes.
8. Agrietamientos.
  9. Revisión de accesos y conos de derrame.
  10. Drenaje de la superestructura y la subestructura.
  11. Vialidad y señalamiento.
  12. 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.

### 3.5.1.- 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 perdidas de sección por corrosión.

Para las trabes de concreto, en caso de existir grietas, deben observarse por un tiempo para determinar si son activas y con la ayuda de un grieto metro medirlas. Debe

tomarse en cuenta si han sido tratadas con inyecciones de resina epóxicas. Igual atención requieren las áreas que sufren desintegración de concreto y la existencia de las vibraciones o deflexiones excesivas.

En los elementos pretensados, como trabes 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 checar 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.

#### 3.5.2.- 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 estas 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 más intemperizados y necesitan limpieza continua para asegurar su funcionalidad.

### 3.5.3.- Cimentación

Normalmente la inaccesibilidad de la cimentación hace que las posibles fallas tengan que ser detectadas indirectamente en forma de movimientos excesivos, fisuración, etc., 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.

#### 3.5.4.- 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.

### **3.6- Entrega de Reportes**

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 México se carece de una tradición en la inspección sistemática de los puentes y no existen documentos tales como los manuales AAHSTO, etc. lo que llevo a adoptar una estructura de reporte que pretendía alcanzar los siguientes objetivos:

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

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

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.

### 3.6.1.- Reporte de la inspección

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.

Existe un 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.

### 3.6.2.- 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 mas detallado posible los daños de la estructura, con el fin de esbozar el estado del puente.

### 3.6.3.- 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 cálculo del proyecto de rehabilitación.

El reporte de fallas, al igual que el reporte fotográfico, viene a ser 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 resquebrajamientos, desconchamientos, caídos, etc.

## **CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DE PUENTES.**

### **4.1- 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 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.

#### **4.2- 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.

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.

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.

C.- Los que solo presenten deficiencias menores con evolución lenta y únicamente requieren de trabajos rutinarios de conservación.

#### 4.2.1.- 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 solo 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.

#### 4.2.2.- 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 cuales 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

puede; 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 más o menos exacta y que sin embargo es imprescindible realizar para que la toma de decisión este 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 número 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 tomara 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 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. 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.

#### **4.3- 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, cuáles 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.
- 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.

#### 4.3.1.- Criterios de priorización

Cabe señalar la importancia de la necesidad de modernizar todos los puentes ubicados en los 12,000 Km. 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 criterio de priorización propuesto está basado en los trabajos desarrollados por la Federal Highway Administration y algunos departamentos de transporte en los Estados Unidos, solo que adecuado a las necesidades de los puentes en México.

El sistema de priorización de puentes considera, no solo 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 valorar 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. (Ver cuadro 15)

Cuadro 15. Clasificaciones de las condiciones de los puentes según la SCT.

CLASIFICACIÓN GLOBAL SEGÚN "SCT"	NIVEL	DESCRIPCION
"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

#### 4.3.2.-Manual para la Evaluación y Registro de Puentes Vehiculares de claro corto.

El registro de las condiciones en las que se encuentra el estado actual del puente lo elaboran los inspectores, ingenieros expertos con título, llenando el correspondiente formato y dibujan croquis o toman fotografías de los aspectos que le interese reflejar.

La idea del formular los registros de inspección es tener a la mano la mayor información posible para evaluar sus condiciones de servicio.

El cuadro 16 (hoja 1 de 3), el cuadro 17 (hoja 2 de 3), y el cuadro 18 (hoja 3 de 3) que se presentan a continuación, son la propuesta de registros de inspección que deben ser llenados por los inspectores.

Para su comprensión y llenado se ha desarrollado una manual de procedimientos que se explica ampliamente en el inciso 4.4

Tipo de Obra		Estado		Municipio	
Carretera o camino		Cruce / Vía pluvial			
Ubicación	Desde	Fecha de Inspección	Inspeccionado por		
_____ Km	_____	_____	_____		
Tipo Estructural	No. de Tramos	Claro Total (m)	Claros Parciales (m)		
_____	_____	_____	_____		
No. de carriles	Gálibo Vertical (m)	Gálibo horizontal (m)			
_____	_____	_____			
<b>SUPERESTRUCTURA</b>		0 Recientemente construido o reparado, sin problemas. 1 En buen estado, no requieren atención. 2 Con problemas menores, plazo de atención indefinido. 3 Daño significativo, reparación necesaria en un plazo de 3 a 5 años. 4 Daño grave, reparación necesaria en un plazo de 1 a 2 años. 5 Daño extremo o riesgo de falla total. Requiere reparación inmediata o al año siguiente.			
<b>CALZADA</b>		ANCHO _____ m		<b>VIGAS</b>	
<b>TABLERO</b>	ESTADO	<b>AREA DE RODAMIENTO</b>	ESTADO	<b>LONGITUDINALES</b>	ESTADO
				Cantidad: _____ cada tramo	ESTADO
<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Losetas - Viguetas <input type="checkbox"/> Acero <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro: _____		<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Asfalto <input type="checkbox"/> Adoquin o piedra <input type="checkbox"/> Tierra <input type="checkbox"/> Otro: _____		<input type="checkbox"/> Concreto Armado <input type="checkbox"/> Concreto Pretensado <input type="checkbox"/> Acero Estructural <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro: _____	
Observaciones:		Observaciones:			
<b>APOYOS</b>		<b>JUNTAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES</b>		<b>BARANDALES VEHICULARES Y PEATONALES</b>	
Longitud: _____ m		ESTADO		ESTADO	
<input type="checkbox"/> Neopreno <input type="checkbox"/> Acero <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Feltro o Cartón asfaltado <input type="checkbox"/> Otro: _____		<input type="checkbox"/> Longitudinales <input type="checkbox"/> Transversales en tramos <input type="checkbox"/> Transversales en accesos <input type="checkbox"/> Otro: _____		<input type="checkbox"/> Vehic. Concreto armado <input type="checkbox"/> Vehicular Metálico <input type="checkbox"/> Peat. Concreto armado <input type="checkbox"/> Peatonal Metálico	
Observaciones:		Observaciones:		Observaciones:	
<b>GUARNICIÓN</b>		<b>BANQUETAS</b>		<b>DRENAJE</b>	
Ancho _____ m		Ancho _____ m		ESTADO	
<input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Acero <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro: _____		<input type="checkbox"/> Concreto armado <input type="checkbox"/> Acero <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otro: _____		<input type="checkbox"/> Ø _____ cm <input type="checkbox"/> Sep _____ m <input type="checkbox"/> P.V.C. <input type="checkbox"/> Acero galvanizado <input type="checkbox"/> Saliente Inferior	Si No
Observaciones:		Observaciones:		Observaciones:	

<b>SUBESTRUCTURA</b>						0 Recientemente construido o reparado, sin problemas. 1 En buen estado, no requieren atención. 2 Con problemas menores, plazo de atención indefinido. 3 Daño significativo, reparación necesaria en un plazo de 3 a 5 años. 4 Daño grave, reparación necesaria en un plazo de 1 a 2 años. 5 Daño extremo o riesgo de falla total. Requiere reparación inmediata o al año siguiente.							
ESTRIBOS		ESTADO	PILARES		ESTADO	MUROS DE CONTENCIÓN		ESTADO	PROTECCION TALUDES		ESTADO		
<input type="checkbox"/> Mampostería	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Mampostería	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Mampostería	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Mampostería	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> Concreto armado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Concreto armado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Concreto armado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Concreto armado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> Acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> Madera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Madera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Madera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Madera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> Otro:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Otro:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Otro:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Otro:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Observaciones:			Observaciones:			Observaciones:			Observaciones:				
ACCESOS						ESTADO	INSTALACIONES						ESTADO
LOSAS DE APROXIMACION						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Eléctrica <input type="checkbox"/> Sanitaria <input type="checkbox"/> Alumbrado <input type="checkbox"/> Fibra óptica <input type="checkbox"/> Otros:						<input type="checkbox"/>
Largo _____ m			Ancho _____ m			<input type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>
Observaciones:						<input type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>
INFORMACIÓN DE DETALLE:													
					Si No NI	¿Dónde?	NI: No Inspeccionado						
Asentamientos y/o deformaciones excesivas					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
Grietas y/o fisuras					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
Armadura a la vista					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
Tipo de cimentación directa (Bases - Zapatas)					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
Tipo de cimentación indirecta (Pilotes - Pozos)					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
Socavación en cimentación					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
Erosión en terraplenes de acceso					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
Requiere limpieza de cauce					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
Observaciones:													

NECESITA ACCIONES URGENTES? Si  No   
 (En caso afirmativo, deberá notificarse de inmediato a la dependencia municipal, estatal o federal correspondiente.)

Clausura  
 Limitación de carga  
 Apuntalamiento / refuerzo  
 Señalización  
 Otras \_\_\_\_\_

TAREAS DE ACTUALIZACIÓN:  
 Incremento de la sección hidráulica  
 Ampliación de calzada  
 Construcción o ampliación de veredas  
 Otras \_\_\_\_\_

TAREAS DE MANTENIMIENTO RUTINARIO:

TAREA:	Cantidad ó Porcentaje:	
Pintura de barandal peatonal _____	<input type="text"/> m	<input type="text"/> %
Pintura de barandal vehicular _____	<input type="text"/> m	<input type="text"/> %
Colocación / reparación / reemplazo de barandal peatonal _____	<input type="text"/> m	<input type="text"/> %
Colocación / reparación / reemplazo de barandal vehicular _____	<input type="text"/> m	<input type="text"/> %
Desobstrucción de desagües _____	<input type="text"/> No.	<input type="text"/> %
Colocación / prolongación de desagües _____	<input type="text"/> No.	<input type="text"/> %
Colocación / reemplazo de perfil en juntas _____	<input type="text"/> m	<input type="text"/> %
Colocación / reemplazo de neopreno en juntas _____	<input type="text"/> m	<input type="text"/> %
Colocación / reparación de juntas de asfalto modificado _____	<input type="text"/> m	<input type="text"/> %
Limpieza de calzada, cunetas y/o banquetas _____	<input type="text"/> m <sup>2</sup>	<input type="text"/> %
Sellado de fisuras en carpeta asfáltica _____	<input type="text"/> m	
Fresado y reconstrucción de carpeta de rodamiento _____	<input type="text"/> m <sup>2</sup>	<input type="text"/> %
Sellado de fisuras en concreto _____	<input type="text"/> m	
Recalce de losa de acceso con arena - cemento _____	<input type="text"/> m <sup>2</sup>	<input type="text"/> %
Construcción / reemplazo de losa de acceso _____	<input type="text"/> m <sup>2</sup>	<input type="text"/> %
Construcción / reemplazo de muros de contención _____	<input type="text"/> m	
Arenado de armadura expuesta y reconstrucción del recubrimiento _____	<input type="text"/> m <sup>2</sup>	<input type="text"/> %
Reemplazo de apoyos de neopreno _____	<input type="text"/> No.	<input type="text"/> %
Construcción / reparación de canaleta escalera _____	<input type="text"/> m	<input type="text"/> %
Construcción / reparación de revestimiento de taludes _____	<input type="text"/> m <sup>2</sup>	
Canalización / limpieza de cauce _____	<input type="text"/> m <sup>3</sup>	
Relleno / reconformación de taludes erosionados _____	<input type="text"/> m <sup>3</sup>	
Otras: _____	<input type="text"/>	<input type="text"/> %
_____	<input type="text"/>	<input type="text"/> %

TIPO DE TAREAS NECESARIAS PARA LLEVAR AL PUENTE A SU ESTADO ÓPTIMO:  
 Reemplazo inmediato  
 Reemplazo a mediano plazo  
 Actualización  
 Rehabilitación ( Reconstrucción parcial o refuerzos )  
 Mantenimiento rutinario  
 Inspección rutinaria  
 No puede determinarlo

TAREAS DE REHABILITACIÓN ( RECONSTRUCCIÓN PARCIAL Ó REFUERZOS ) EN:  
 Superestructura  
 Estribos  
 Pilares  
 Defensa contra socavación  
 Otras \_\_\_\_\_

¿Requiere la inspección de un especialista? ( Dependencia municipal, estatal o federal correspondiente )  
 Si  No

A informar por el supervisor correspondiente:  
 ¿Ese Municipio está en condiciones de realizar las tareas de conservación indicadas?  
 Si  No

En caso afirmativo, estimaría un plazo:  
 Inferior a 1 año  
 1 a 2 años  
 Mayor de 2 años

Observaciones: \_\_\_\_\_

#### **4.4.-Manual de procedimientos.**

##### **Tipo de obra.**

En este campo se indicará el tipo de obra para lo cual las opciones posibles son:

Puente carretero

Puente urbano

Puente peatonal

Puente ferroviario

Alcantarilla

##### **Estado.**

En este campo se indicará la Entidad Federativa el que se encuentra ubicado el Puente, dentro de la República Mexicana.

##### **Municipio.**

En este campo se indicará el municipio o localidad al cual pertenece la obra. Si la misma se encuentra en el límite de dos zonas se consignarán ambas.

##### **Carretera o Camino.**

En este campo además de nombrar el número de carretera o camino se recomienda hacer la descripción del tramo por ejemplo carretera 45 tramo León-Silao km.18. Si es urbano se indicará el nombre de la avenida, boulevard o calle.

##### **Cruce o Vía Pluvial.**

Se deberá indicar el nombre del obstáculo que pasa por debajo del puente, el que podrá ser entre otros por ejemplo arroyo, río, cañada, otra vialidad, con su nombre, número o nomenclatura.

##### **Ubicación y desde.**

En este campo se debe indicar la distancia desde una población u otro punto de referencia hasta el puente, como, puede ser 2 Km. desde Silao o 5 Km. Desde la 45.

Si es puente urbano indicar la distancia desde la avenida principal más próxima o la distancia desde la calle más cercana.

### **Fecha de inspección.**

Es necesario anotar la fecha de la visita.

### **Inspeccionado por.**

En este campo se señalará el nombre y apellidos del inspector.

### **Tipo Estructural.**

En este campo se indicará el tipo estructural correspondiente al puente inspeccionado según lo especificado en el punto 1.3 “Algunas Clasificaciones”.

### **Número de tramos.**

En este campo se indicará el número de claros libres que existen en el puente.

### **Claro Total.**

Indicar la longitud total del tablero. Cuando existan losas de acceso, esta longitud se medirá entre los ejes de las juntas que separan los tableros. (Ver figura 1.6).

### **Claros Parciales.**

Se indicarán las longitudes de cada tramo, medidas entre ejes de columnas o entre eje columna y fin de tablero. En tramos simplemente apoyados, los ejes de las columnas coinciden con los ejes de las juntas transversales. Cuando existan losas de acceso se tomará como fin de tablero el eje de la junta con esta última.

Si los tramos son todos de igual longitud, bastará con indicar este valor. Si son diferentes, se indicará la secuencia (ejemplo, 10.00, 16.00, 20.00, 12.00 mts.) (Ver figura 1.6).

**No. de carriles.**

En este campo indicar cuantos carriles son utilizados en el puente, para posteriormente conocer si cumple el ancho de la calzada.

**Galibo Vertical.**

Cuando se trate de un puente o de una estructura que tenga por objeto cruzar una carretera o una vía férrea, el gálibo vertical, es el espacio libre vertical definido por la distancia mínima vertical entre el intradós o cara inferior de la superestructura y cualquier punto de la superficie de la calzada y de sus acotamientos, medida en la parte más baja.

(Ver 1.3.2.).

**Gálibo Horizontal**

Cuando se trate de un puente o de una estructura que tenga por objeto cruzar una carretera o una vía férrea, el gálibo horizontal es el espacio libre horizontal definido por la distancia entre los paramentos de los estribos, entre los paramentos de un estribo y una pila, entre los paramentos de dos pilas o columnas contiguas, entre los ceros de los conos de derrame o entre los ceros de un cono derrame y el paramento de una pila, medida normalmente al eje del cuerpo de agua, la carretera o vía férrea que se cruce.

(Ver 1.3.2.).

**Superestructura.**

En este campo se define el estado en que se encuentra el elemento constructivo a inspeccionar. Se valora del 0 cero al 5 cinco y se propone un número de acuerdo a la evaluación y experiencia del inspector.

### **Calzada.**

Cuando la estructura dé servicio al tránsito de vehículos automotores, peatones y/o bicicletas, su ancho de calzada corresponderá al espacio libre entre las partes inferiores de las guarniciones o banquetas, medido normalmente al eje longitudinal de la estructura. Si no existen guarniciones o banquetas, el ancho libre será la distancia mínima entre las caras interiores de los parapetos de la estructura. (Para cumplir con los anchos mínimos ver págs. 17 y 18).

### **Tablero.**

En este campo la losa del tablero es la estructura que soporta en forma directa las cargas de tránsito y la carpeta de rodamiento, transmitiéndolas a las vigas de tablero (en los puentes-vigas) o directamente a los pilares y estribos (en los puentes losas y alcantarillas).

Cuando se realiza la inspección se deberá definir en primer lugar el material del tablero. En caso de que el material no se encuentre dentro de los indicados se deberá aclarar en observaciones las características del mismo. Definido lo anterior se propone realizar una valoración cualitativa del estado de conservación del tablero considerando las 6 (seis) posibles clasificaciones definidas en la hoja de la evaluación. Adicionalmente en las observaciones podemos considerar tres estados que se definen a continuación.

Bueno: Elemento estructural libre de corrosión, deformaciones, fisuras, o descascaramientos importantes. En concreto armado, no se aprecian fisuras, o bien son escasas y de tamaño capilar, la superficie afectada por descascaramientos y armado a la vista no supera el 1% del total. No requiere intervención o requiere una intervención mínima.

Regular: En concreto armado, se aprecian fisuras de más de 0.5 mm. De espesor no comprendidas en el punto siguiente. Requiere sellado de fisuras o reparación del recubrimiento de la armadura en una superficie entre el 1% y el 10% del total. En acero, requiere arenado y pintado.

Malo: Cuando se presenta una de las siguientes condiciones:

-se observa al menos una fisura de más de 1 mm. De espesor y que atraviesa totalmente o en su mayoría algún elemento estructural.

-requiere la reparación del recubrimiento del armado en una superficie mayor del 10% del total.

-presenta deformaciones que afectan al tránsito o peligro para su estabilidad, siendo necesaria una intervención importante o su reconstrucción o sustitución.

### **Área de Rodamiento.**

Cuando se realiza la inspección se deberá definir en primer lugar el material del tablero. En caso de que el material no se encuentre dentro de los indicados se deberá aclarar en observaciones las características del mismo. Definido lo anterior se propone realizar una valoración cualitativa del estado de conservación del tablero considerando las 6 (seis) posibles clasificaciones definidas en la hoja de la evaluación. Una vez definido el material la valoración del estado se puede complementar aplicado el siguiente criterio.

Bueno: Cuando la carpeta se encuentra libre de deformaciones, fisuras excesivas, o desprendimientos importantes y posee pendientes adecuadas. No requiere intervención o requiere una intervención mínima.

Regular: Requiere sellado de fisuras en mayor cantidad, o bacheo o reconstrucción de hasta el 10% de su superficie.

Malo: Requiere fresado y reconstrucción del 10% al 100% de su superficie.

### **Vigas Longitudinales.**

Cuando se realiza la inspección de puentes con vigas se deberán determinar la cantidad de vigas longitudinales que existen por tramo, el material de fabricación y luego

realizar la valoración cualitativa de su estado. Los criterios para su valoración son los mismos que los indicados para el tablero.

### **Vigas Transversales.**

En este campo es necesario en primer lugar determinar la cantidad de vigas transversales para colocar en reporte el número solicitado L/... Para evitar confusiones en el conteo de las vigas extremas (las que se encuentran en correspondencia con los apoyos, y que pueden o no ser dobles), estas no se consideran. Si el puente no tiene vigas de arriostramiento intermedias, se consignará "L/1". Si tiene una sola viga intermedia se consignará "L/2", (usualmente ubicada a la mitad del tramo). Si tiene dos vigas intermedias (usualmente ubicadas en los tercios del tramo) se consignará L/3 etc.

Definido lo anterior se determina el material dentro de los propuestos. En el caso de seleccionar otros, indicar en observaciones las características del mismo. Para realizar la valoración cualitativa de estado, se seguirán los mismos criterios establecidos para el tablero.

### **Apoyos.**

Ubicados entre las pilas y estribos transmiten las cargas de la superestructura a la infraestructura y permiten los movimientos de la superestructura.

Cuando se realiza la inspección se deberá definir en primer lugar el material del apoyo para lo cual la planilla de inspección hace algunas propuestas. En el caso particular de unión monolítica, como por ejemplo en algunos puentes losas, se deberá incluir en el campo como otro. La valoración del estado se deberá realizar, además de los seis principales, siguiendo el criterio que se indica a continuación:

Bueno: Cuando los apoyos se encuentran libres de deformaciones, principalmente si son de neopreno, o desplazamientos horizontales excesivos. No requiere de intervención.

Regular: Se encuentran deformados o desplazados, aunque no afecten por el momento la estabilidad ni la funcionalidad del puente. Requiere observar periódicamente su evolución o realizar una intervención mínima.

Malo: Requieren su reemplazo por estar en malas condiciones, estén rotos o falten de sus respectivos lugares.

### **Juntas Longitudinales y Transversales.**

En estas se requiere:

- Conducir el agua, para evitar que las filtraciones ataquen elementos estructurales.
- Funcionalidad vial: no deben producir golpeteos ni ruidos bajo la acción del tránsito.
- Movilidad: para que sean efectivas deben permitir la expansión y la retracción en un recorrido suficiente, manteniendo las condiciones anteriores. No deben cerrarse totalmente, ya que transmitirán a la estructura esfuerzos no previstos.

En las juntas típicas debe verificarse el estado de los perfiles ángulo que se usan de guarnición y su anclaje a la losa, y la presencia de empaques de sellado.

Las longitudinales son a todo lo largo del puente y las transversales a lo ancho del puente.

La base de datos o carátula se complementará definiendo en primer lugar las características de la o de las juntas observadas detallándose el material constructivo de las mismas para las cuales se definirá el estado según la siguiente valoración:

Bueno: Las juntas requieren una intervención mínima o no requieren intervención.

Regular: Cuando se aprecien fisuras, discontinuidades, roturas o falta de empaques de sellado entre un 10% y el 50% de la longitud de las mismas, requiriendo el reemplazo de tales sectores.

Malo: Cuando se aprecien fisuras, discontinuidades, roturas o falta de cinta para sellado en más de 50% del total, se observen filtraciones en la parte inferior del puente, haya o no juntas a la vista, pero se refleje una fisura en la carpeta. Requiere el reemplazo de los sectores dañados o de la construcción de las juntas faltantes.

### **Barandales Vehiculares y Peatonales.**

Todos los puentes en caminos pavimentados, deberán contar con protecciones vehiculares (los que se llaman parapetos.) (Ver págs. 23, 67 y 68).

En los puentes que no cuenten con parapeto vehicular o peatonal o este no sea del tipo especificado, se indicará “colocación o reemplazo de parapeto vehicular o peatonal” en un 100%.

Se definirán en primer lugar las características del parapeto observado, del cero al seis (0 al 6) según carátula y en las observaciones se establecerá el estado según la siguiente valoración:

Bueno: Los barandales requieren una intervención mínima o no requieren intervención.

Regular: Cuando se aprecien fisuras o grietas en el concreto, roturas o faltantes de postes, dobleces o golpes en los de acero, entre un 10% y el 50% de la longitud de los mismos.

Malo: Cuando se aprecien fisuras o grietas en el concreto, roturas o faltantes de postes, dobleces o golpes en los de acero, en más del 50% de la longitud de los mismos.

## **Guarnición.**

Se definirá en primer el lugar el ancho de la guarnición, luego se especificará el material constructivo, para lo cual en caso de que el material observado no se encuentre dentro de ellos se deberá aclarar las características del mismo.

Definido lo anterior se propone realizar la valoración cualitativa del estado de conservación de la guarnición según lo que se indica a continuación:

Bueno: Elemento libre de deformaciones, fisuras excesivas, o descascaramientos importantes. No requiere una intervención mínima.

Regular: Requiere sellado de fisuras o reparación en su superficie entre un 10% y el 50% de la misma.

Malo: Requiere sellado de fisuras o reparación en su superficie en más del 50% de la misma, presenta deformaciones excesivas, requiriendo una intervención importante o su reconstrucción.

## **Banquetas.**

Se definirá en primer lugar el ancho de banqueteta y en observaciones la cantidad de ellas, luego se especificará el material constructivo, para lo cual en caso de que el material observado no se encuentre dentro de ellos se deberán aclarar las características del mismo.

Definido lo anterior se propone realizar la valoración cualitativa del estado de conservación de las banquetetas según lo que se indica a continuación:

Bueno: Elemento libre de deformaciones, fisuras excesivas, o descascaramientos importantes. No requiere una intervención mínima.

Regular: Requiere sellado de fisuras o reparación en su superficie entre un 10% y el 50% de la misma.

Malo: Requiere sellado de fisuras o reparación en su superficie en más del 50% de la misma, presenta deformaciones excesivas, requiriendo una intervención importante o su reconstrucción.

### **Drenajes.**

En este campo se determinará el diámetro y la separación de las bajadas de agua. También se indicará el material de que están hechas y si posee saliente inferior acorde o lo permitido por especificaciones. (Ver pág. 18)

Definido lo anterior se propone realizar la valoración cualitativa del estado de conservación de los drenajes según lo que se indica a continuación:

Bueno: Los drenajes no requieren una intervención mínima.

Regular: Requiere limpieza para desaguar.

Malo: Requiere colocación, reemplazo o prolongación, dado que la separación, el diámetro, el material o la saliente mínima no corresponde con lo indicado.

### **Estribos.**

Estructura ubicada en cada extremo de un puente. Sostiene parte de la superestructura. Puede ser cerrado (actúa como contención frontal del terraplén) o abierto (deja caer el terraplén con su talud natural).

En este campo se determinará el material de construcción, dentro de los propuestos. En el caso de seleccionar otros indicar en las observaciones las características del mismo. Para realizar la valoración cualitativa del estado, se seguirán los criterios según lo que se indica a continuación:

Bueno: Elemento estructural libre de corrosión, deformaciones, fisuras, o descascaramientos importantes. En concreto armado, no se aprecian fisuras, o bien son escasas y de tamaño capilar, la superficie afectada por descascaramientos y armado a la vista no supera el 1% del total. No requiere intervención o requiere una intervención mínima.

Regular: En concreto armado, se aprecian fisuras de más de 0.5 mm. de espesor no comprendidas en el punto siguiente. Requiere sellado de fisuras o reparación del recubrimiento de la armadura en una superficie entre el 1% y el 10% del total. En acero, requiere arenado y pintado.

Malo: Cuando se presenta una de las siguientes condiciones:

-se observa al menos una fisura de más de 1 mm. De espesor y que atraviesa totalmente o en su mayoría algún elemento estructural.

-requiere la reparación del recubrimiento del armado en una superficie mayor del 10% del total.

-presenta deformaciones que afectan al tránsito o peligro para su estabilidad, siendo necesaria una intervención importante o su reconstrucción o sustitución.

-presenta socavación en cimentación que afectan la estabilidad de la estructura, siendo necesaria una intervención importante o su reconstrucción.

### **Columnas o Pilares.**

Elementos estructurales ubicados entre los estribos, que junto con estos sostienen la superestructura.

En este campo se determinará el material de construcción, dentro de los propuestos. En el caso de seleccionar otros indicar en las observaciones las características

del mismo. Para realizar la valoración cualitativa del estado, se seguirán los criterios según lo que se indica a continuación:

Bueno: Elemento estructural libre de corrosión, deformaciones, fisuras, o descascamientos importantes. En concreto armado, no se aprecian fisuras, o bien son escasas y de tamaño capilar, la superficie afectada por descascamientos y armado a la vista no supera el 1% del total. No requiere intervención o requiere una intervención mínima.

Regular: En concreto armado, se aprecian fisuras de más de 0.5 mm. de espesor no comprendidas en el punto siguiente. Requiere sellado de fisuras o reparación del recubrimiento de la armadura en una superficie entre el 1% y el 10% del total. En acero, requiere arenado y pintado.

Malo: Cuando se presenta una de las siguientes condiciones:

-se observa al menos una fisura de más de 1 mm. De espesor y que atraviesa totalmente o en su mayoría algún elemento estructural.

-requiere la reparación del recubrimiento del armado en una superficie mayor del 10% del total.

-presenta deformaciones que afectan al tránsito o peligro para su estabilidad, siendo necesaria una intervención importante o su reconstrucción o sustitución.

-presenta socavación en cimentación que afectan la estabilidad de la estructura, siendo necesaria una intervención importante o su reconstrucción.

### **Muros de contención.**

Elementos estructurales que se unen a los estribos, que sirven de soporte lateral de la tierra.

En este campo se determinará el material de construcción, dentro de los propuestos. En el caso de seleccionar otros indicar en las observaciones las características del mismo. Para realizar la valoración cualitativa del estado, se seguirán los criterios según lo que se indica a continuación:

Bueno: Elemento estructural libre de corrosión, deformaciones, fisuras, o descascaramientos importantes. En concreto armado, no se aprecian fisuras, o bien son escasas y de tamaño capilar, la superficie afectada por descascaramientos y armado a la vista no supera el 1% del total. No requiere intervención o requiere una intervención mínima.

Regular: En concreto armado, se aprecian fisuras de más de 0.5 mm. de espesor no comprendidas en el punto siguiente. Requiere sellado de fisuras o reparación del recubrimiento de la armadura en una superficie entre el 1% y el 10% del total. En acero, requiere arenado y pintado.

Malo: Cuando se presenta una de las siguientes condiciones:

-se observa al menos una fisura de más de 1 mm. De espesor y que atraviesa totalmente o en su mayoría algún elemento estructural.

-requiere la reparación del recubrimiento del armado en una superficie mayor del 10% del total.

-presenta deformaciones que afectan al tránsito o peligro para su estabilidad, siendo necesaria una intervención importante o su reconstrucción o sustitución.

-presenta socavación en cimentación que afectan la estabilidad de la estructura, siendo necesaria una intervención importante o su reconstrucción.

## **Protección de taludes.**

De constitución variable, evitan la socavación de la tierra.

En este campo se determinará el material de construcción, dentro de los propuestos. En el caso de seleccionar otros indicar en las observaciones las características del mismo. Para realizar la valoración cualitativa del estado, se seguirán los criterios según lo que se indica a continuación:

Bueno: Los taludes no requieren intervención o requieren intervención mínima.

Regular: Se observan deformaciones, aunque no afectan por el momento la estabilidad ni la funcionalidad del revestimiento. Requieren observar periódicamente su evolución o realizar una intervención mínima.

Malo: Requieren construcción o reemplazo del revestimiento, dado que se observan rotura o desprendimiento del mismo, con la consecuente evolución del proceso erosivo. Se producen cortes o zanjas en los taludes por escurrimiento del agua superficial de la calzada y losas de acceso del puente.

## **Losas de acceso o de aproximación.**

En este campo se anota la longitud o el largo de la losa en metros, así como, el ancho de la misma en metros.

Para realizar la valoración cualitativa del estado, se seguirán los criterios según lo que se indica a continuación:

Bueno: Elemento estructural libre de corrosión, deformaciones, fisuras, o descascaramientos importantes. En concreto armado, no se aprecian fisuras, o bien son escasas y de tamaño capilar, la superficie afectada por descascaramientos y armado a la

vista no supera el 1% del total. No requiere intervención o requiere una intervención mínima.

Regular: En concreto armado, se aprecian fisuras de más de 0.5 mm. De espesor no comprendidas en el punto siguiente. Requiere sellado de fisuras o reparación del recubrimiento de la armadura en una superficie entre el 1% y el 10% del total. En acero, requiere arenado y pintado.

Malo: Cuando se presenta una de las siguientes condiciones:

-se observa al menos una fisura de más de 1 mm. De espesor y que atraviesa totalmente o en su mayoría algún elemento estructural.

-requiere la reparación del recubrimiento del armado en una superficie mayor del 10% del total.

-presenta deformaciones que afectan al tránsito o peligro para su estabilidad, siendo necesaria una intervención importante o su reconstrucción o sustitución.

### **Instalaciones.**

En este campo se anotan si los elementos sirven para alojar instalaciones tales como postes de alumbrado; ductos para agua, cables de electricidad, teléfono, gas o drenaje; así como postes para cables de trolebús y tranvías en zonas urbanas, entre otros. Se prohibirá la colocación sobre una estructura de instalaciones no incluidas en el proyecto a menos que se otorgue el permiso correspondiente después de revisar el proyecto estructural.

## **CAPÍTULO 5. MANTENIMIENTO, REPARACIONES, REFORZAMIENTO Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE PUENTES.**

### **5.1- Definición de Mantenimiento.**

Una vez que se ha llevado a cabo todo el trabajo de inspección, el siguiente paso es el establecimiento de un programa 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 solo 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.

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 que obligan a reforzar, reparar o rehabilitar 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 (aumento de las cargas y velocidades de circulación).
- 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 de 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.

Si se quiere conseguir una reparación o refuerzo que sea eficaz y duradero es imprescindible tener un diagnóstico que debe ser acertado y completo, no es suficiente conocer las deficiencias del puente, sino que es necesario: saber cómo, cuándo y por qué se han producido, y que únicamente así se tendrá la garantía de que se va a dar el tratamiento más adecuado.

## **5.2- 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 se tratará de sintetizar esos problemas que se llamarán Patrones de Falla y las soluciones que se presentan con más frecuencia.

### 5.2.1 Patrón de Falla 1. Presencia de agua. (Ver figura 5.1)

#### a) Problemas.-

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 mortero, ó por jugar un papel predominante en otros fenómenos: reacción ácido-álcali.

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, disminuyendo su resistencia al perder sección transversal.

Los desperfectos originados en las zonas de apoyo y juntas por la humedad que permanentemente se presentan en tales zonas.

Los tubos de descarga de pequeño diámetro, tubos largos de descarga, trayectorias horizontales con pendiente inadecuada y cambios bruscos de dirección, conducen al atascamiento de materiales.

b) Corrección.-

El mantenimiento de los desagües del tablero es importante.

La calzada y banquetas se mantendrán libres de acumulación de tierra, suciedad y malezas, ya que éstas retienen humedad y facilitan su filtración.

Se evitará toda acumulación posible de agua sobre la calzada y banquetas, por ello, deberán contar con adecuada pendiente y desagües, los cuales deben mantenerse permanentemente libres de lodo y otras obstrucciones, además de ser de buen diámetro.

c) Prevención.-

Deben realizarse inspecciones regulares y frecuentes y limpieza para prevenir la acumulación de basura y desechos. Para prevenir corrosión en el acero estructural y Pilas pueden aplicarse capas protectoras. Los taludes en los estribos pueden protegerse pavimentándolos o construyendo líneas de cunetas.

Para la prevención del atascamiento de sistemas de tubos es que deben diseñarse de modo que sean de rápido acceso para que pueda proveerse de limpieza adecuada. Los tubos deben ser mayores de 4" de diámetro. 4 mm. de espesor mínimo y que no sean de PVC.



Figura 5.1 Patrón de Falla 1. Presencia de agua.

### 5.2.2 Patrón de Falla 2. Corrosión. (Ver figura 5.2)

#### a) Problemas.-

La oxidación en mayor o menor grado del acero de refuerzo activo 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 fallos en la inyección de las grietas. Perdidas de recubrimiento, oxidación de acero de refuerzo, grietas y fisuras generalizadas en todos los elementos del puente, mas a menudo en el tablero y las zonas próximas a las juntas y los drenes.

Mal funcionamiento de los drenes del tablero, juntas no selladas y muy deterioradas, muchas veces inexistentes.

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

- Concreto con alta permeabilidad y/o elevada porosidad.
- Recubrimiento insuficiente del acero de refuerzo.
- Mala ejecución, concreto mal vibrado, concreto mal curado.
- Corrosión en vigas de acero, principalmente el patín superior embebido en el concreto.
- Corrosión en los torones postensados no adheridos, reduce la sección transversal y da como resultado un nivel de mayor esfuerzo en el torón.

Las trabes cajón desarrollan deterioro no detectado en la losa inferior debido a la filtración de agua y cloruros a través de la losa superior que no pueden ser drenados.

#### b) Corrección.-

Las acciones que se llevan a cabo mas frecuentemente son:

Reforzamiento de elementos que han tenido pérdidas del área de su sección transversal.

Reemplazo de Elementos de acero estructural, pernos de anclaje, diagonales, placas, montantes, cuerdas, que han tenido pérdidas del área de su sección transversal.

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.

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

Limpiar el óxido del acero de refuerzo descubierto y sustituirlo en el caso de que tuvieran una corrosión importante.

El uso de refuerzo externo postensado es un método excelente para reemplazar torones postensados dañados, además que incrementa la resistencia a la flexión.

#### c) Prevención.-

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

Extender una capa de impermeabilización 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 anti-humedad y anti-carbonatación transparente o de color, previa limpieza con chorro de arena. (Sandblast en inglés).

Para elementos de acero estructural, como vigas y armaduras, cubrirlos con una buena pintura epóxica, y darle su limpieza periódica.

Los aceros de preesfuerzo no adheridos deben estar encapsulados en ductos de postensado, que debe ser impermeable y continuo en toda la longitud no adherida.

Los ductos deben mantenerse libres de agua.



Figura 5.2 Patrón de Falla 2. Corrosión.

### 5.2.3 Patrón de Falla 3. Grietas o Fisuras en concretos.

#### a) Problemas.-

El agrietamiento ocurre cuando los esfuerzos de tensión exceden el esfuerzo de tensión del concreto.

#### **A.1 Las fisuras de flexión.** (Ver figura 5.3)

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.

Estas fisuras son activas, es decir, su abertura varía bajo el efecto diario del gradiente térmico (insolación del tablero), bajo el de la circulación (vehículos pesados o sobrecargas no previstas).

Diseño inadecuado.

Descimbrado temprano.

Acero de refuerzo insuficiente.

Anclaje insuficiente.

Acero de refuerzo mal posicionado en el proyecto o en la ejecución.

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

## **A.2 Las fisuras de cortante.** (Ver figura 5.4)

Se presentan debido ha:

- Sobrecargas no previstas.
- Estribos y anillos insuficientes.
- Estribos y anillos mal posicionados en el proyecto o en la ejecución.
- Concreto de resistencia inadecuada.
- Asentamiento de las cimentaciones y los apoyos.
- Diseño inadecuado.

## **A.3 Las fisuras de contracción hidráulica y térmica.** (Ver figura 5.5)

Se presentan debido ha:

- Curado ineficiente.
- Protección térmica ineficiente.
- Exceso de calor de hidratación.
- Exceso de agua de mezclado.
- Concreto de resistencia inadecuada.

b) Corrección.-

## **A.1 Las fisuras de flexión.**

Preparar y limpiar cuidadosamente la fisura.

Recuperar el monolitismo del concreto y acero a través de inyección de resina epóxica con o sin limitación de sobrecargas, conforme al análisis estructural del elemento.

Reforzar la viga a través de:

1. Colocación de nuevo refuerzo longitudinal y volver a colar.
2. Colocación de nuevos estribos y anillos y volver a colar.
3. Colocación de placas metálicas adheridas con resina epóxica.

Colocación de fibras poliméricas adheridas.

Eventualmente, demoler y reconstruir.

Postensado externo.

Acortamiento, reducción o disminución de la longitud del claro.

Apoyo suplementario.

Pretensado adicional después de haber inyectado las fisuras que estén suficientemente abiertas.

Ver anexo 4. Anchos permisibles de grietas.

## **A.2 Las fisuras de cortante.**

Preparar y limpiar cuidadosamente la fisura.

Recuperar el monolitismo del concreto y acero a través de inyección de resina epóxica con o sin limitación de sobrecargas, conforme al análisis estructural del elemento.

Reforzar la viga a través de:

1. Colocación de nuevo refuerzo longitudinal y volver a colar.
2. Colocación de nuevos estribos y anillos y volver a colar.
3. Colocación de placas metálicas adheridas con resina epóxica.
4. Colocación de fibras poliméricas adheridas.

Eventualmente, demoler y reconstruir.

## **A.3 Las fisuras de contracción hidráulica y térmica.**

Preparar y limpiar cuidadosamente las superficies y la fisura.

Cuando se trate de losas con alta sollicitación, aplicar un nuevo acabado empleando adhesivo de base acrílica o base epóxica como puente de adherencia.

Cuando se trate de losas con pequeña sollicitación, tapar las fisuras con resane.

Efectuar protección térmica conveniente. Se coloca una protección sobre la superficie a base de agua con resinas, actuando la misma como impermeabilizante.

### c) Prevención.-

Proyectar apropiadamente para reducir vibraciones excesivas debido a la carga viva.

Proveer el recubrimiento adecuado para las varillas de refuerzo.

Usar el concreto adecuado.

Protección catódica.

Colocación del concreto usando técnicas apropiadas de construcción y de control.

Métodos adecuados de curado.

Descimbrar a buen tiempo.

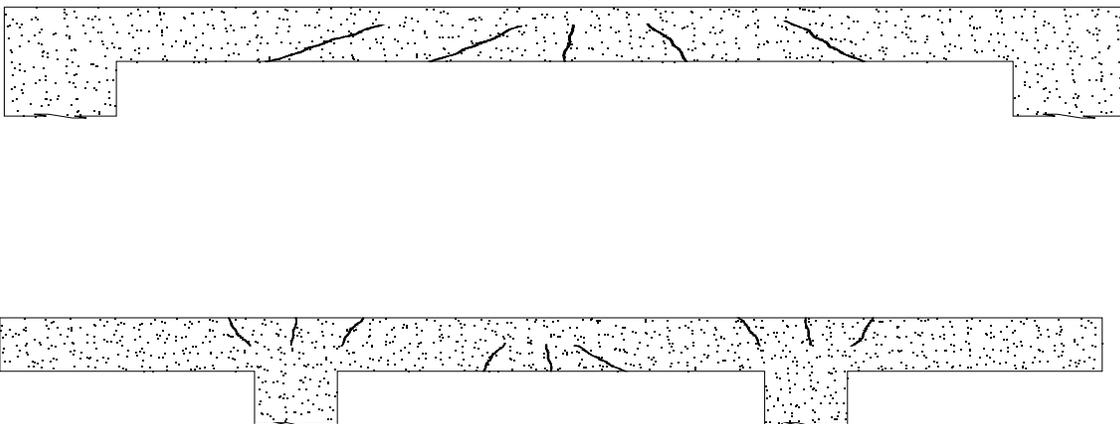


Figura 5.3 Fisuras de flexión.

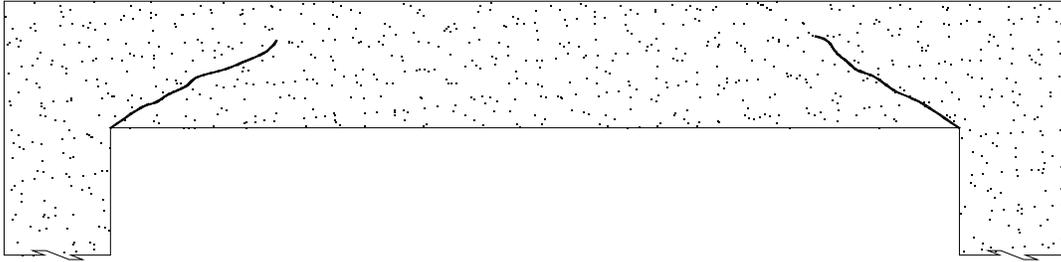


Figura 5.4 Fisuras de cortante.

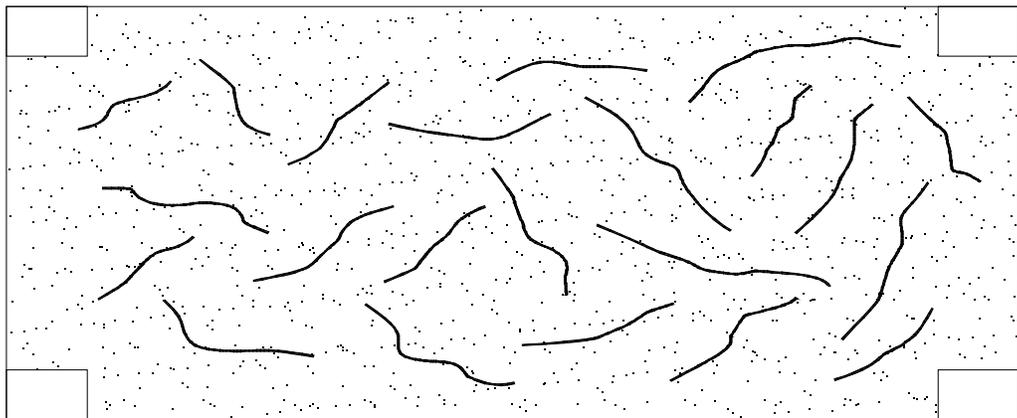
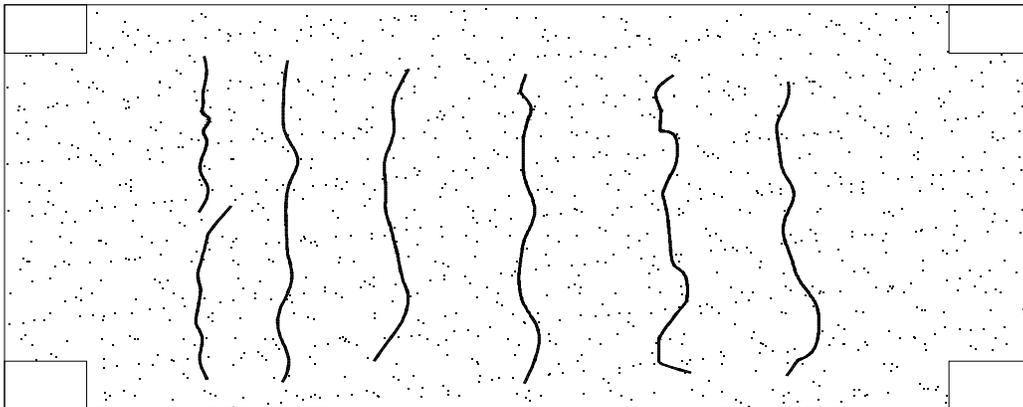


Figura 5.5 Fisuras de contracción hidráulica y térmica.

#### 5.2.4 Patrón de Falla 4. Grietas o Fisuras en acero estructural.

##### a) Problemas.-

Las vigas principales, largueros y elementos secundarios como diagonales y montantes son especialmente susceptibles de agrietamiento cuando las juntas o conexiones están soldadas o cuando ciertos tipos de detalles de diseño, tales como cubreplacas de longitud parcial, esquinas agudas o ménsulas en cantilliver son usadas. Lugares donde cambia de ancho las placas del patín o su espesor son también áreas problemáticas de falla. Deben ser observadas muy de cerca, ya que una pequeña grieta puede desarrollar rápidamente una fractura.

##### b) Corrección.-

Cualquier grieta o fractura en una viga metálica debe considerarse como signo de un deterioro serio y tomar una inmediata acción correctiva. Muy a menudo para cuando una grieta se hace visible, el miembro se encuentra a cerca de fallar. Si la grieta es grande y en un lugar crítico, puede ser necesario restringir el tráfico o aún cerrar el puente hasta que el miembro pueda ser reparado o reemplazado. Algunas veces, será suficiente taladrar un agujero al extremo de la grieta para controlar propagación suficiente.

##### c) Prevención.-

El único método para prevenir grietas o fracturas es evitar tanto como sea posible el uso del diseño de detalles que son probablemente causa de esfuerzo de alta fatiga. Puesto que las grietas se asocian usualmente a la soldadura, deberá desecharse la soldadura de campo que indiscriminadamente se usa en conexiones con reparaciones o añadidos a vigas, sin que antes reanalicen las condiciones en que se encuentren los esfuerzos en una viga.

Importante es también que la mano de obra a utilizar sea calificada y certificada para realizar los trabajos de soldadura.

### 5.2.5 Patrón de Falla 5. Astillamiento en la cubierta de concreto.

#### a) Problemas.-

El astillamiento es el desprendimiento de pedazos de concreto, que empieza a menudo en la capa superior del acero de refuerzo y está relacionado con la corrosión del acero de refuerzo y que empieza con desconchamiento acelerado con el uso de cloruros.

La razón del desarrollo del astillamiento y su severidad se debe ha factores como: profundidad del recubrimiento del acero de refuerzo, porosidad del concreto, volumen y tipo de del tráfico, flexibilidad de la cubierta tanto longitudinal como transversal, aumento en el uso de cloruros y el número de ciclos de temperaturas extremas.

El mínimo efecto de astilladuras en puentes es el impacto, incrementado por vehículos que rebotan sobre el área astillada. El astillamiento extensivo sobre estructuras tales como losas de concreto, vigas de cajón y T puede reducir la capacidad de transporte de la carga y la seguridad de la estructura.



Figura 5.6 Patrón de Falla 5. Astillamiento.

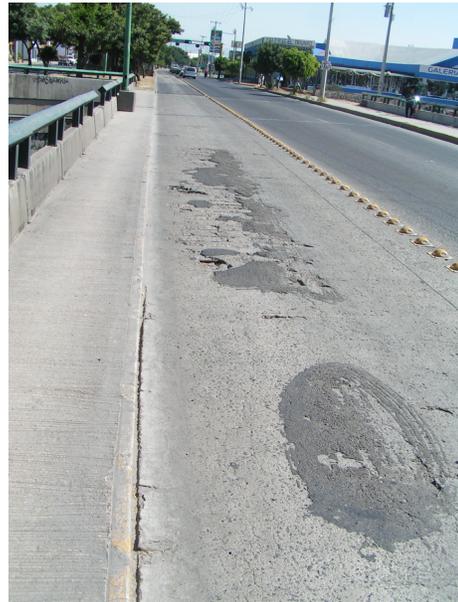


Figura 5.7 Patrón de Falla 5. Astillamiento.

b) Corrección.-

Al empezar a aparecer los primeros astillamientos, es práctica común hacer reparaciones de naturaleza temporal usando materiales asfálticos para parchar. Si los astillamientos son poco profundos se puede usar un mortero epóxico o cementos hidráulicos de rápida colocación.

Para hacer un parche permanente en oposición a un parche asfáltico temporal el material usado deberá adherirse con seguridad al material sano y ser de igual o mayor resistencia o esfuerzo de compresión para restaurar la integridad estructural de la cubierta.

Se puede corregir este defecto con una sobrecarpeta durable que servirá como superficie de desgaste y barrera de humedad. El objetivo más importante del recubrimiento debe ser la exclusión del agua de la cubierta de concreto.

Utilizar una membrana a prueba de agua requiriendo que su instalación sea la apropiada para su adherencia.

Utilizar rellenos cementantes rígidos a base de morteros epóxicos o mortero a base de cemento Pórtland adicionado con látex.

Una alternativa para el recubrimiento de una losa con astillamiento es la remoción y reconstrucción de toda la losa.

#### c) Prevención.-

El astillamiento puede ser reducido considerablemente por la eliminación de aquellos factores que contribuyen a la corrosión del refuerzo.

Usando un concreto mejor y más impermeable.

Proveer un sistema protector a prueba de agua en la cubierta al momento de la construcción original.

Recubriendo el acero de refuerzo.

Proveer el recubrimiento adecuado sobre las barras de refuerzo.

Proyectar apropiadamente para reducir las vibraciones excesivas de la carga viva.

Usando técnicas apropiadas de construcción y control.

### 5.2.6 Patrón de Falla 6. En Dispositivos de apoyo.

DISPOSITIVOS DE APOYO. Los apoyos son usados normalmente para transmitir y distribuir las cargas de la superestructura a la subestructura, mientras se permite que la superestructura experimente movimientos necesarios sin desarrollar sobreesfuerzos dañinos. Los apoyos pueden ser:

- 1) Fijos o
- 2) Móviles

El material que se utiliza para la construcción de la mayoría de los apoyos son:

- 1) Placas de acero ancladas con pernos también de acero.
- 2) Placas de neopreno.

a) Problemas.-

Acumulación de basura.

Pérdida del sistema de protección tal como la pintura o el galvanizado.

Corrosión o delaminación del acero.

Corte y/o corrosión de los pernos de anclaje, placas de conexión, etc.

Desintegración y/o deterioro del material, bajo o adyacente a los apoyos.

Placas movidas o inclinadas respecto a la posición original. Mal colocadas o fuera del apoyo principal (mampostería o concreto o acero).

Fisuras por esfuerzo excesivo en el acero estructural.

Compresión no uniforme en las cuatro esquinas del apoyo o torcimiento del mismo.

En los apoyos elastoméricos se pueden presentar cortes del material, debido al exceso del cortante.

Falta de adherencia entre el elemento elastomérico en las placas metálicas superior e inferior.

Deformación del apoyo elastomérico desplazándose lateralmente por efecto de la carga, provocando inclusive arredondamiento en las orillas.

b) Corrección.-

Limpiar basura y suciedad frecuentemente.

Limpieza y reparación o reemplace del sistema de protección de acuerdo con los procedimientos aceptados para pintura y galvanizado.

Si la corrosión es severa para prohibir que el apoyo funcione apropiadamente las placas de acero deben reemplazarse.

Reemplazar pernos de anclaje cortados o corroídos severamente.

Retirar el material defectuoso de abajo y alrededor del apoyo y sustituirlo por nuevo material.

Si existe peligro de colapso inmediato del elemento el cual puede causar daño severo a la estructura, o si la condición se considera ser un riesgo a la seguridad, la porción del puente que es soportada por el apoyo deberá ser apuntalada inmediatamente para tomar la carga en caso de que falle el apoyo.

Lubricar el apoyo si es necesario. La lubricación del apoyo puede requerir el uso de un sistema de soporte temporal diseñado apropiadamente.

b) Prevención.-

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

Deberá darse a la superficie del apoyo metálico o elastomérico una pendiente de 1" por pie, para permitir drenaje apropiado de la superficie cerca de los apoyos.

Tener un programa de mantenimiento para las juntas de la cubierta, conducción de agua, ductos, tuberías y drenes.

Construir lavaderos apropiados.

Tener un programa para lubricar rutinariamente las áreas apropiadas de los apoyos.

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

#### CAUCES Y CIMENTACIONES.

- a) Limpiar, reponer y estabilizar la alineación y la sección transversal del cauce.
- b) Para evitar erosiones y socavaciones: utilizar gaviones o muros de mampostería o de concreto ciclópeo.
- c) Reconstruir los conos de derrame y delantales frente a los apoyos extremos.

- d) Hacer zampeados de mampostería de piedra con dentellones en el fondo del cauce.
- e) Proteger los caballetes con pedraplenes o escolleras instaladas al frente y alrededor.

## SUBESTRUCTURAS

- a) Re-cimentación de pilas y estribos:
  - Utilizando concreto ciclópeo colado bajo el agua.
  - Construcción de una pantalla perimetral de micropilotes.
- b) 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.
- c) Reparación de pilotes que presentan fractura y exposición del acero de refuerzo.
- d) Reforzamiento de corona y cabezales.
- e) Inyección de grietas y reposición de concreto degradado.
- f) Reconstrucción de coronas y bancos de apoyo.

## SUPERESTRUCTURAS

### 1.- De concreto.

- a) Para reforzar los elementos de la superestructura:
  - Adosar solerás metálicas con resinas epóxicas.
  - Incremento del número de trabes.
  - Construir sobrelosas.
  - Colocar preesfuerzo longitudinal, transversal y vertical.
- b) Alineamiento de superestructuras desplazadas transversalmente por asentamiento de los apoyos o por efectos dinámicos, sismos e impactos de vehículos.

2.- metálicas:

a) Para reforzar los miembros de la superestructura:

- Con cubre placas.
- Con perfiles laminados.
- Incremento del número de trabes.

b) Sustitución de sistemas de piso.

c) Ampliaciones y refuerzo.

3.- 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.

### **5.3- 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.

### 5.3.1.- 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.

### 5.3.2.- Acciones más comunes

Las acciones del mantenimiento rutinario más comunes son las siguientes:  
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.

Pavimentos. 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.

## **5.4- Reparaciones**

### 5.4.1.- 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 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.

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 su sustitución por un mortero de reparación.

#### 5.4.2.- 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:

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.

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:

#### 5.4.2.1.- 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 recrecida de los muretes de contención del firme. (Ver figura 5.8)

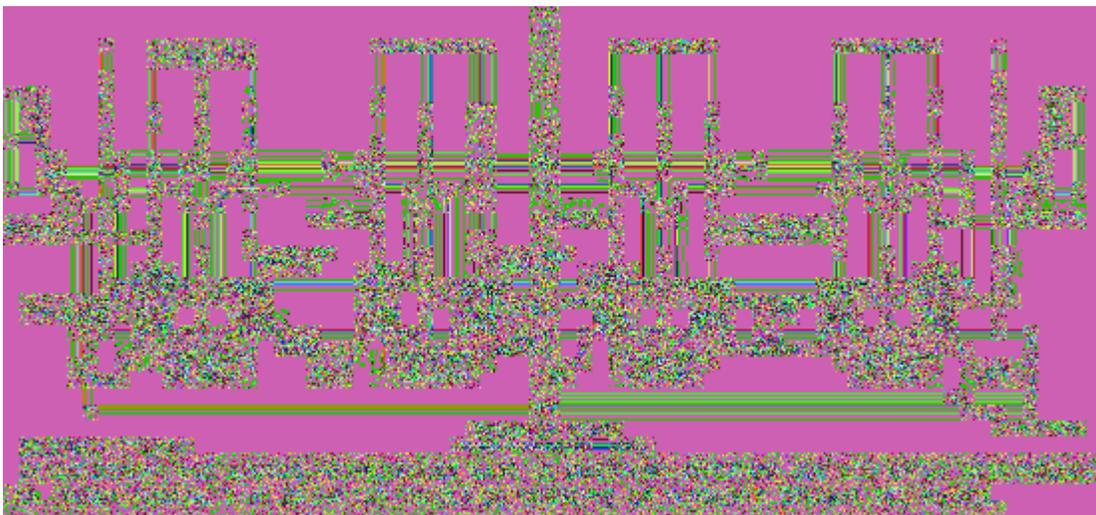
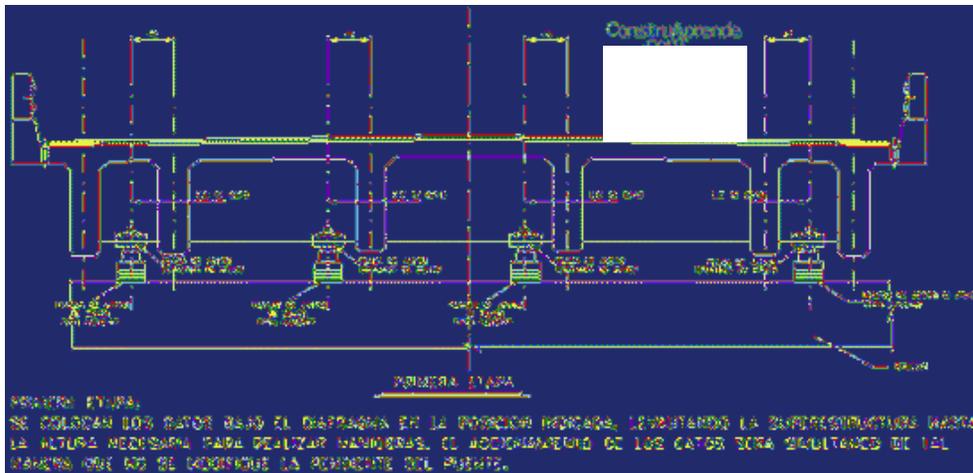


Figura 5.8 Procedimiento constructivo del cambio de apoyos en sus diferentes etapas:

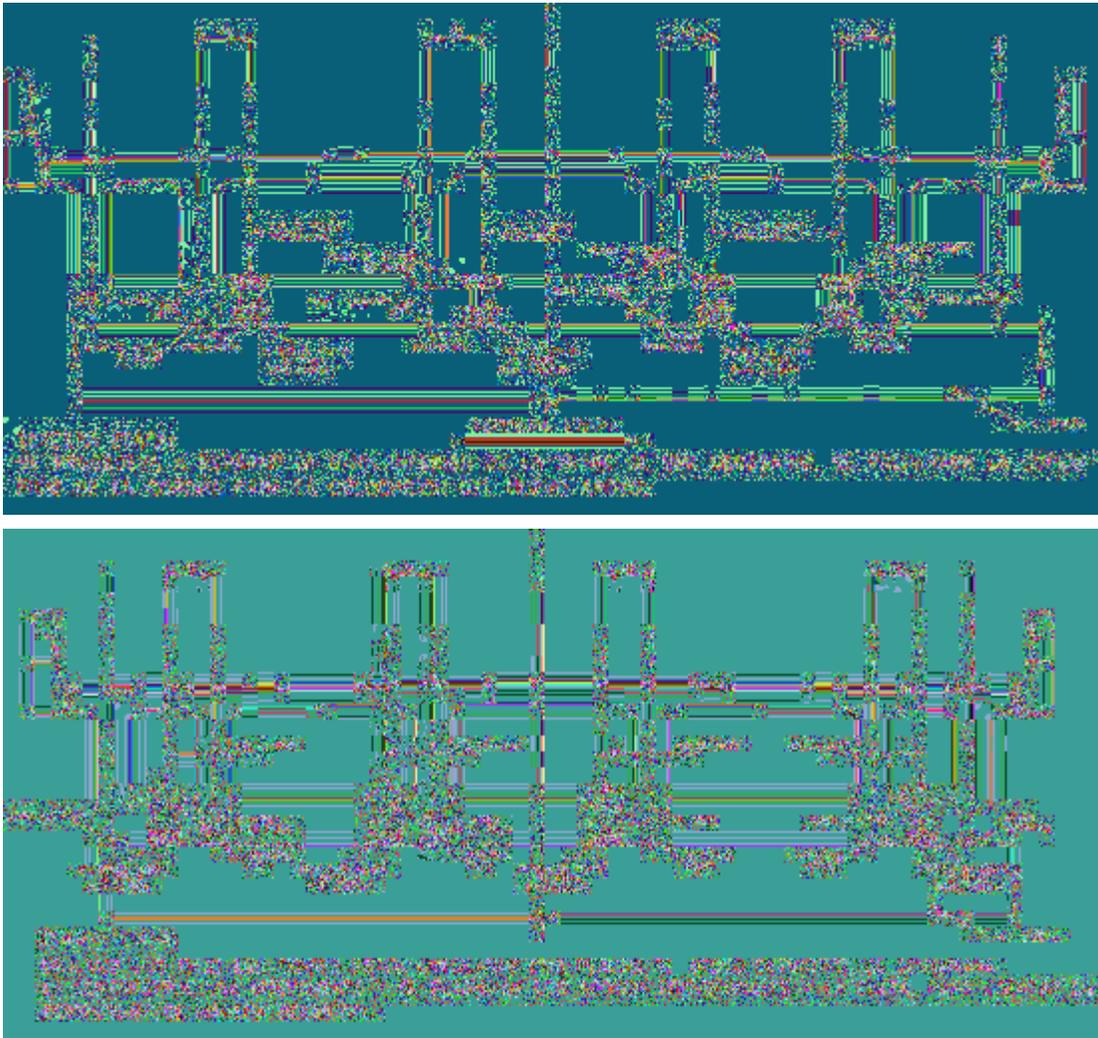


Figura 5.8 Procedimiento constructivo del cambio de apoyos en sus diferentes etapas:

#### 5.4.2.2.- Inyección de grietas.

Pasos a seguir para la inyección de grietas:

1.- 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. (Verfigura5.9).

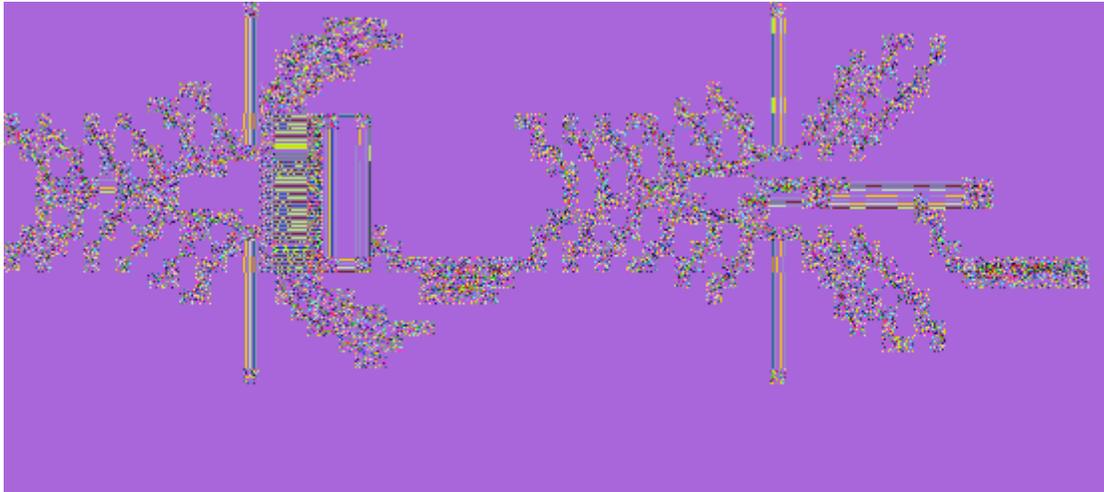


Figura 5.9. Muestra la manera en que se debe de limpiar la superficie para aplicar la inyección de grietas.

2.- 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. (Ver figura 5.10)

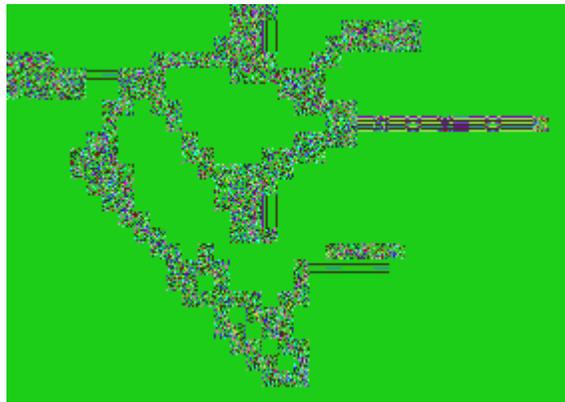


Figura 5.10. Muestra la colocación de la pasta.

3.- 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. (Ver figura 5.11)



Figura 5.11. .- Colocación de inyectores.

4.- 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. (Ver figura 5.12)

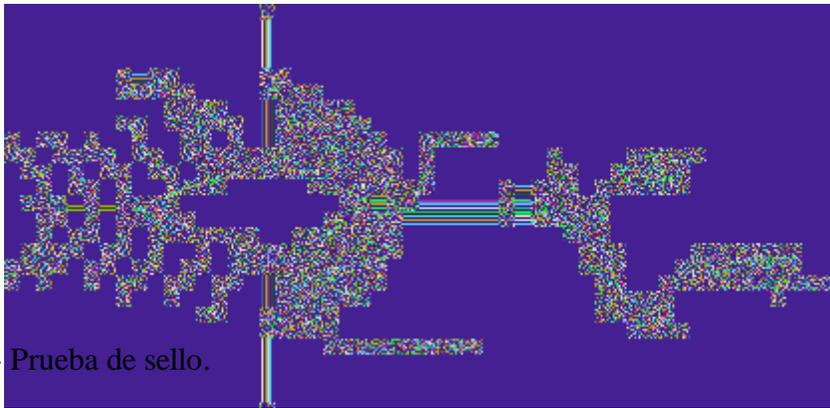


Figura 5.12.- Prueba de sello.

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

- a) Preparar la resina.
- b) Iniciar la inyección por el punto extremo inferior de la fisura hasta que la resina salga por el siguiente punto.
- c) Cortar la manguera y pizarla con hilo de alambre de tal manera que este totalmente cerrada.
- d) 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.

e) Dejar un testigo de resina para que después se pueda verificar su endurecimiento.

f) Para realizar la inyección se utilizara un recipiente provisto de un manómetro de manera que se pueda controlar la presión de inyección (no mayor a 5 Kg/cm<sup>2</sup> y no menor a 1.5 Kg/cm<sup>2</sup>. (Ver figura 5.13)

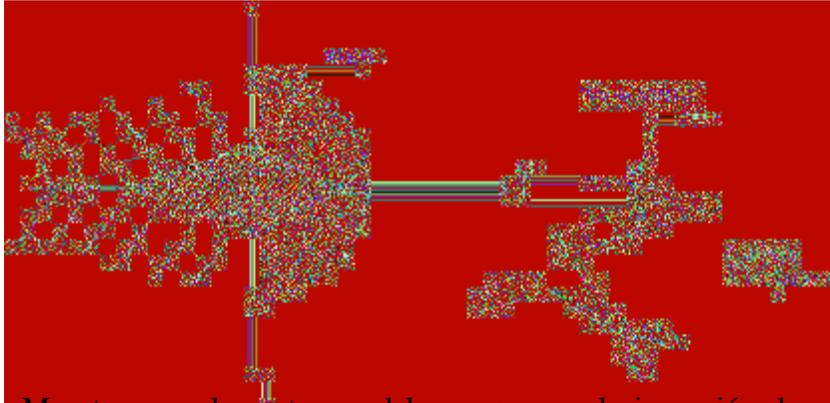


Figura 5.13.- Muestra que elementos se deben usar para la inyección de grietas y a que capacidad.

6.- 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 selladora e inyectores, y limpiar y pulir la superficie. (Ver figura 5.14)

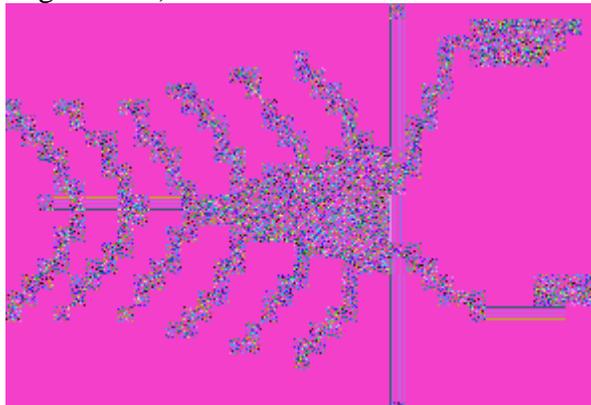


Figura 5.14.- Limpieza después de a inyección de grietas.

#### 5.4.2.3.- 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 solicitaciones 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:

- 1.- Cortar y retirar la carpeta asfáltica en un ancho de 20 CMS. En ambos lados de la junta de dilatación.
- 2.- Realizar la demolición de la losa y hasta 15 CMS. dentro de la banqueta para fijar el remate de la junta de dilatación. (Ver figura 5.15)

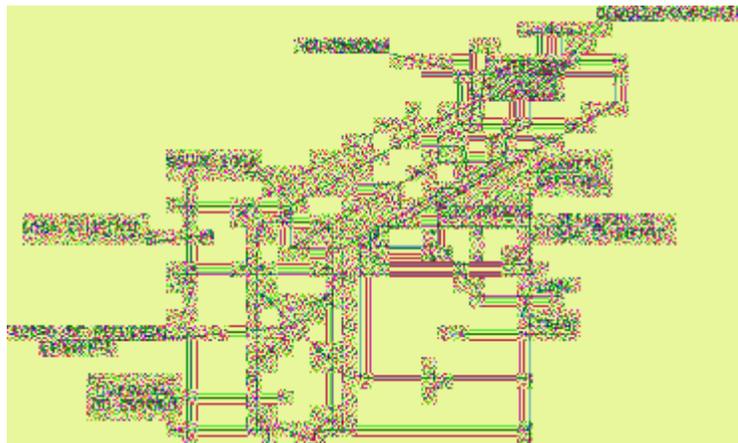


Figura 5.15. Demolición de losa, fijar junta de dilatación.

3.- Retirar ángulos y placa de acero de junta existente.

4.- Colocar y habilitar perfil en la calzada en ambos lados de la junta. (Ver figura 5.16)

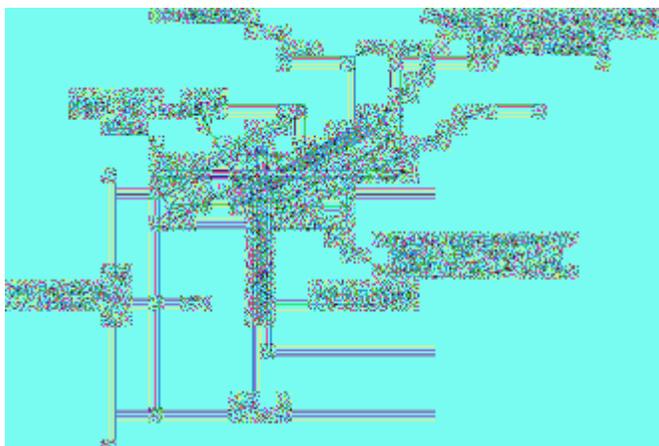


Figura 5.16. Colocación y fijación de junta.

5.- Checar nivelación de la junta. (Ver figura 5.17)

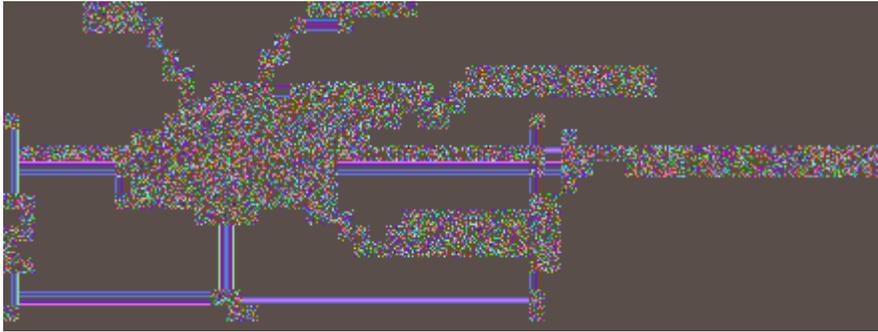


Figura 5.17 Nivelación de junta.

6.- Colar y vibrar perfectamente zona de juntas.

7.- una vez fraguado el concreto se colocara el perfil de neopreno. (Ver figura 5.18)

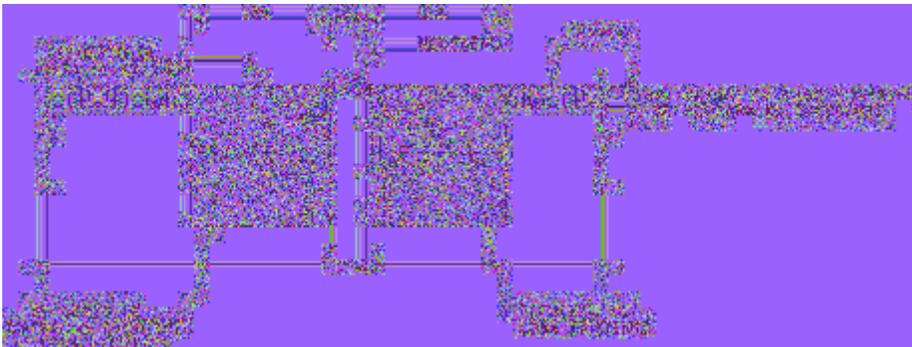


Figura 5.18. Colocación de perfil de neopreno.

#### 5.4.2.4.- Tratamiento de armados expuestos.

El procedimiento más común para el tratamiento de las armaduras oxidadas:

Se descubrirán picando todo el concreto que las cubre.

Se eliminara el oxido no adherido (cepillo de alambre o chorro de arena), después se les aplicara una pintura anticorrosiva.

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

#### 5.4.2.5.- 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 álido-álcali y similar, 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 número uno de las obras.

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

El concreto alterado se saneara 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 epóxica a la superficie de contacto.
- Resistencia mecánica mayor o igual a la del soporte.
- Baja o nula retracción.
- Modulo 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.

## **5.5- Reforzamientos**

### 5.5.1.- 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:

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

### 5.5.2.- 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 epóxicas y colocación de placas mecánicas adheridas).
- Reforzamiento activo: (Inyección de grietas con resinas epóxicas).
- 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:

- a) Refuerzo de pilares mediante recrido de los mismos.
- b) Refuerzo de tableros mediante recrido 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 (gunita) 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 solo 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.

#### 5.5.2.1.- 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 costaleros, y excavar hasta el nivel de desplante de la cimentación dejando un espacio suficiente para efectuar los trabajos. (Ver figura 5.19)



Figura 5.19 Preparación del encamisado de pilas.

Etapa 2.- Resanar con Grout los huecos existentes en la mampostería. (Ver figura 5.20).

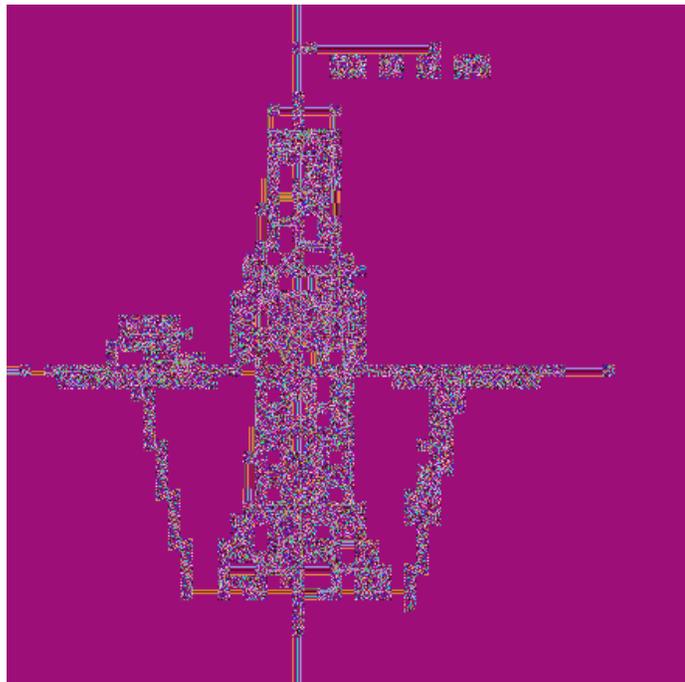


Figura 5.20. Muestra como resanar los huecos en la mampostería.

Etapa 3.- Colocar elementos de anclaje con una separación aproximada de 100 CMS. En ambos sentidos para fijar la malla de refuerzo. (ver figura 5.21)

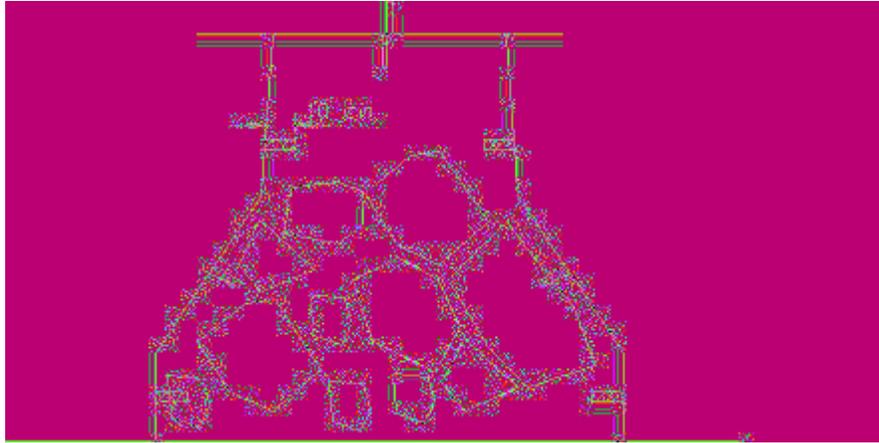


Figura 5.21. Colocación de elementos de anclaje.

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. (Ver figura 5.22)



Figura 5.22. Colocación y fijación de malla al anclaje.

Etapa 5.- Colar concreto de 15 CMS de espesor. . (Ver figura 5.23)

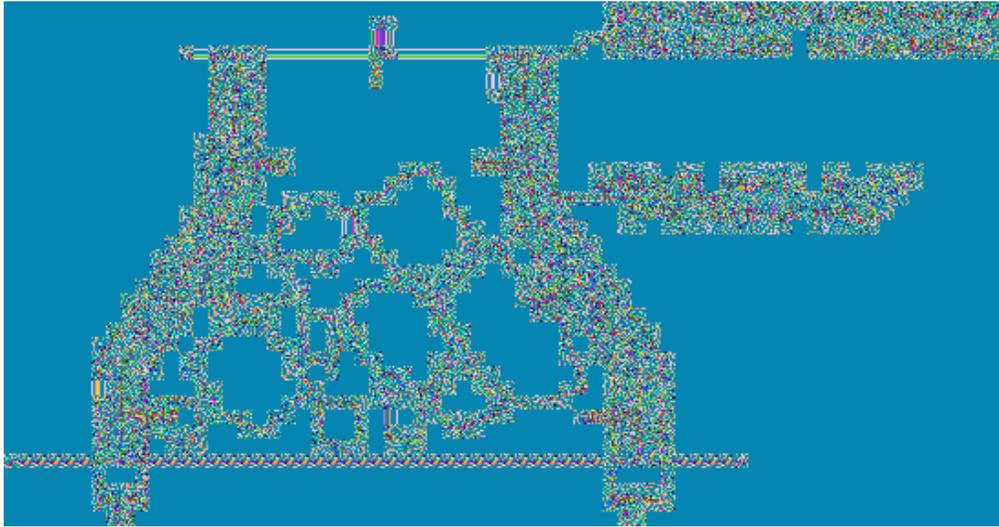


Figura 5.23. Colocación de concreto.

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

#### 5.5.2.2.- Refuerzo con placas y perfiles metálicos

En cuanto al refuerzo con PLACAS y perfiles metálicos los más frecuentes son los siguientes:

a) Refuerzo con perfiles metálicos superpuestos.

b) 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.

c) 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. (Ver figura 5.24)

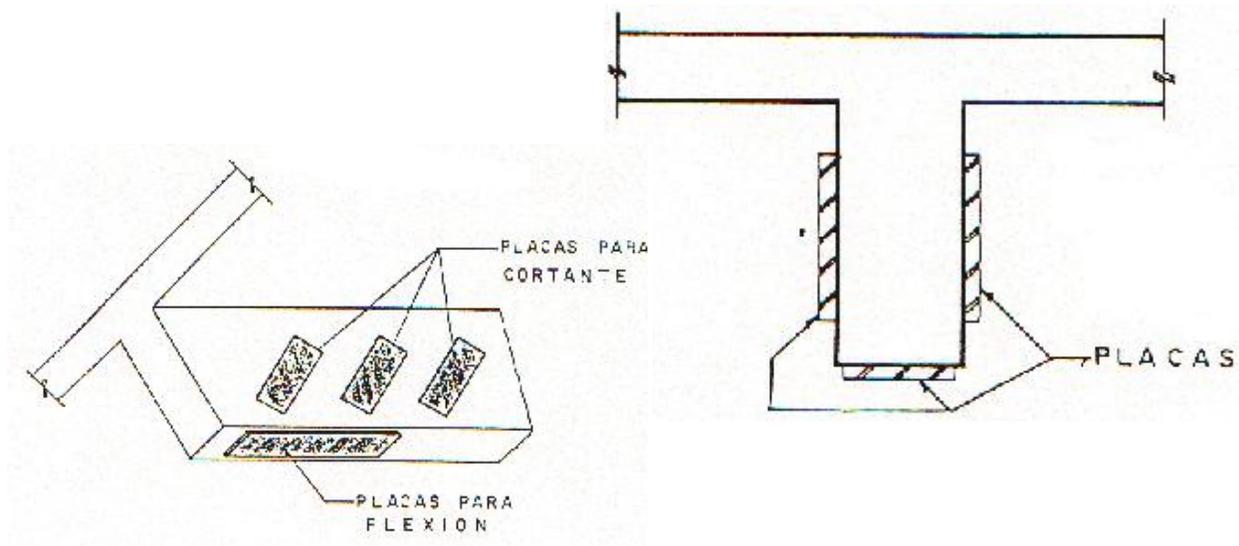


Figura 5.24. Refuerzo con placas metálicas.

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-36, 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.

#### 5.5.2.3.- 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 México, casi siempre resultara 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 ha determinado que el puente requiere reforzarse, el procedimiento constructivo a seguir es el siguiente:

- 1.- Realizar perforaciones en nervaduras para dar paso al presfuerzo transversal para colocar los bloques desviadores.

- 2.- Escarificar nervaduras en la zona donde se colocaran los bloques desviadores.

- 3.- Armar y colar los bloques desviadores.

4.- Alrededor de los tubos desviadores sellar con mortero Grout.

5.- Fabricar los bloques metálicos de anclaje.

6.- Colocar el señalamiento respectivo y cerrar parcialmente la circulación para retirar carpeta asfáltica existente y demoler losa para colocar los bloques de anclaje.

7.- Una vez que los bloques hayan alcanzado su resistencia de proyecto, se insertaran las barras de presfuerzo y se tensaran al 50% de su fuerza de servicio para estabilizar los asentamientos del bloque desviador.

8.- Ya asentados los bloques, se procederá a tensar las barras transversales de presfuerzo al 100% de su fuerza de tensado.

9.- Montar los bloques de anclaje, colocando mortero Grout para asegurar un adecuado contacto entre superficies.

10.- Cuando se haya tensado todo el presfuerzo de todos los bloques desviadores y los bloques de anclaje hayan sido colocados se procederá a introducir y posteriormente tensar el acero de presfuerzo longitudinal, el tensado de estos cables deberá ser por un extremo y simultáneo.

11.- Colar la zona donde se coloco el dispositivo metálico de anclaje, dejando la reservación para la colocación de la junta de dilatación.

12.- Colocar la carpeta asfáltica en la calzada y en los accesos.

13.- Realizar limpieza general y restituir la circulación normal del puente.

Para el mantenimiento de los bloques de anclaje se recomienda:

s Eliminar el antiguo mortero de relleno del cajetín.

s Eliminar el oxido de las cabezas de anclaje.

s Restituir el relleno a base de morteros especiales.

Los cables de presfuerzo que van por fuera de la estructura no necesitan mantenimiento por ir dentro de un poliducto que los protege contra los agentes del intemperismo.

Existen tres tipos del presfuerzo exterior. (Ver figura 5.25, 5.26 y 5.27)

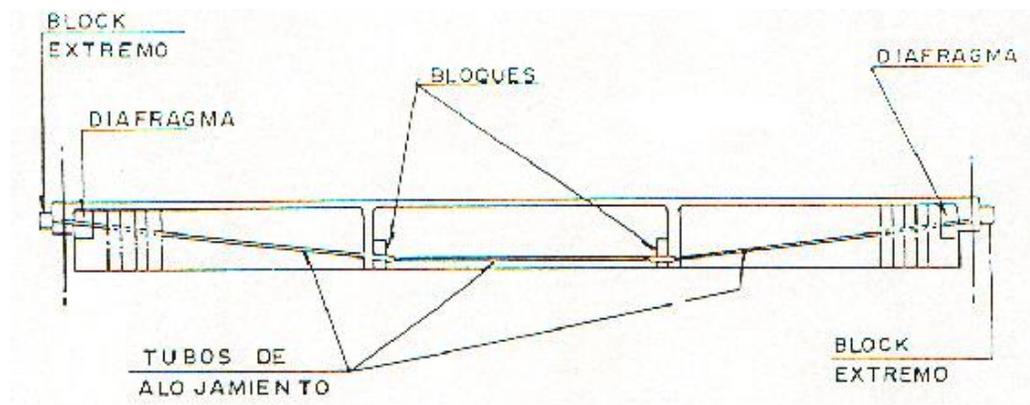


Figura 5.25 El presfuerzo longitudinal.

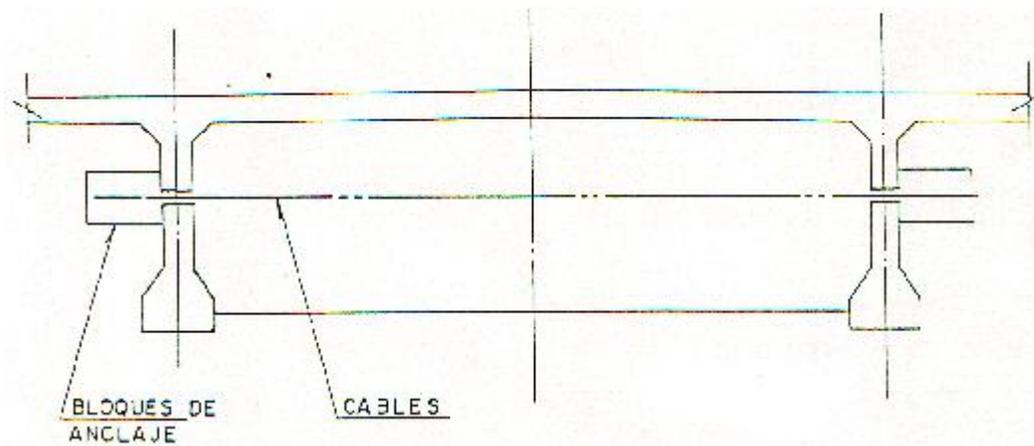


Figura 5.26. El presfuerzo transversal

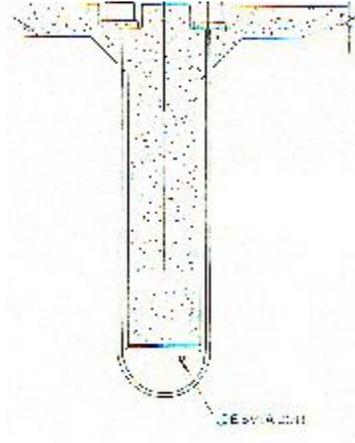


Figura 5.27. Presfuerzo vertical

## 5.6.-Ejemplos prácticos

A continuación se presentan varios ejemplos en los cuales se han realizado algunas de todas las actividades mencionadas con anterioridad, que sirvieron para el reforzamiento de los puentes que a continuación se mencionan.

Ejemplo 1.- Puente Vehicular tipo urbano localizado en Malecón del río de los Gómez y paseo de los Insurgentes en la ciudad de León, Guanajuato. (En el anexo 2 se encuentran algunos datos de diseño).

### *Registro de Inspección.*

El tipo de obra es Puente Urbano vehicular, ubicado en la ciudad de León Guanajuato en la avenida malecón del río de los Gómez esq. Paseo de los Insurgentes, Colonia los Paraísos.

El obstáculo que pasa por debajo del puente es el río de los Gómez.

Inspeccionado el día 23 de abril del año 2002 por el Ing. Gustavo Guillermo Bañuelos Ortega.

El puente es del tipo vehicular de concreto armado y dos tramos continuos.

Claro libre para un tramo 9.38 mts. con un ancho de 16.91 mts. para un carril.

El puente es recientemente construido y tiene problemas de deflexión y de diseño.

Peralte de la losa de concreto existente igual a 21 cms.

Armado existente de la losa:

El acero de refuerzo principal es varilla #6 @ 13 cms. parrilla inferior.

El acero de refuerzo longitudinal es varilla #5 @ 13 cms. parrilla superior.

El acero de refuerzo transversal es varilla #4 @ 25 cms. parrilla inferior.

El acero de refuerzo transversal es varilla #4 @ 25 cms. parrilla superior.

### *Evaluación del puente.*

El vehículo de diseño utilizado en este puente es H-15.

Principal problema: mal diseño de la Superestructura, en este caso losa de concreto armada.

### *Propuesta de Re-estructuración y Rehabilitación del Puente.*

El diseño del Puente con estas características solicita una losa con peralte de 43 cms. y acero de refuerzo considerable.

Se propone limitar el claro de la losa existente a la mitad colocando un marco rígido de acero conformado por 5 columnas de acero y 4 trabes de acero.

La losa de concreto se diseña y se propone sea de 27 cms. espesor mayor al existente que es de 21 cms., por lo que se coloca una sobrelosa de 6 cms. de espesor de concreto  $f'c=250$  kg/cm<sup>2</sup> y armada con varilla # 4 @ 15 cms. anclada a existente con varillas de ½" @ 20 cms. como conectores de cortante y sujetas con producto epóxico a la losa existente. El armado requerido es porque el apoyo de la losa en el marco de acero produce un cambio el sentido del momento y solicita acero complementario en la parte superior.



Figura 5.28. Inspección al puente.



Figura5.29. Inspección al puente.



Figura 5.30. Inspección del puente.



Figura 5.31. Inspección del puente.



Figura 5.32. Inspección del puente.



Figura 5.33. Procedimiento de perforación para anclaje.



Figura 5.34 .Anclaje, Placa base y Columna de acero en posición.



Figura 5.35.Re-estructuración y refuerzo terminado.



Figura 5.36. Detalle de conexión de trabe-columna.



Figura 5.37. Detalle de apoyo principal y colocación de ángulo de desvío de agua.

Ejemplo 2.- Puentes Vehiculares localizados sobre el Blvd. Adolfo López Mateos en la Glorieta formada por el cruce del Blvd. Aeropuerto, blvd. Morelos y Blvd. Torres Landa en la ciudad de León, gto. (En el anexo 3 se encuentra el estudio de inspección, lea evaluación y la propuesta de re-estructuración).

La estructura de estudio se encuentra ubicada al sureste de la ciudad de León sobre el boulevard Adolfo López Mateos en la salida a la ciudad de Silao (Autopista León – Irapuato- México), en la glorieta conocida comúnmente como “Glorieta del Canal 11”. Dicha estructura es el punto de intersección de cuatro bulevares principales: Adolfo López Mateos, Aeropuerto, Juan José Torres Landa y José María Morelos. En esta zona también se encuentran fraccionamientos industriales importantes, como el Fraccionamiento Julián de Obregón y el Industrial Delta.

Un puente vehicular se conforma principalmente en dos partes: subestructura y superestructura. La subestructura en estudio se conforma a base de estribos hechos de mampostería que trabajan como muros contenedores del relleno y al mismo tiempo como soporte de las traveses que conforman la superestructura.

Existen dos puentes (que son en sí la superestructura) compartiendo la misma subestructura, presentando la misma estructuración y además, las mismas fallas. Clasificando al puente de acuerdo a las características antes mencionadas se tendrá un puente regular, tipo viga, de claro medio y con resistencia lateral dada por los estribos que rematan las rampas de acceso. Los elementos que conforman la superestructura son de concreto presforzado comportándose como vigas simplemente apoyadas.

El estado actual de la estructura es el principal motivo de este estudio, debido a que la estructura en general no está en las condiciones óptimas de servicio puesto que presenta agrietamientos de cortante, acero de refuerzo expuesto, etc.; esto porque ha estado sometido a varias condiciones tanto de carga excedente (principalmente) como de intemperismo. Para

mostrar de un modo más adecuado las fallas que está presentando dicho puente, se muestra el siguiente reporte fotográfico.

Estribos.- En la subestructura no se observaron fracturas graves que pudiesen afectar al comportamiento de las traveses del puente. Tampoco se observó asentamiento significativo en ninguna zona. Dichos estribos tienen una geometría diferente, esto debido a que una de ellas debió adecuarse a la circunferencia de la glorieta; esta geometría se repite en el puente 2.

Traveses (escurrimientos).- En la superestructura se notan los escurrimientos claramente en las traveses, debido a las bajadas de agua que se ubican para evitar lo estancamientos de agua en la parte superior del puente. Aunque estos elementos se prevén dentro del proyecto, afectan a la resistencia del elemento del concreto a largo plazo, es decir, el elemento no trabaja tal como se consideró en el diseño.

Traveses (grietas).- En la parte inferior de las traveses se observan grietas, a una distancia del apoyo aproximadamente igual al peralte de la viga, donde el cortante suele ser más crítico. Así pues, la resistencia de este elemento al cortante disminuye respecto a la resistencia de diseño, lo que suele ser una condición desfavorable de servicio.

Traveses (grietas).- A un costado de esta travesa, se observa (encerrada en el círculo) una grieta de  $45^\circ$  (cuarenta y cinco grados) que se presentan cuando el esfuerzo cortante actual es mayor que el de diseño, debido al aumento de carga. También existe un escurrimiento cercano a dicha grieta, de manera que existe el riesgo de que el agua se filtre a la viga (por la grieta diagonal) y dañe al acero de refuerzo.

Traveses (Servicio).- Un aspecto importante es que, como se comentó anteriormente, esta glorieta conjunta a cuatro bulevares de la ciudad, lo que provoca que algunas veces pasen por aquí camiones con carga de altura excesiva, y esta a su vez, golpeó la parte inferior de las vigas dejando en algunas partes al acero de la viga expuesto a la intemperie y provocando un cambio de sección en la travesa, y por tanto dejando un elemento menos resistente.



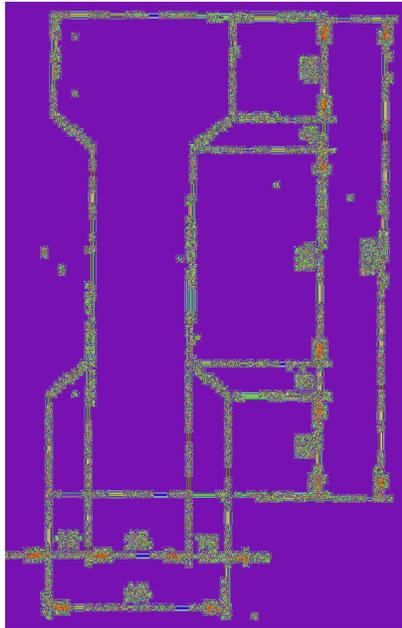


Figura 5.40.- Sección Geométrica Trabe Puente 2 (croquis).



Figura 5.41.- Vista Panorámica en glorieta - Derecha: Puente 1; Izquierda: Puente 2



Figura 5.42a.- Puente 1: Vista General



Figura 5.42 b.- Puente 2: Vista General



Figura 5.43. En la superestructura se notan los escurrimientos.



Figura 5.44. En la superestructura se notan los escurrimientos.



Figura 5.45. En la parte inferior de las trabes se observan grietas, a una distancia del apoyo aproximadamente igual al peralte de la viga.

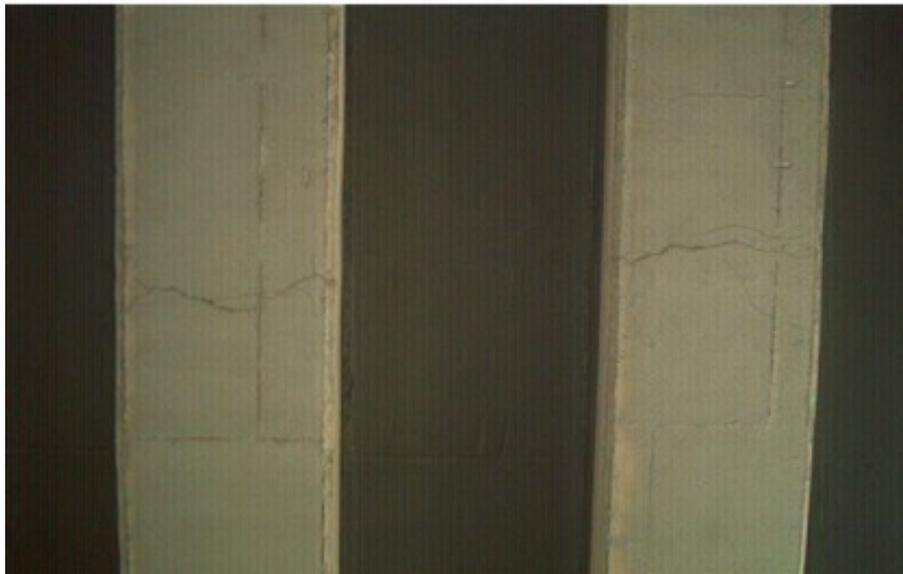


Figura 5.46 En la parte inferior de las trabes principales se observan grietas.

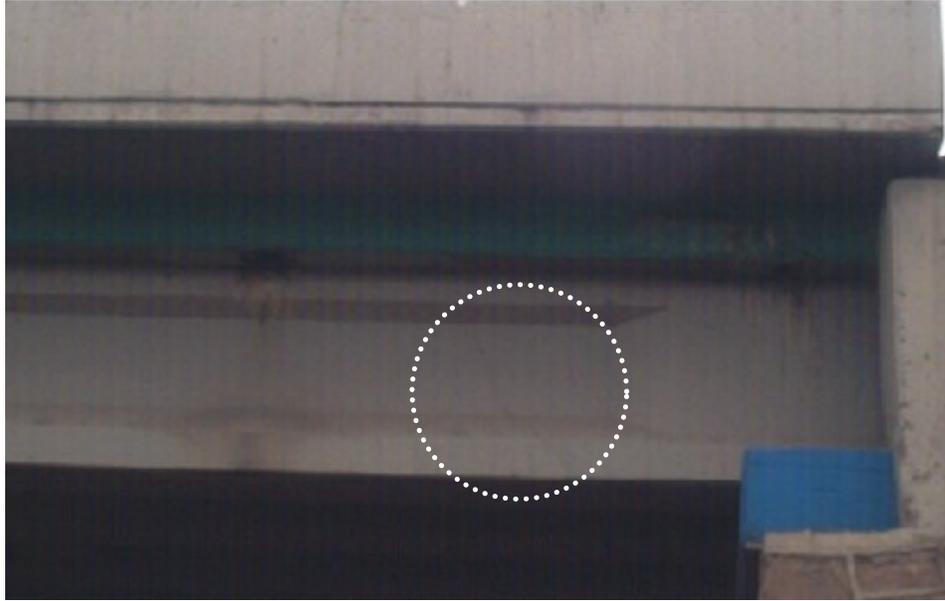


Figura 5.47. Se observa (encerrada en el círculo) una grieta de  $45^\circ$  (cuarenta y cinco grados)

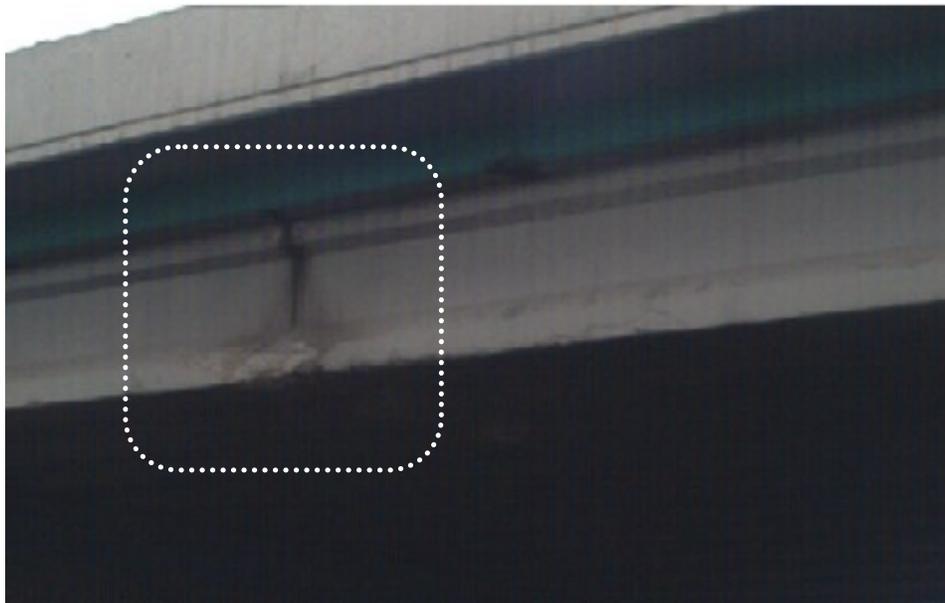


Figura 5.48. Existe un escurrimiento cercano a la grieta diagonal, de manera que existe el riesgo de que el agua se filtre a la viga y dañe al acero de refuerzo.

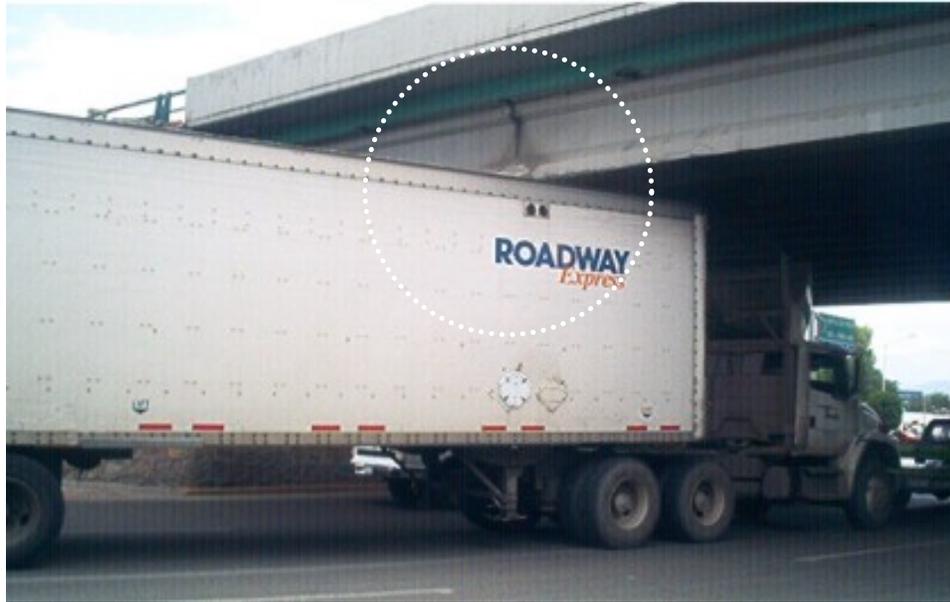


Figura 5.49. Camiones T3-S2 de carga con altura excesiva



Figura 5.50. Golpe en la parte inferior de las vigas dejando en algunas partes al acero de la viga expuesto.

Ejemplo 3.- Puente Vehicular localizado sobre La carretera León-Silao lado sur carretera federal # 45. (Llamado Silao-2 por SCT)

*Registro de Inspección.*

El obstáculo que pasa por debajo del puente es el río Silao y un camino vecinal.

Inspeccionado el día 04 de octubre del año 1999 por el Ing. Gustavo Guillermo Bañuelos Ortega.

El puente es del tipo vehicular de concreto armado con losa tridimensional.

Claro libre un solo tramo de 40.00 mts. y un ancho de 11.00 mts. en dos carriles.

El puente tiene algunos años construidos con problemas de deflexión y de cortante debido al cambio de cargas vivas y daños estructurales.

Peralte de la losa de concreto existente igual a 20 cms. Los perfiles estructurales PTR están ahogados en la losa de concreto.

La tridilosa tiene cuerdas superior de PTR 3 ½”, cuerda inferior con 6 varillas de 1 ½” de diámetro, diagonales y montante de ptr varios tamaños y espesores.

*Evaluación del puente.*

El vehículo de diseño utilizado en este puente es T3-S2-R4.

Principal problema: Sobrecarga por peso ilegal de los vehículos, dañando los diagonales y montantes produciendo cortante a los mismos, y deflexión apreciable en la cuerda inferior. Daño estructural severas.

*Propuesta de Re-estructuración y Rehabilitación del Puente.*

Se propone por parte de S.C.T. un refuerzo a las diagonales y montante a base de 2 ángulos de 2”X1/4” de 30 cms. de longitud soldados longitudinalmente en todos los elementos donde se aprecie corte, además de disminuir su esbeltez con otros ángulos horizontales.

La cuerda inferior se refuerza a flexión con varillas adicionales donde lo requiera.



Figura 5.51. Deflexión importante en el Puente.



Figura 5.52. Deflexión importante en el Puente.



Figura 5.53. Refuerzo a Flexión.



Figura 5.54. Escurrimiento y deflexión de la estructura.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

Como resultado de este trabajo de Tesis se propone un manual para la evaluación y registro de los puentes de claro corto, así como para la conservación de los mismos, solamente enfocado a la superestructura de los puentes.

Como resultado de la evaluación se reportan patrones típicos de falla por diferentes causas y se proponen criterios para la intervención y reparación de los daños detectados. Se proponen procesos constructivos generales para su mantenimiento y poder llevar a cabo actividades como: refuerzo, rehabilitación, corrección y prevención, de tal manera que su aplicación sea fácil de ejecutar, buscando una solución que pueda resultar segura, funcional, estética y económicamente viable.

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.

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 ciudades del país.

Cabe mencionar que dentro de las ciudades existen una infinidad de puentes antiguos y que no han sido valorados en su dimensión.

## **BIBLIOGRAFIA.**

- American Association of State Highways and Transportation Officials, AASHTO Maintenance Manual. The Maintenance and Management of Roadways and Bridges, American Association of State Highways and Transportation Officials, 1999.
- A.Soprano, Gustavo y J. Cernuschi, Diego, Ings. Base de Datos para el inventario de Obras de Arte. Hacia un Sistema de Gerenciamiento de la Conservación de Puentes. Trabajo distinguido con el Primer Premio en el XVI Concurso de Trabajos Viales. DVBA, La Plata, Octubre de 2001.
- Bignoli, A. J., del Carril T. A., Fazio J., Ings., Sistema de gerencia para conservación de puentes, Revista Carreteras N°153, mayo de 1998, Trabajo distinguido con el Premio Don Luis De Carli por el XII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito.
- BRIME – Bridge Management in Europe, European Commission DG VII 4th Framework Programme, 1999.
- Calavera Ruiz José, Corres Peirette Hugo, Gonzalez Valle Enrique, Delibes Liniers Adolfo, Fernandez Gómez Jaime y Díaz Lozano Justo, Inspección, ensayo, evaluación y reparación de un puente dañado por el fuego en la circunvalación de Granada, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Camomilla G, La gestión de puentes en Italia, 1era. Parte Criterios de gestión programada de puentes y túneles de carretera; 2da. Parte Barreras de seguridad para puentes, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Casas i Rius Joan Ramón y Aparicio Bengoechea Angel C., Una técnica de inspección en puentes a partir de la determinación no convencional de sus parámetros dinámicos, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Colegio de ingenieros civiles de león, a.c., la asociación de ingenieros estructuristas del estado de gto., la cámara nacional de la industria de la construcción; Mantenimiento de puentes, León, Gto. Noviembre de 1994.
- Colegio de ingenieros civiles de león, a.c., la asociación de ingenieros estructuristas del estado de gto., la cámara nacional de la industria de la construcción; tipología estructural y conservación de puentes, León, Gto. Noviembre de 1994.
- Criado Ballesteros Francisco J., mantenimiento y pequeñas reparaciones en puentes, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.

- Chatelaini, Cahussin, Coste y Poineau; La reparación de los puentes de hormigón pretensado: métodos, ejemplos, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Departamento Obras de Arte, Manual para inspecciones rutinarias de puentes y alcantarillas, DVBA, Agosto de 2003.
- Emmons Meter H.; Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento del Concreto. Análisis de problemas. Estrategias y técnicas de reparación. imcyc.
- Flores Sánchez Jesús, trabajo de tesis, Conservación de Puentes Carreteros, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- Fraile Cuellar José Ma. Propuesta de conclusiones e ideas al II Simposio, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Guía para reparar estructuras de concreto, ACI 546R-96, imcyc 1era edición 2001.
- Hillebrand Martin y Zuccolo Tristano, mantenimiento y control de la obra civil en carreteras, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Khan Mohammad S.; Bridge management systems: past, present and future, Revista Concrete International, del American Concrete Institute, August 2000.
- Lozada. P. M, Ing. Seminario interno: Inspección y evaluación de obras de arte (material didáctico del curso), DVBA, La Plata, 2000.
- Malisardi y Bodrato, Obras de reactivación del viaducto Polcevera sobre la autopista Génova-Savona, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Manterola Armisen Francisco Javier, Criterios de evaluación del estado de los puentes, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Medeot Renzo y Albajar Luis, Historia, teoría y práctica de la “hidrodemolición”, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Morera Bosch José M. Auscultación de puentes, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Muñoz Trigueros Ricardo y Conde-Salazar Gómez José Ma., Estudio, proyecto, reparación y recalce del puente sobre río Aragón en Milagro, I simposio nacional sobre

- Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- O'Connor Daniel S., la gestión de puentes en Estados Unidos, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Ortega Basagoiti Luis M., Inspección e inventario de puentes, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Páez Martínez Jesús, Ensanches de puentes y sustitución de sus elementos, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Pozo Frutos Florencio del, Reparación y refuerzo de puentes, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-05) y comentario (ACI-318-SR-05), imcyc comité ACI-318.
- R. do Lago Helene Paulo, Dr. Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto, 1era. Edición 1997, imcyc.
- Rodríguez Santiago Jesús, Aplicación de la medida de la velocidad de corrosión de las armaduras el estudio de estructuras de hormigón, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), Normas Técnicas para el Proyecto de Puentes. Capítulo 1 (1984).
- Talero Muñoz José Manuel Simón, DANBRO, Sistema de gestión de puentes asistido por ordenador, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Talero Muñoz José Manuel Simón y Talbot Pedersen Holder, Reparación de un puente de hormigón pretensado, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Urreta, Sánchez y Hernández, Análisis del estado actual de conservación de los puentes de carretera de Vizcaya, I simposio nacional sobre Conservación, Rehabilitación y gestión de puentes, Madrid, 18-20 de junio de 1991.
- Vázquez Herrera Ernesto, Ing. Guanajuato, Guanajuato, febrero 1986, apuntes de puentes. Escuela de ingeniería civil.

## **APÉNDICE-1**

**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 so pena de tener que desechar nuestras utensilios o bien tener que limpiarlos o pintarlos frecuentemente para que puedan darnos servicio durante un poco mas 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. En términos generales de acuerdo con la Secretaria General De La Organización De Los Estados Americanos (Programa Regional Desarrollo Científico y Tecnológico) los perjuicios causados por la corrosión equivalen del 1.5 al 3.5% del Producto Nacional Bruto en numerosos países.

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 ultimas 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 costo 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 mas 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.

- 1985 en México, colapso del puente Papagayo, en la carretera costera del pacífico, tramo Acapulco-Pinotepa Nacional, por corrosión del acero de refuerzo.

El fenómeno de la corrosión

Acción química, electromecánica, macanoquímica, 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 evidentemente en los cuerpos 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 negativas, con las fuerzas de repulsión de los electrones entre si y de los núcleos atómicos entre si.

## 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 mas 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 pasiva se expone a un medio agresivo. Durante el picado, el ataque se localiza en puntos aislados de superficies 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 mas 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 esta 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 inoxidables 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:

1.- Un metal o aleación susceptibles. Aceros de alta resistencia, latones y aceros inoxidable, y aleaciones comunes de aluminio, acero, fierro, etc.

2.- 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.).

## **APÉNDICE-2**

**Diseño del refuerzo para la  
Reparación del puente  
Vehicular localizado en  
Malecón del río de los Gómez  
y Paseo de los insurgentes**

# ¡Bienvenido al Programa de Puentes 1.0!

## Menú Principal

Introducción/Edición Datos

Cálculo de Peralte

Vehículos de Diseño

Carga Muerta

Momentos de Diseño

Acero de Losa Plana

Acero de Viga T

Resultado de Losa Plana

Resultado de Viga T

Borrar Datos

Ayuda

Salir ←



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Diseño de Superestructura de Punte Vehicular



Menú  
Principal



Ir a  
Ayuda

### Introducción de Datos

Longitud entre Ejes de Apoyo -mts	4.69
Ancho Total - mts	16.91
Ancho de Corona - mts	15.11
No. Carriles	2.00
Area de Guarnición - m <sup>2</sup>	0.22
Pe Guarnición - kg/m <sup>3</sup>	2400.00
Area de Banqueta - m <sup>2</sup>	0.18
Pe Banqueta - kg/m <sup>3</sup>	2400.00
Area de Capa Asfáltica - m <sup>2</sup>	0.99
Pe Asfalto - kg/m <sup>3</sup>	2400.00
Pe Concreto - kg/m <sup>3</sup>	2400.00
Carga de Parapeto - kg/m	320.00
Carga Adicional - kg/m	1782.00
Concreto (f'c = kg/cm <sup>2</sup> )	250.00
Acero (f'y = kg/cm <sup>2</sup> )	4200.00
Concreto E.S. (f'c = kg/cm <sup>2</sup> )	250.00



Siguiente



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Diseño de Superestructura de Puente Vehicular



Menú Principal



Ir a Ayuda

## Peralte de Diseño

TIPO DE ESTRUCTURA		
CLARO	SIMPLE	CONTINUO
	<i>Puente con el refuerzo principal paralelo al tráfico</i>	<i>Puente con el refuerzo principal paralelo al tráfico.</i>
Peralte h óptimo	0.00	0.27
	<i>Emparrillado en vigas "T"</i>	<i>Emparrillado en Vigas "T"</i>
Peralte h óptimo	0.00	0.00



Siguiente



Regresar



Borrar Datos



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Diseño de Superestructura de Puente Vehicular

## Análisis de Carga Muerta

Análisis de Carga Muerta

### ANALISIS DE CARGA MUERTA LOSA PLANA

	Peso Esp. -kg/m <sup>3</sup>	Sección Trans. -m <sup>2</sup>	Carga Lineal -Kg/m
	γ	Area	Peso
Guarnición	2400.00	0.22	528.00
Banqueta	2400.00	0.18	432.00
Asfalto	2400.00	0.99	2376.00
Parapeto	.....	.....	320.00
Carga Adicional	.....	.....	1782.00
Losa Plana	2400.00	2.25	5410.97
<b>C. MUERTA TOTAL (Kg*m/m)</b>			<b>1283.14</b>



Menú Principal



Ir a Ayuda



Siguiente



Regresar

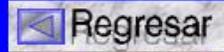
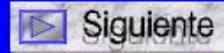
### ANALISIS DE CARGA MUERTA VIGA "T"

	Peso Esp. -kg/m <sup>3</sup>	Sección Trans. -m <sup>2</sup>	Carga Lineal -Kg/m
	γ	Area	Peso
Guarnición	2400.00	0.22	70.40
Banqueta	2400.00	0.18	57.60
Asfalto	2400.00	0.99	316.80
Parapeto	.....	.....	42.67
Carga Adicional	.....	.....	237.60
Peso Propio de la Viga "T".	2400.00	0.22	531.75
Losa Superior	2400.00	0.16	376.56
Diafragma (kg)	2400.00	0.02	56.91
<b>C. MUERTA TOTAL (POR VIGA)</b>			<b>1645.52</b>



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Diseño de Superestructura de Puente Vehicular



## Vehículos de Diseño

Selecciona el Vehículo

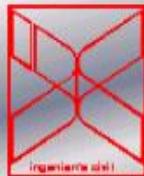
Buttons for vehicle selection: H10, H15, H20, HS15, HS20, T3S3, T3S2R4, OTRO VEHÍCULO

No.	Tipo de vehículo		CARGAS POR EJE Y DISTANCIA ENTRE LOS MISMOS																				
	OTRO VEHÍCULO	C.E.																					
		D.E.																					

C.E.= CARGA POR EJE, EN KILOGRAMOS  
D.E.= DISTANCIA ENTRE EJES EN METROS.

## Vehículo de Diseño

**H15**



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Diseño de Superestructura de Puente Vehicular



## Momentos de Diseño

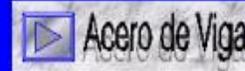
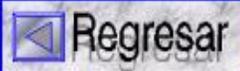
### LOSA PLANA

Vehículo	Momento Máximo C.M.	Momento Máximo C.V.	Factor de Distribución	Impacto	Factor de Seguridad - C.M.	Factor de Seguridad - C.V.	Momento de Diseño - kg*m	Momento de Diseño - kg*cm
H15	3520.50	12750.23	1.50	0.30	1.4	2.3	45031.03	4503103.45

*Ver Análisis Momentos*

### VIGA "T"

Vehículo	Momento Máximo C.M. Kg*m	Momento Máximo C.V. Kg*m	Factor de Distribución (1 carril)	Factor de Distribución (2 ó mas carr.)	Factor de Reducción de Carga	Impacto	Factor de Seguridad - C.M.	Factor de Seguridad - C.V.	Momento de Diseño - kg*m	Momento de Diseño - kg*cm
H15	-	-	1.00	0.67	1.00	0.30	1.4	2.3	0.00	0.00





UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Diseño de Superestructura de Puente Vehicular



Menú Principal



Ir a Ayuda

## Acero de Refuerzo en Losa Plana

### PARRILLA INFERIOR

#### REFUERZO PRINCIPAL

Varilla #	Area de Varilla cm <sup>2</sup>	Separación (1 V' @ "s" cm)
6	2.85	7

#### REFUERZO POR DISTRIBUCIÓN (TRANSVERSAL)

Varilla #	Area de Var. cm <sup>2</sup>	Separación (1 V' @ "s" cm)
6	2.85	28

### PARRILLA SUPERIOR

#### REFUERZO LONGITUDINAL

Varilla #	Area de Var. cm <sup>2</sup>	Separación (1 V' @ "s" cm)
4	1.27	4

#### REFUERZO POR DISTRIBUCIÓN (TRANSVERSAL)

Varilla #	Area de Var. cm <sup>2</sup>	Separación (1 V' @ "s" cm)
5	1.98	23

### REVISION DEL PERALTE DE LA LOSA

*Se tomará el nuevo peralte*

Calcular Separación de Acero

Borrar Datos

Análisis de Acero

Resultados

Regresar



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Diseño de Superestructura de Puente Vehicular



Menú Principal



Ir a Ayuda

## Acero de Refuerzo en Viga T

### TORÓN PROPUESTO

Diámetro cm	Area del Torón cm <sup>2</sup>	Resist. Última a fluencia del acero (fpu) kgf/cm <sup>2</sup>	No de Torones Requerido	Area Total de acero cm <sup>2</sup>	Longitud de desarrollo cm

### REFUERZO PARA CORTANTE

No. De Varilla #	Smáx (AASHTO) cm	Separación (AASHTO) cm

### REFUERZO TRANSVERSAL EN PATÍN

No. De Varilla #	Área de acero requerida por metro cm <sup>2</sup> / m

## Acero de Refuerzo en Losa Plana

PARRILLA	INFERIOR		SUPERIOR	
	Principal	Transversal	Principal	Transversal
Refuerzo Varilla #				
Separación cm				

### REVISION DE PERALTE DE LA LOSA

Calcular Acero de Prestuerzo

Borrar Datos

Análisis de Acero

Resultados

Regresar

### **APÉNDICE-3**

**Diseño del refuerzo para la  
Reparación de los puentes  
Vehiculares localizados sobre el  
Bld. Adolfo López Mateos en la  
Glorieta formada por el cruce del  
Bld. Aeropuerto, bld. Morelos y  
Bld. Torres landa  
En la ciudad de León, gto.**

### 1.- Antecedentes

Los puentes en cuestión son dos puentes para paso inferior vehicular por debajo del Blvd. Adolfo López Mateos. Se han detectado fisuras inclinadas en los extremos de las trabes que forman el puente, y se solicitó a quien suscribe la elaboración de un estudio de refuerzo de las vigas dañadas utilizando compuestos de fibra de carbón adheridos.

La única información disponible sobre los puentes está incluida en un estudio Titulado "Dictamen estructural de las estructuras de puentes de la actual glorieta Canal 11" sin firma y sin fecha.

### 2.- Objetivo del estudio

El objetivo principal es el ofrecer una solución alternativa para mejorar las propuestas de refuerzo actuales.

Como criterio general del estudio se plantea el no modificar la capacidad de carga actual de los puentes y solo se pretende restaurar la capacidad de carga original del puente aumentando su resistencia al cortante.

### 3.- Descripción de los puentes

Cada puente es de un solo claro con las características siguientes:

	CLAROS (m)	RESISTENCIA (T)	RESISTENCIA (T)
PUENTE EN LAZOS PARA EL PASAJE DE PEQUEÑOS RÍOS	12.00	1000 T	1000 T
PUENTE EN LAZOS PARA EL PASAJE DE PEQUEÑOS RÍOS	12.00	1000 T	1000 T

Los puentes están formados cada uno por trece vigas tipo AASHTO paralelas entre sí y presentan la geometría indicada en la figura 1. Las vigas soportan una losa superior de 30 cm de espesor y una carpeta de rodamiento también de 30 cm de espesor.

No se tienen datos ni documentos de la construcción de los puentes, sin embargo por la geometría de las vigas se puede ver que son vigas presforzadas con una edad de construcción probable de 15 a 20 años.

Durante una inspección visual se pudo observar y confirmar los daños reportados en el estudio existente ya .referido anteriormente. Se confirmó la presencia de grietas inclinadas en ambos extremos de todas las traveses de los dos puentes. A simple vista no se aprecian deformaciones, sin embargo es conveniente hacer mediciones para comprobarlo. También se confirma la conclusión del estudio previo sobre de que el origen de las grietas observadas se debe al agotamiento de la resistencia por cortante de las vigas debido posiblemente a una excedencia de las cargas de proyecto originales.

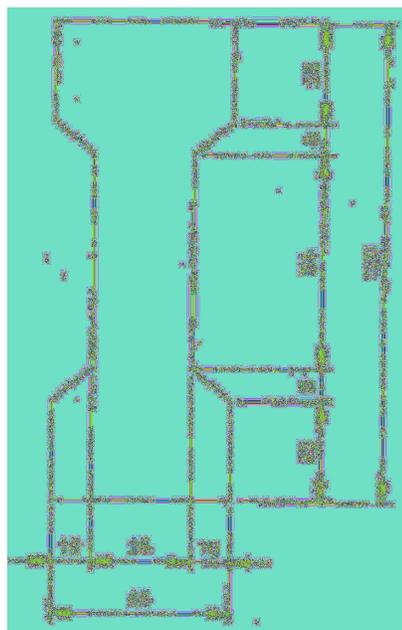


Figura 1.

#### 4.- Estrategia de refuerzo

La solución de refuerzo propuesta consiste en restituir la resistencia al cortante de las vigas mediante la instalación de compuestos de fibras de carbono adheridas al concreto. Aunque el sistema los permite, no se pretende aumentar la capacidad de carga viva de los puentes, sino solamente recuperar las condiciones del diseño original.

El sistema de refuerzo consiste en adherir al concreto existente tiras o bandas de tela hecha con fibras de carbono de alta resistencia mediante el uso de resinas epóxicas especiales.

La alta resistencia de los materiales permite lograr el objetivo planeado sin incrementar el peso muerto de las vigas (como resultaría de aumentar las dimensiones, si se elige la alternativa de engrosar las vigas con concreto), evitando costosas demoliciones (como es el caso de la alternativa propuesta de forro de las vigas con placas de acero), reduciendo el tiempo de rehabilitación de los puentes a menos de la mitad de los tiempos requeridos para las alternativas vistas.

El sistema no es sensible a la corrosión por exposición a ambientes agresivos como es el caso de las traveses de los puentes, lo cual se traduce en reducción de los costos de mantenimiento (especialmente si el refuerzo se hace con acero).

## **5.- Definición de acciones**

Dado que no se cuenta con información sobre la normatividad que rige las cargas de proyecto actuales, se tomarán para efectos de este estudio las mismas cargas consideradas en el dictamen existente.

### Carga muerta

Carpeta asfáltica= 165.4 ton

Losa de concreto= 198.5 ton

Banquetas= 9 ton

Parapeto= 1.5 ton.

TOTAL= 24.9 ton.

### Para cada viga individual

Total sobrecargas= 1.92 Ton/m

Peso propio viga= 1.04 Ton/m

TOTAL= 2.96 ton Ton/m

Carga viva

Se considera la carga para el vehículo HS-20 AASHTO aplicada en tres carriles de circulación.

Carga total = 32.63 ton en un tren de 3 ejes

Se considera una carga uniforme de 952 kg/m lineal de carril mas una carga concentrada de 11.8 ton para buscar el efecto mas desfavorable en cortante. Esta carga de carril se aplica en un ancho de 3.05 m.

Cada viga recibe  $1.3613.05=0.44$  veces la carga de carril

Cuando hay mas de un carril de tráfico se pueden reducir las cargas, por lo que para el caso de tres carriles se reducen al 90%.

Para tener en cuenta el efecto de vibraciones, la velocidad y el frenado el factor de impacto se calcula para una longitud de 15.033 m como 1.285.

En síntesis, la carga viva para cada una de las vigas será  
 $(0.44)(0.9)(1.285) C.V. = 0.51 C.V.$

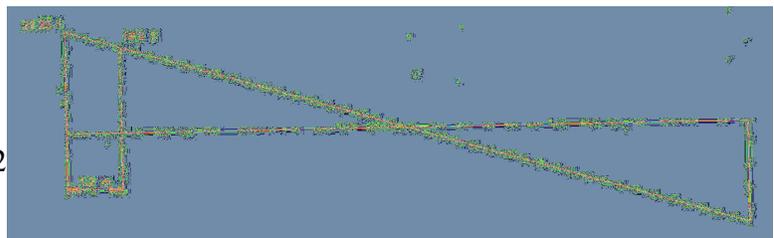
Esfuerzos de diseño los cortantes críticos para diseño se calcularán a una distancia igual al peralte medida desde el paño del apoyo:

Por carga muerta

V max= 22.25 ton

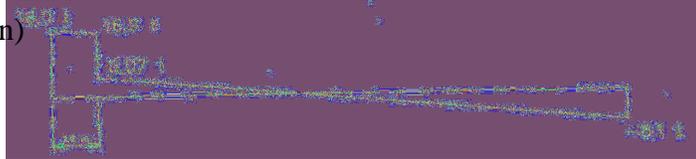
V diseño=18.7 ton 1.2

Por carga viva



La condición de máximo cortante será cuando la carga concentrada esté aplicada a 1.2 m del extremo de la viga. Se tomará como cortante de diseño el cortante a un paño del apoyo.

$$\begin{aligned} V_{\text{diseño}} &= 0.51 (16.9 \text{ ton}) \\ &= 8.6 \text{ ton} \end{aligned}$$



Factores de carga

FC carga muerta=1.3

FC carga viva + impacto=2.17

$$V_{\text{total}} = 1.3(18.7 \text{ ton}) + 2.17(8.6 \text{ ton}) = 24.31 \text{ ton} + 18.7 \text{ ton} = 42.9 \text{ ton}$$

## 6.- Diseño del refuerzo

Para el dimensionamiento de los componentes del sistema se siguieron los lineamientos de diseño contenidos en la "Guía de Diseño del Wabo Mbrace Strengthening System" versión 2002. En cuanto a las vigas de los puentes se siguieron las especificaciones para elementos presforzados de las Normas Técnicas para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto del Reglamento de construcciones para el D.F.

### Forma y colocación de la fibra

Se propone colocar como refuerzo primario tiras o bandas de fibra en forma vertical sobre ambas caras laterales verticales solamente. Las tiras se colocarán espaciadas entre si hasta cubrir la zona de los extremos de las vigas hasta una distancia de 3.0 m desde el paño del extremo. Si alguna de las fisuras se detecta fuera de esta distancia deberá prolongarse hasta abarcar la fisura.

Como refuerzo secundario se colocarán tiras horizontales en ambas caras de la viga para limitar la formación de grietas y para favorecer el anclaje de las tiras de refuerzo primario.

Adicionalmente se propone colocar tiras longitudinales por el lecho inferior de las vigas para evitar que las grietas principales existentes lleguen a abrirse nuevamente y se pueda llegar a reducir la resistencia del concreto al perderse la interacción por los agregados entre las partes de concreto.

Capacidad en cortante de la sección reforzada

La capacidad nominal a cortante está dada por la resistencia a cortante del concreto, la contribución del refuerzo a cortante y la contribución de la fibra de carbono

$$V_n = V_c + V_s + 0.85V_f$$

la resistencia de diseño por cortante  $\phi V_n$  se obtiene considerando  $\phi=0.85$  para que entonces se tenga que cumplir

$$V_u \leq \phi V_n$$

#### Resistencia a cortante del concreto

Aunque no se tiene información documental sobre la forma como se construyeron las vigas, se sabe que desde su inicio, la construcción de elementos presforzados contemplaba el uso de concretos de alta resistencia. Para fines de este estudio se supone que el concreto de las vigas puede tener una resistencia en compresión de  $f_c=300 \text{ kg/cm}^2$  aunque es muy importante para una etapa mas avanzada del proyecto verificar la resistencia real del concreto.

Las condiciones actuales de agrietamiento de las vigas obligan a pensar en una resistencia a cortante disminuida importantemente, sin embargo es necesario restituir en parte la resistencia original inyectando las grietas con resinas epóxicas en estado fluido.

De acuerdo con las normas técnicas, para elementos de concreto presforzado aplican las secciones 2.1.5.a y 2.1.5.1V:

Deben cumplirse las siguientes dos condiciones:

- a) la dimensión  $h$  de la viga no excede de 70 cm.
- b) la relación  $h/I_b$  no excede de 6

por cada una que no se cumpla, la resistencia a cortante del concreto  $V_{cr}$  calculada se reducirá en 30%.

Se tiene  $h=120 \text{ cm} > 70 \text{ cm}$  no se cumple

$h/b=120/25=4.8 < 6$  si se cumple por lo anterior  $V_{cr}$  calculada se reducirá en 30%

según la ecuación 2.19

$$V_{cr} = F_R b d (0.15 \sqrt{f'_c} + 50 \frac{V d_P}{M})$$

Donde:

$F_R=0.8$

$b=25 \text{ cm}$

$d=115 \text{ cm}$

$r''c=0.8(f_c)=240 \text{ kg/cm}^2$

$d_p=107 \text{ cm}$

$M$

De los diagramas de cortantes

$V_{\text{total}} = V_{cm} + V_{cv} = 18.7 + 8.6 = 27.3 \text{ ton}$

$M_{\text{total}} = M_{cm} + M_{cv} = 24.5 + 10.7 = 35.2 \text{ ton-m}$

Se obtiene  $V_{cr}=100.7 \text{ ton}$

Pero se deben cumplir los siguientes límites

$$V_{cr} \geq 0.5 F_R b d \sqrt{f'_c} = 17.8 t$$

$$V_{cr} \leq 1.3 F_R b d \sqrt{f'_c} = 46.3 t$$

de lo anterior y aplicando la reducción del 30% se tiene que

$$V_{cr} = 0.70(46.3) = 32.4 \text{ ton}$$

Dado el estado de agrietamiento del concreto se considera conservadoramente una reducción adicional de 20 %, por lo que  $V_{cr}=0.80(32.4)=25.9$  ton

Contribución del acero de refuerzo a cortante.

Para evitar hacer consideraciones exageradas, se supone que la viga cumple con los requisitos mínimos de refuerzo por cortante especificados en la sección 2.1.5.b. de las normas técnicas. Es importante verificar físicamente en las vigas la cantidad de acero de refuerzo por cortante y entonces podrán ajustarse las cantidades aquí calculadas.

Se supone que el refuerzo mínimo por cortante que debería tener la viga es de estribos #3 verticales separados a una distancia de 50 cm, a la que corresponde una contribución del refuerzo al cortante de

$$V_s = \frac{F_R A_v f_y d}{S} = 10.9t$$

Contribución de la fibra de carbono al cortante

De la ecuación de diseño puede determinarse el cortante nominal de la fibra

$$V_f = \frac{V_n - V_c - V_s}{0.85}$$

Donde

de la ecuación de diseño

$$V_n = V_u \phi (J = 42.9 \text{ ton} / 0.85 = 50.5 \text{ ton} ,$$

$$V_c = 25.9 \text{ ton}$$

$$V_s = 10.9 \text{ ton}$$

Se tiene entonces que  $V_f = 16.1$  ton

En el anexo 1 se incluyen los cálculos del dimensionamiento del sistema de fibras de carbono, en donde se determina colocar como refuerzo primario tiras o bandas verticales de 5 pulgadas de ancho separadas a 8 pulgadas centro a centro.

Cada tira consistirá en tres capas de fibra Mbrace CF130.

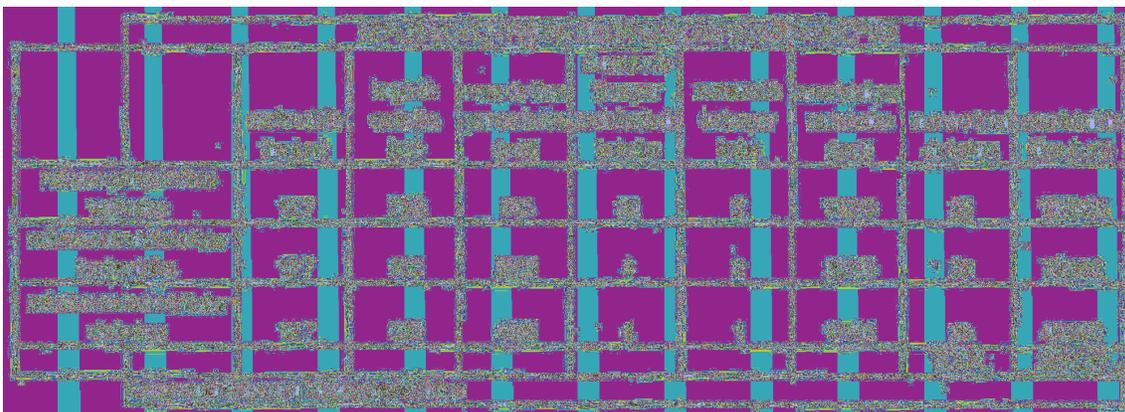
El refuerzo secundario consistirá en tiras horizontales de 5 pulgadas de ancho colocadas como se indica en los dibujos y formadas por dos capas de fibra Mbrace CF130. La colocación de las tiras de refuerzo se alternan colocando primero una tira vertical de refuerzo primario y después una tira horizontal del refuerzo secundario y así sucesivamente hasta completar el numero de capas.

Se colocará también un refuerzo en el lecho inferior de las trabes para asegurar que aun después de la inyección de las grietas con resinas las grietas más grandes que actualmente se observan por el lecho inferior no vuelvan a abrirse.

## 7.- Dibujos para construcción

En el anexo 2 se presentan dibujos de una viga típica en donde se indica la geometría del refuerzo propuesto ilustrando la forma en que deben colocarse las tiras del refuerzo primario y el refuerzo secundario en las caras laterales de las trabes así como también las tiras de refuerzo propuestas para el lecho inferior de cada trabe.

Se incluye una, tabla con las cantidades de material desglosadas para una correcta interpretación de la propuesta de refuerzo así como también facilitar la estimación del costo del refuerzo.



## **8.- Especificaciones y procedimiento constructivo**

El sistema de refuerzo está basado en la adherencia de las fibras al concreto existente, por lo que es vitalmente importante que se utilicen los materiales especificados y sean manejados e instalados de acuerdo con las recomendaciones incluidas en "Wabo Mbrace Engineering Design Guidelines· tercera edición de mayo de 2002, que se puede consultar en la siguiente dirección electrónica: [www.wbacorp.com](http://www.wbacorp.com). Cualquier falla u omisión de procedimientos o control de calidad señalados en las especificaciones de construcción incluidas en el capítulo 11 afectará la seguridad e integridad del sistema por lo que se recomienda a la contratista y a la supervisión que conozcan y dominen en su totalidad dicho documento.

### Notas generales

8.1.- Todas las dimensiones de trabes y elementos existentes deberán ser verificadas en obra antes de realizar cualquier trabajo.

8.2.- Cualquier modificación al proyecto o especificaciones deberá ser autorizada por escrito por el proyectista.

8.3.- Es responsabilidad de la contratista la correcta interpretación de las especificaciones y del proyecto, la utilización de los materiales con la calidad especificada y el uso de mano de obra calificada.

### Materiales

8.4.- El refuerzo propuesto en este estudio se hará con el sistema compuesto de refuerzo WABO MBRACE, que consiste en la utilización de los siguientes materiales:

- a) Wabo MBrace primario
- b) Wabo MBrace pasta
- e) Wabo MBraca saturante
- d) Wabo MBrace fibras tipo CF 130
- e) Wabo MBrace topcoat

Ver las especificaciones del sistema en el manual para el control de calidad de los materiales.

### Procedimiento constructivo

8.5.- La aplicación del refuerzo en las traveses con el sistema Wabo MBrace deberá ser realizada por un contratista especializado y certificado especialmente por Master Builders Technologies.

8.6.- Reparación de grietas en el concreto existente.- La inyección de resinas epóxicas en las grietas pretende recuperar la uniformidad e integridad del concreto, aunque debe aceptarse que las resinas no alcanzan a penetrar en las fisuras más finas. El procedimiento de inyección es delicado y puede ser realizado solo por personal especializado. Para la inyección de las grietas deberán seguirse como mínimo los siguientes pasos:

8.6.a) Inspeccionar cuidadosamente el elemento por reparar y registrar todas las grietas existentes. Aquellas que tengan un ancho de grieta mayor de 0.25 mm son las que deberán ser inyectadas. Estas deberán registrarse en forma especial para diferenciarlas de las demás grietas detectadas. El registro se realizará en una bitácora especial dedicada solo a la reparación del puente.

Una vez identificada la grieta por inyectarse deberán marcarse físicamente sus límites.

8.6.b) Se limpiará con carda o cepillo de alambre la superficie sobre la grieta en un ancho de 5 cm.

8.6.c) Limpiar con aire comprimido libre de agua y aceite todo el polvo en el interior de la grieta y en la superficie. Retirar cualquier partícula suelta.

8.6.d) Colocar las boquillas de inyección pegándolas con resina epóxica en pasta, cuidando de que no se tape la boquilla. Las boquillas de inyección serán colocadas a una separación de 15 cm entre sí ando por el extremo mas bajo de la grieta. La última boquilla coincidirá con el extremo superior de la grieta. Las boquillas se colocarán por ambos lados de las trabes para permitir la salida del aire atrapado en las grietas.

8.8.- Aplicación de Wabo MBrace primario.-, Aplicar uniformemente en la superficie de concreto ya preparado mediante aplicación con rodillo.

8.9.- Aplicación de Wabo MBrace pasta.- Aplicar MBrace pasta a la superficie imprimada utilizando llana. Con la pasta se rellenan cualquier defecto superficial (no es necesario hacer un cubrimiento completo) y puede .ser aplicado inmediatamente después del primario aunque no haya transcurrido su tiempo de curado.

8.10.- Aplicación de la primera capa del Wabo MBrace saturante.- Debe aplicarse a una superficie a la cual ya se le haya aplicado el primario y la pasta, usando un rodillo dejando .un espesor de 0.4 a 0.5 mm: Puede aplicarse inmediatamente después del primario o la pasta antes de que se cumpla su tiempo de curado, o bien hasta después del curado pero en este caso habrá que hacer una limpieza superficial previa.

8.11.- Aplicación de la tela de fibra Wabo MBrace.- Medir y cortar las tiras de fibra antes de instalar en la superficie. Deben verificarse las dimensiones físicamente antes de cortar la fibra.

Colocar la tira en UNA SOLA CAPA en la superficie del concreto y oprima suavemente contra la resina de saturación. Eliminar las burbujas de aire con una llana.

Rodar un rodillo nervado en la dirección de las fibras para facilitar la impregnación. No debe pasarse el rodillo nervado en la dirección transversal a las fibras porque pueden dañarse.

8.12.- Aplicación de la segunda capa de Wabo MBrace saturante.- Después de la colocación y la aplicación del rodillo sobre la lámina de fibra, aplicar una segunda capa de saturante con un rodillo a un espesor de 0.4 a 0.5 mm.

8.13.- Aplicación de capas subsecuentes.- Deberá colocarse la primera capa de las tiras verticales de refuerzo primario. Enseguida se colocará la primera capa de las tiras horizontales del refuerzo secundario repitiendo los pasos descritos en 8.10, 8.11 y 8.12. Solo hasta entonces podrá colocarse la segunda capa del refuerzo primario vertical hasta colocar sucesivamente todas las capas intercaladas de los refuerzos primario y secundario.

8.6.e) Posteriormente se sellará superficialmente la grieta con resina epóxica en pasta, cubriendo un ancho de 2 cm a cada lado de la grieta con una profundidad deseable de 1 mm dentro de la grieta. Debe sellarse cuidadosamente a los lados de cada boquilla de inyección colocada previamente. Deberá dejarse secar por lo menos tres horas la resina usada para fijar las boquillas, antes de cubrir la grieta.

8.6.f) Inyectar a presión la resina epóxica fluida. La inyección deberá comenzar por la boquilla mas baja y observar la boquilla inmediata superior hasta que expulse todo el aire atrapado y comience a fluir la resina. En ese momento se bloquea la primera boquilla y se inicia la inyección por esta segunda boquilla, repitiendo la secuencia sucesivamente para cada boquilla. En la última boquilla, un a vez que se asegura que ya no hay aire atrapado se aplicará un poco de presión adicional para después bloquearla.

8.6.g) Es posible que las grietas estén interconectadas por el interior del concreto por lo que se recomienda tener preparadas todas las grietas con sus boquillas antes de iniciar la inyección.

8.7.- Preparación del sustrato de concreto.- La integridad del sistema dependerá de la calidad y resistencia del concreto así como de la adherencia entre las fibras y el concreto.

La superficie del concreto debe estar libre de materiales sueltos y contaminantes superficiales, lechadas, polvo, suciedad, aceites, compuestos de curado, etc.

Todos los desconchamientos, hoyos o defectos superficiales ocasionados por impacto deberán repararse con morteros de la familia Emaco de MBT.

Si se detecta corrosión en las varillas de acero de refuerzo deberá notificarse para hacer una evaluación de la extensión del problema y tratarlo apropiadamente antes de proseguir con la construcción del refuerzo.

Es necesario abrir la estructura de poros del concreto mediante abrasión mecánica por medio de esmerilado o chorro de arena.

8.14.- Aplicación de capa protectora, Wabo MBrace topcoat.- Una vez que se cure el saturante y deje de estar pegajoso podrán aplicarse capas protectoras de Wabo MBrace topcoat, tanto para fines de protección como estéticos. Este recubrimiento es recomendable aunque no necesario dado que las fibras tienen una alta resistencia a la corrosión. El sistema es vulnerable al fuego por lo que deberá evaluarse la exposición y elegir el recubrimiento en función de la protección deseada.

## **9.- Conclusión y advertencia**

Antes de proceder a la construcción del refuerzo de los puentes, es necesario resaltar que la definición del refuerzo y sus características fueron calculadas sin tener información documental del proyecto y los materiales que fueron usados para su construcción. Los cálculos fueron hechos haciendo consideraciones lo mas realistas posibles para poder brindar la posibilidad de estimar el costo y ventajas del refuerzo.

Se requiere verificar que la geometría de las trabes coincida con los datos considerados en el análisis, y hacer además una medición precisa de las deformaciones que presenta actualmente cada trabe.

Es muy importante que se hagan muestreos del concreto suficientes para determinar experimentalmente su resistencia a la compresión. Es importante también que se realice un estudio de localización de las varillas de refuerzo por cortante definiendo su diámetro y posición.

Cuando se disponga de estos datos podrán repetirse los cálculos para ratificar o corregir la propuesta de refuerzo y poder así asegurar y garantizar la correcta operación del sistema. Muy posiblemente puedan disminuirse los volúmenes de fibra cuando se tengan los datos reales de las propiedades del concreto y la cantidad de refuerzo por cortante.

28 de febrero de 2003





## **APÉNDICE-4**

### **PRODUCTOS COMERCIALES PARA REPARACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN**

## Placas Sika® CarboDur®

### Placas pultruidas de fibra de carbono para reforzamiento estructural.

#### Descripción

Las Placas Sika CarboDur son láminas de polímero reforzado con fibras de carbono fabricadas mediante proceso de pultrusión, diseñadas para reforzamiento de estructuras de concreto, madera y mampostería.

Las placas Sika CarboDur se adhieren a las estructuras como refuerzo externo mediante la resina epóxica Sikadur-30.

#### Usos

Para reforzar estructuras por:

- Incremento de cargas:
  - Aumentando la capacidad de losas y trabes
  - Aumentando la capacidad de puentes por actualización de cargas vehiculares
  - Instalación de maquinaria pesada
  - Cambios en el uso de la estructura.
- Daño en elementos estructurales:
  - Envejecimiento de los materiales de construcción
  - Corrosión en el acero de refuerzo
  - Impacto de vehículos
  - Incendios
  - Terremotos
- Mejoramiento de la capacidad de servicio:
  - Reducción de deformaciones
  - Reducción de esfuerzos en el acero de refuerzo
  - Reducción del ancho de fisuras
- Modificaciones del sistema estructural:
  - Eliminación de muros o columnas
  - Eliminación de secciones en losas para aberturas de vanos
- Actualización de estructuras a reglamentos y normas vigentes:
  - Sísmico
  - Cambio de filosofía de diseño
- Errores de diseño o construcción.
  - Acero de refuerzo insuficiente o inadecuado
  - Dimensiones insuficientes de los elementos estructurales

#### Ventajas

- No se corroe
- Muy alta resistencia
- Excelente durabilidad
- Muy bajo peso propio
- Disponible en cualquier longitud, no se requieren juntas
- Muy bajo espesor del sistema, puede pintarse
- Fácil manejo y transporte (en rollos)
- Gran facilidad para el traslape e intersección de las placas
- Extremadamente fácil de instalar, especialmente en posición sobre-cabeza
- Sobresaliente resistencia a la fatiga
- Requiere mínima preparación de la placa
- Alta resistencia a la alcalinidad
- Bordes libres de fibras expuestas gracias al proceso de fabricación por pultrusión
- Sistema aprobado por la industria de la construcción en numerosos países.



## Aprobaciones

**Alemania:** Deutsches Institut für Bautechnik Z-36.12-29, 2002: General Construction Authorization for Sika CarboDur.

**Francia:** SOCOTEC Rapport No. HX0823, 2000: Rapport d'enquete technique / cashier des charges – Sika CarboDur / SikaWrap.

**Noruega:** NBI Teknisk Godkjenning, NBI Technical Approval, No. 2178, 2001.

**Eslovenia:** ZAG, Technical Approval No. S418/99-620-2, za uporabo nacina ojacitev armirano betonskih in prednapetih elementov konstrukcij z dolepljenjem lamel iz karbonskih vlaken "Sika CarboDur" v Republiki Slononiji.

**Eslovaquia:** TSUS, Building Testing and Research Institutes, Technical approval No. 5502A/02/0633/0/004, 2003: Systém dodatocného zosilnovania zelezobetonomvych a drevenych konstrukcii Sika CarboDur.

**Polonia:** Instytut badawczy drog i mostow, technical approval No. AT/2003-04-0336, System materialow Sika CarboDur do wzmacniania konstrukcji obiektow mostowich.

**Estados Unidos:** ACI 440.2R-02, Guide for the Design and construction of Externally Bonded FRP Systems for concrete strengthening concrete structures, October 2002.

**Inglaterra:** Concrete Society Technical Report No. 55, Design guidance for strengthening concrete structures using fiber composite material, 2000.

**Suiza:** SIA 166, Klebebewehrungen, 2003/2004.

**Internacional:** Fib, Technical Report bulletin 14: Externally bonded FRP reinforcement for RC structures, July 2001.

## Datos del producto

**Estado Físico:** Placa semiflexible.

**Color:** Negro.

## Presentación

Láminas Sika CarboDur

Disponibles a la longitud deseada de acuerdo al proyecto o en rollos de 250 m.

Tipo	Ancho (cm)	Espesor (mm)	Área de la sección transversal (cm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad (MPa)
Sika CarboDur S1012	10	1,2	11,2	165 000

## Almacenamiento

Tiempo / Condiciones

Ilimitada (sin exposición directa a los rayos del sol en condición seca).

## Datos Técnicos

Láminas Sika CarboDur:

**Densidad:** 1,6 gr/cm<sup>3</sup>

**Resistencia a la temperatura:** > 150 °C

**Contenido de fibras en volumen:** ≥68 %

## Propiedades de las láminas Sika CarboDur:

Propiedad	Tipo S
Módulo de elasticidad* (valor medio)	165 000 MPa (1 650 000 kg/cm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad* (valor mínimo)	>160 000 MPa (1 600 000 kg/cm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad* (5% de valor frágil)	162 000 MPa (1 620 000 kg/cm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad* (95% de valor frágil)	180 000 MPa (1 800 000 kg/cm <sup>2</sup> )
Resistencia a la tensión* (valor medio)	3 100 MPa (31 000 kg/cm <sup>2</sup> )
Resistencia a la tensión* (valor mínimo)	>2 800 MPa (28 000 kg/cm <sup>2</sup> )
Resistencia a la tensión* (5% de valor frágil)	3 000 MPa (30 000 kg/cm <sup>2</sup> )
Resistencia a la tensión* (95% de valor frágil)	3 600 MPa (36 000 kg/cm <sup>2</sup> )
Deformación a la ruptura* (valor mínimo)	>1.7 %

Deformación de diseño\*\*

0.85 %

\*Propiedades mecánicas obtenidas para la dirección longitudinal de las fibras.

\*\* Estos valores deben usarse como la deformación máxima en las placas CFRP y deben adaptarse al código de diseño aplicable. Dependiendo del tipo de estructura y las condiciones de carga, el Ingeniero Estructurista responsable del diseño podrá reducirlo de acuerdo a los requerimientos de las normas aplicables.

**Datos del Sistema**     **Sika CarboDur + Sikadur-30**

### Detalles de Aplicación

CONDICIONES	INDICACIONES	RECOMENDACIONES
	1:0.8	1:0.8
		Este mortero se recomienda para reparaciones de concreto, para reparaciones de juntas de construcción y para la reparación de superficies de concreto y mampostería.
<b>Características</b>	<b>Flexibilidad y adherencia.</b>	La resistencia a la tracción y adherencia de este mortero se basa en la estructura porosa del mortero de reparación. La adherencia se logra con los ácidos orgánicos que se encuentran en el mortero de reparación. La resistencia del mortero de reparación se basa en la estructura porosa del mortero de reparación y la adherencia se logra con los ácidos orgánicos que se encuentran en el mortero de reparación. El mortero de reparación de concreto se aplica en las superficies de concreto.
<b>Preparación del sustrato</b>	<b>Limpiar y preparar</b>	El sustrato debe limpiarse y prepararse hasta quedar libre de lechada y contaminantes, con una superficie de textura abierta.

El concreto debe limpiarse y prepararse hasta quedar libre de lechada y contaminantes, con una superficie de textura abierta.

Las reparaciones y nivelaciones que requiera la superficie deberán realizarse con mortero de reparación estructural como el Sikadur-30 mezclado con Sikadur Arena en una proporción que no exceda de 1:0.8 medida en peso. Para adaptarse a las condiciones particulares de cada obra se deberán realizar pruebas en campo de la aplicación y trabajabilidad del mortero elaborado.

**Madera:**

Preparada por cepillado, esmerilado o sanblasteado. El polvo debe retirarse con aspiradora.

**Acero:**

Preparado por granallado, libre de grasas, aceite o corrosión y cualquier otro contaminante que inhiba la adherencia. Utilice un primario adecuado.

Se deberá evitar la condensación de humedad (punto de rocío) en las superficies tanto del sustrato como de los materiales de refuerzo .

---

**Condiciones de Aplicación / Limitaciones**

---

**Temperatura del sustrato** Ver hoja técnica del Sikadur-30.

---

**Temperatura ambiente** Ver hoja técnica del Sikadur-30.

---

**Contenido de humedad del sustrato** Ver hoja técnica del Sikadur-30.

---

**Punto de rocío** Ver hoja técnica del Sikadur-30.

---

**Instrucciones de aplicación**

---

**Mezclado** Ver hoja técnica del Sikadur-30.

---

**Tiempo de Mezclado** Ver hoja técnica del Sikadur-30.

---

**Método de aplicación / Herramientas**

Colocar la placa Sika CarboDur en una superficie lisa, preferentemente una mesa de trabajo, limpiar la superficie a pegar mediante Sika Limpiador con un paño blanco. Aplique el adhesivo Sikadur-30, sobre la superficie previamente preparada y limpia, mediante espátula para formar una capa de aproximadamente 1 mm de espesor. Coloque el Sikadur-30 sobre la placa CarboDur mediante una espátula labrada con forma de "domo", con espesor mínimo de 1 mm y máximo de 2 mm.

Dentro del tiempo de vida útil del adhesivo, coloque la placa Sika CarboDur recubierta con el Sikadur-30 sobre el concreto recubierto con el adhesivo. Utilizando un rodillo de hule macizo, presione la placa sobre el adhesivo hasta expulsar material por ambos lados de la misma. Remueva el exceso de producto.

**Traslapes o capas múltiples:**

En caso de cruces entre placas, la placa ya colocada deberá limpiarse con Sika Limpiador antes de colocar el adhesivo para la segunda capa. Si se requiere colocar más de una capa, se deberán limpiar por ambas caras de las placas.

**Control de calidad:**

Se deben obtener muestras del adhesivo utilizado en obra para control de calidad de la velocidad de curado y resistencias.

Los valores promedio para muestras curadas durante 7 días a 23 °C son:

- Resistencia a compresión > 59 MPa (590 kg/cm<sup>2</sup>)
  - Resistencia a flexión > 28 MPa (280 kg/cm<sup>2</sup>)
- 

**Limpieza de Herramientas**

Limpiar inmediatamente todas las herramientas con Sika Limpiador. El adhesivo Sikadur-30 una vez que ha endurecido solo puede retirarse por medios mecánicos.

---

**Vida Útil**

Ver hoja técnica del Sikadur-30.

---

**Limitaciones**

El diseño de los sistemas de reforzamiento deberá realizarlo un Ingeniero Estructurista.

Los sistemas indicados en este documento son de carácter estructural y deben diseñarse y colocarse por personal capacitado para este fin.

Solo coloque las placas dentro del periodo de vida útil del Sikadur-30.

Se debe tener cuidado cuando se realice el corte de las placas. Utilice ropa de protección, guantes, lentes de seguridad y protección respiratoria.

El sistema Sika CarboDur debe protegerse de la exposición directa a la luz solar.

## Sikadur® 30

Adhesivo estructural de alto módulo y alta resistencia para usarse con el Sistema de reforzamiento Sika CarboDur.

<b>Descripción</b>	<b>Sikadur 30</b> es un adhesivo epóxico de uso estructural de dos componentes, 100% sólidos, tolerante a la humedad, de alto módulo y alta resistencia. Cumple con las normas ASTM C-881 y AASHTO M-235.	
<b>Usos</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Adhesivo para refuerzo externamente adherido para concreto, mampostería, acero, madera, piedra, etc.</li><li>■ Adhesivo estructural para pegado de las placas de materiales compuestos (Sika CarboDur) al concreto.</li><li>■ Adhesivo estructural para pegado de placas de acero al concreto.</li><li>■ Puede colocarse en superficies verticales y sobre cabeza.</li><li>■ Como base para elaborar morteros epóxicos para reparación.</li></ul>	
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Larga vida útil.</li><li>■ Resistente a la humedad antes, durante y después del curado.</li><li>■ Mortero adhesivo de uso estructural de alta resistencia y alto módulo.</li><li>■ Excelente adherencia al concreto, mampostería, metales, madera y la mayoría de los materiales estructurales.</li><li>■ Totalmente compatible y excelente adherencia a las placas de materiales compuestos Sika CarboDur.</li><li>■ Mortero de consistencia ideal para aplicaciones verticales y sobre cabeza.</li><li>■ Alta resistencia al flujo plástico bajo cargas permanentes.</li><li>■ Alta resistencia a la abrasión e impacto.</li><li>■ Fácil dosificación A : B = 3 : 1 en volumen.</li><li>■ Libre de solventes.</li><li>■ Componentes de diferente color para garantizar el correcto mezclado.</li></ul>	
<b>Datos del producto</b>	<b>Estado Físico</b>	Mortero tixotrópico.
	<b>Color</b>	Mezcla: Gris claro.
	<b>Presentación</b>	Unidades (componentes A+B) de 3.78 l (7.4 kg).
<b>Almacenamiento</b>		
<b>Tiempo / Condiciones</b>	24 meses almacenado en su empaque original sellado en lugar seco a una temperatura entre 4 °C y 35 °C.	



## Datos Técnicos

**Densidad:** 1.95 kg/l aprox.

**Relación de la mezcla:** 3:1 en volumen

**Vida útil:** 70 minutos a +23 °C (945 g)

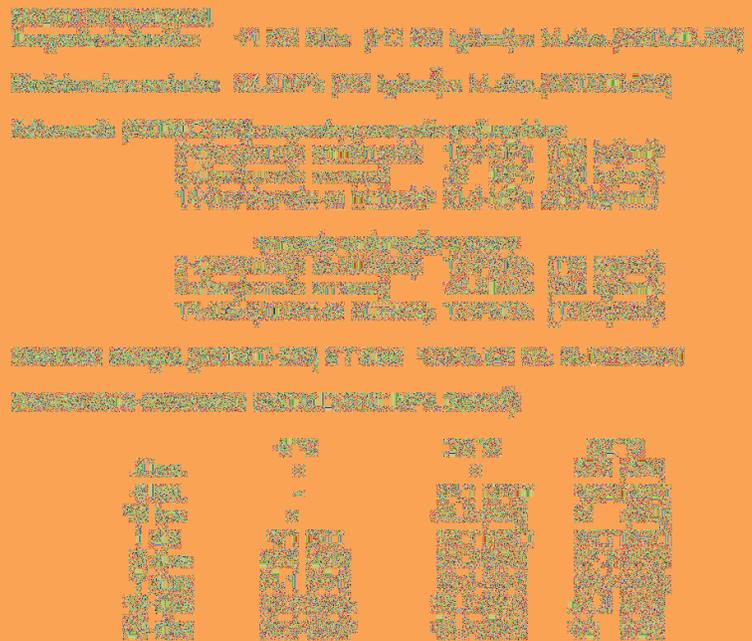
**Temperatura de deflexión:** +47 °C (ASTM D-648)

**Resistencia a la flexión:** 24.8 MPa (248 kg/cm<sup>2</sup>) a 7 días (ASTM D-638)

**Elongación a la ruptura:** 1% a 7 días (ASTM D-638)

**Módulo de elasticidad:** 4 482 MPa (44 820 kg/cm<sup>2</sup>) a 7 días (ASTM D-638)

**Resistencia a la flexión:** 46.8 MPa (468 kg/cm<sup>2</sup>) a 14 días (ASTM D-790)  
(Módulo de ruptura)



**Módulo de compresión:** 2 689 MPa (26 890 kg/cm<sup>2</sup>) a 7 días (ASTM D-695)

Nota: Estos valores pueden variar debido a la cantidad de aire atrapado introducido durante el proceso de mezclado.

## Aplicación

### Preparación del Sustrato

La superficie del concreto debe prepararse al perfil mínimo de superficie de concreto (CSP) 3 definido en la plantilla de perfil de superficie del Instituto Internacional de Reparación del Concreto (ICRI). Las desviaciones de planicidad de la superficie no deben ser mayores a 1 mm. La superficie debe estar limpia y seca, seca o húmeda, pero libre de agua encharcada. Remover de la superficie polvo, lechada, grasa, curadores, impregnaciones, ceras, partículas extrañas, materiales en proceso de desintegración y cualquier material que pueda inhibir la adherencia. Las irregularidades fuera de tolerancia deben rellenarse con un mortero de reparación apropiado (elaborando uno con el Sikadur-30 agregándole 0.8 partes de arena seca en horno, se deberán realizar pruebas para encontrar la relación mas adecuada dependiendo de la consistencia requerida). La resistencia a la tensión del concreto debe verificarse después de la preparación de la superficie mediante pruebas de adherencia aleatorias (pull off ACI 503R). La resistencia mínima a la tensión del concreto debe ser de 1.4 MPa (14 kg/cm<sup>2</sup>) con falla en el concreto base.

---

**Limpieza de Herramientas**

Limpiar inmediatamente todas las herramientas con Sika Limpiador. El adhesivo Sikadur-30 una vez que ha endurecido solo puede retirarse por medios mecánicos.

---

**Condiciones de Aplicación / Limitaciones**

**Temperatura de Aplicación** Temperatura mínima (ambiente y sustrato): 10 °C  
Temperatura máxima : 35 °C

**Humedad del Sustrato** El sustrato debe estar seco (contenido máximo de humedad 4%).

---

**Medidas de Seguridad**

Este producto puede causar irritación en la piel de personas sensibles. Utilizar guantes o aplicar una capa de crema protectora en las manos y la piel desprotegidas antes de utilizarlo.

Usar gafas de seguridad durante los trabajos. En caso de contacto con los ojos o membranas mucosas, lavar inmediatamente con agua tibia y limpia y acudir al médico. Los componentes sin curar del material son contaminantes de agua y por lo tanto no deberán desecharse en el suelo, drenaje o fuentes de agua. Los sobrantes de Sika Limpiador y Sikadur-30 deberán eliminarse de acuerdo a las disposiciones locales.

---

**Notas Importantes**

Los materiales y envases sobrantes deben ser desechados adecuadamente. Estos materiales deben mantenerse fuera del alcance de los niños.

---

**Advertencia**

Los productos **Sika** han sido desarrollados con altos estándares de calidad y de acuerdo a nuestra amplia experiencia. Los productos fabricados por **Sika**, tal como se venden, cumplen los fines para los cuales han sido fabricados. No obstante, no se responde por variaciones en el método de empleo, por condiciones en que sean aplicados, cuando la vigencia del producto esté vencida, si son utilizadas en forma que afecten la salud o cualquier patente propiedad de otros. Para su uso consulte las instrucciones y tome en cuenta las precauciones que en ellas se establece. Para usos especializados o cuando surjan dudas respecto al uso o aplicación de este producto, consulte a nuestro **Departamento de Soporte Técnico al 01 800 123 7452**.

**Sika Mexicana S.A. de C.V.****Sika Responde****01 800 123 7452**[Hsoporte.tecnico@mx.sika.com](mailto:Hsoporte.tecnico@mx.sika.com)H[Hwww.sika.com.mx](http://www.sika.com.mx)H**Planta y Regional Bajío**

Tel:(442) 2 38 58 00

Fax: (442) 2 25 05 37

[Hregional.bajio@mx.sika.com](mailto:Hregional.bajio@mx.sika.com)H**Regional Centro**

Tels. ( 55 ) 26 26 54 30

Fax: (55) 26 26 54 44 ó 45

[Hregional.centro@mx.sika.com](mailto:Hregional.centro@mx.sika.com)H**Regional Occidente**

Tel: (33) 38 38 03 65

Fax: (33) 38 38 43 60

[Hregional.occidente@mx.sika.com](mailto:Hregional.occidente@mx.sika.com)H**Regional Norte**

Tel: (81) 83 90 19 06 y 07

Fax: (81) 83 90 19 08

[Hregional.norte@mx.sika.com](mailto:Hregional.norte@mx.sika.com)H**Regional Sureste**

Tel/Fax: (229) 921 82 79 y 86 79

[Hregional.sureste@mx.sika.com](mailto:Hregional.sureste@mx.sika.com)H**Regional Noroeste**

Tel/Fax: (662) 260 51 00

218 50 54 y 55

[Hregional.noroeste@mx.sika.com](mailto:Hregional.noroeste@mx.sika.com)H**Regional Baja Norte**

Tel/Fax: (664) 621 73 55

621 66 28 y 67 75

[Hregional.bajanorte@mx.sika.com](mailto:Hregional.bajanorte@mx.sika.com)H**Oficina Baja Sur**

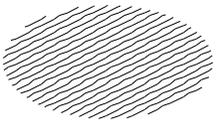
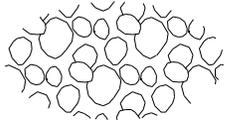
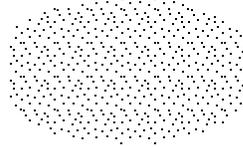
Tel/Fax: (612)121 44 07 y 165 41 33

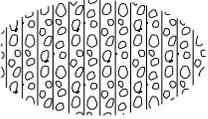
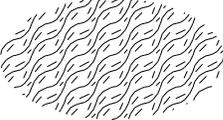
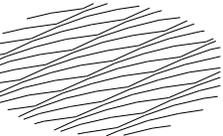
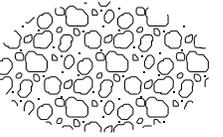
[Hoficina.bajasur@mx.sika.com](mailto:Hoficina.bajasur@mx.sika.com)H

## **APÉNDICE-5**

### **Ingredientes de los materiales para reparación**

## Ingredientes de los materiales para reparación

Ingredientes	Descripción	Beneficio
<p><b>Aglomerante</b></p> 	<p>El aglomerante es un pegamento que une todos los rellenos y agregados juntos para formar un material compuesto. Los materiales aglomerantes incluyen: cemento Pórtland, otros cementos hidráulicos, acrílicos epóxicos.</p>	<p>Los cementos Pórtland se usan para la mayoría de los trabajos de reparación en general. Los materiales poliméricos tales como epóxicos y acrílicos se usan para aplicaciones especiales que requieren resistencia química, o aplicaciones muy delgadas.</p>
<p><b>Agregado fino</b></p> 	<p>Los agregados se usan para reducir el volumen del aglomerante y resaltar las propiedades mecánicas. Los agregados finos pueden usarse sin la adición de agregados gruesos.</p>	<p>Los agregados finos adecuadamente graduados reducen el contenido y la contracción del aglomerante. Pueden usarse agregados especiales para mejorar la resistencia a abrasión. La forma de los agregados afecta el grado en que el material puede ser compactado y acabado cuando se usa con llanas.</p>
<p><b>Agregado grueso</b></p> 	<p>Los agregados gruesos reducen más eficientemente el volumen total del aglomerante que los agregados finos, y realzan las propiedades mecánicas generales.</p>	<p>Los agregados gruesos reducen la contracción por secado. Los agregados especiales se usan para aumentar la resistencia a abrasión.</p>
<p><b>Rellenadotes especiales</b></p> 	<p>Los rellenos especiales llenan los espacios dejados por los agregados finos y gruesos. Algunos rellenos (ceniza volante, micro sílice) reemplazan algunos de los cementos requeridos. Los rellenos también se usan para mejorar la cohesión interna.</p>	<p>El micro sílice incrementa la resistencia y reduce la permeabilidad.</p>

<p><b>Modificadores de polímeros</b></p> 	<p>Los modificadores de polímeros se usan para resaltar las propiedades del material de reparación. El látex (SBR) es el más común. Otros modificadores incluyen acrílico PVA y emulsiones epóxicas.</p>	<p>Algunos polímeros realzan las propiedades del material de reparación. El látex se usa para reducir la permeabilidad e incrementar la resistencia de adherencia con el sustrato, y reduce el módulo de elasticidad.</p>
<p><b>Refuerzo de fibras</b></p> 	<p>El refuerzo plástico o de fibras de acero se usa para agregar resistencia a tensión y tenacidad al material de reparación.</p>	<p>El refuerzo de fibras proporciona control del agrietamiento por contracción. Las fibras de acero y en algunos casos las fibras de plástico, realzan la tenacidad y la resistencia al impacto y la abrasión.</p>
<p><b>Modificadores químicos diversos</b></p> 	<p>Se usan diversos modificadores para realzar y modificar el comportamiento de material de reparación. Ellos incluyen acelerantes, retardantes, adicicionantes, compensadores de contracción, reductores de agua, agentes fluidificadores, agentes de expansión y aditivos inclusores de aire.</p>	<p>El uso de modificadores permite el control de algunas de las propiedades de los materiales curados y sin curar.</p>
<p><b>Material de reparación</b></p> 	<p>El material de reparación es una combinación de aglomerantes, agregados, rellenos y rellenos que optimizan la efectividad, factibilidad de construcción, durabilidad y posible comportamiento.</p>	<p>El diseño del material debe mantenerse en su forma simple. No utilice más ingredientes de los que sean necesarios. Los materiales complejos generalmente causan más problemas.</p>

## **APÉNDICE-6**

### **Procedimiento de preparación del sustrato**

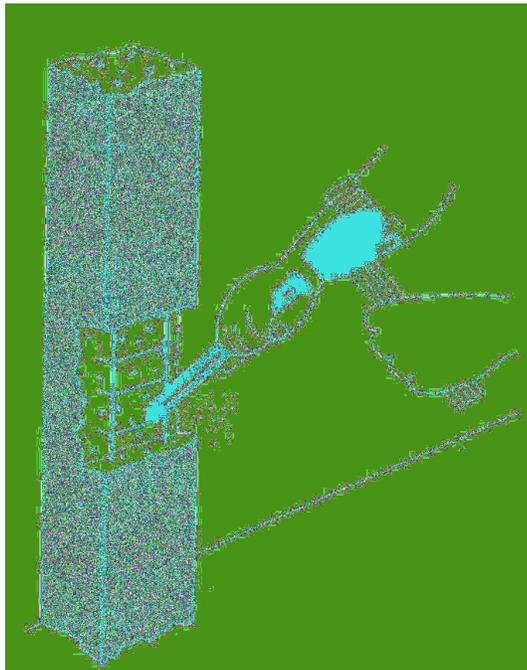
## Procedimientos de preparación del sustrato

Los procedimientos de limpieza y preparación del sustrato son tan importantes que algunos autores los consideran responsables del 50% o más del éxito de una recuperación o refuerzo.

### Preparación del sustrato

La preparación del sustrato es entendida como un conjunto de procedimientos realizados antes de la limpieza superficial y de la aplicación de los materiales y productos de corrección, o sea con los tratamientos previos de la superficie de los elementos estructurales.

#### Escarificación manual



La tabla A5-1. Reúne los principales procedimientos de preparación.

<b>Tabla 1. Procedimientos de preparación del sustrato</b>				
Procedimiento	Procedimiento más adecuado para			
	Concreto con superficie		Acero con superficie	
	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda
Escarificación manual	Adecuado	Adecuado	Inadecuado	Inadecuado
Disco de desbaste	Aceptable	Adecuado	Aceptable	Aceptable
Escarificación mecánica	Adecuado	Adecuado	Inadecuado	Inadecuado
Demolición	Adecuado	Adecuado	Inadecuado	Inadecuado
Lijado manual	Inadecuado	Aceptable	Adecuado	Aceptable
Lijado eléctrico	Adecuado	Aceptable	Adecuado	Aceptable
Cepillado manual	Adecuado	Aceptable	Adecuado	Aceptable
Pistola de aguja	Inadecuado	Inadecuado	Adecuado	Adecuado
Chorro de arena, seca o húmeda	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Aceptable
Disco de corte	Aceptable	Adecuado	Adecuado	Adecuado
Quema controlada	Adecuado	Inadecuado	Inadecuado	Inadecuado
Remoción de aceites y grasas impregnadas	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	Adecuado
Máquina de desgaste superficial	Adecuado	Adecuado	Inadecuado	Inadecuado

### *Usos más comunes*

Preparación de pequeñas superficies y locales de difícil acceso para equipos mayores. Repicado de las superficies.

### *Equipo*

Puntero, cincel y mazo

### *Procedimiento*

Escarificación de afuera para dentro, evitando golpes que puedan astillar las aristas y los contornos de la región que se trata. Retirar todo el material suelto, mal compactado y segregado hasta llegar el concreto sano, obteniendo una superficie rugosa y cohesiva, que propicie buenas condiciones de adherencia. Se debe prever apuntalamiento adecuado, cuando sea necesario.

### *Ventajas*

Poco ruido y ausencia de polvo excesivo, además no exige instalaciones específicas de agua o energía, ni mano de obra especializada.

### *Desventajas*

Baja productividad, uso limitado. Después de la escarificación es necesario efectuar limpieza preferiblemente con aire comprimido para remover el polvo. Requiere cuidados para no comprometer la estructura.

## Disco de desbaste



### *Usos más comunes*

Preparación u desbaste de grandes superficies.

### *Equipo*

Pulidora industrial con disco, adecuado para desbaste de pisos, húmedo o seco.

### *Procedimiento*

Aplicar el disco con lija sobre la superficie aprovechando el peso propio del equipo. Efectuar el desbaste en capas o pasadas cruzadas a 90°. Desbastar, en cada vez, un espesor pequeño, manteniendo la uniformidad del espesor en toda la superficie.

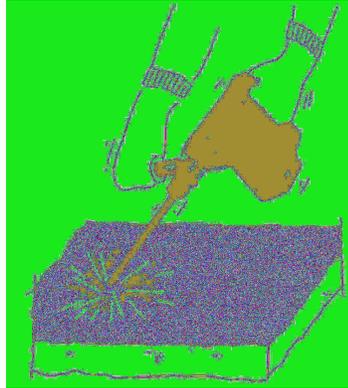
### *Ventajas*

Alta productividad

### *Desventajas*

Requiere mano de obra especializada.

## Escarificación mecánica



### *Usos más comunes*

Preparación de grandes superficies, repicado.

### *Equipo*

Rebaje electromecánico o máquina de desbaste (para pisos).

### *Procedimiento*

Escarificar de afuera para dentro para evitar astillar las orillas y cantos. En las superficies planas, remover la nata superficial y procurar crear la rugosidad debida en el concreto. Retirar todo el material suelto, mal compactado y segregado hasta llegar al concreto sano. Se debe prever el apuntalamiento adecuado cuando sea necesario.

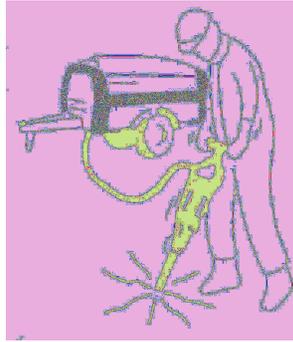
### *Ventajas*

Alto rendimiento en la preparación, no requiere mano de obra especializada.

### *Desventajas*

Rendimiento bajo para espesores mayores de 1 cm. Requiere cuidados para no comprometer la estructura. Después de la escarificación es necesario proceder a la limpieza con aire comprimido, para remover el polvo.

## Demolición



### *Usos más comunes*

Preparación para grandes superficies, demoliciones.

### *Equipo*

Martillo neumático (20 Kg.) o electromecánico.

### *Procedimiento*

Retirar todo el material suelto, mal compactado y segregado hasta llegar al concreto sano. Se debe prever apuntalamiento adecuado.

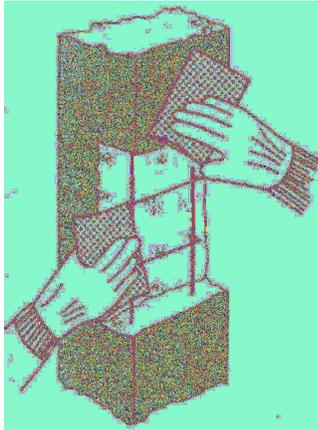
### *Ventajas*

Permite el uso de varios martillos acoplados al mismo compresor (en el caso de martillos neumáticos). Alto rendimiento en la preparación.

### *Desventajas*

Requiere cuidados para no comprometer la estructura existente. La demolición no es adecuada para elementos estructurales esbeltos. Necesita de mano de obra especializada.

## Lijado Manual



### *Usos más comunes*

Preparación de pequeñas superficies, lijado de barras de acero.

### *Equipo*

Lija de agua ara concreto o lija de hierro para acero.

### *Procedimiento*

Pasar la lija en movimientos circulares y enérgicos sobre la superficie. En el caso del acero, intentar obtener un color metálico denominado estado de “metal casi blanco”.

### *Ventajas*

No precisa de equipos pesados.

### *Desventajas*

Baja productividad y exige un control cuidadoso (inspección).

## Lijado Eléctrico



### *Usos más comunes*

Superficies de concreto o placas de acero.

### *Equipo*

Disco de lija acoplado a una lijadora electromecánica con adecuada protección.

### *Procedimiento*

Mantener la lija paralela a la superficie que se está tratando, provocando hacer movimientos circulares.

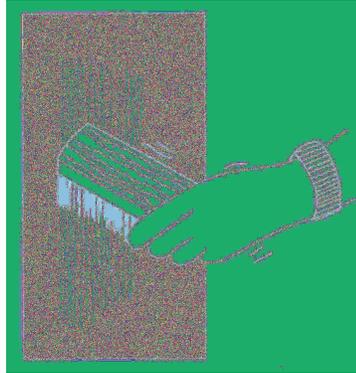
### *Ventajas*

Remueve las impurezas existentes en las superficies del concreto, abre y limpia los poros. Remueve la capa de óxido de laminación y la costra de corrosión superficial de las placas metálicas. Permite remover las eflorescencias y regular las superficies del concreto. Alto rendimiento en la preparación.

### *Desventajas*

Produce gran cantidad de polvo, contaminando el ambiente circundante, los trabajadores necesitan usar máscaras antipolvo.

## Cepillado manual



### *Usos más comunes*

Preparación de superficies de pequeñas dimensiones en áreas de fácil acceso y remoción de productos de la corrosión incrustados en las barras.

### *Equipo*

Cepillo de cerdas de acero.

### *Procedimiento*

Cepillar la superficie hasta la completa remoción de partículas sueltas o cualquier otro material indeseable.

### *Ventajas*

Fácil acceso y manipulación, no requiere mano de obra especializada ni instalaciones especiales. E contacto con el acero de refuerzo, retira los productos de la corrosión, desde que el cepillo sea aplicado de forma enérgica y eficiente.

### *Desventajas*

Baja productividad, uso limitado.

## Pistola de agujas



### *Usos más comunes*

Limpieza de superficies metálicas, retiro de corrosión y pinturas.

### *Equipo*

Pistola electromecánica.

### *Procedimiento*

Colocar la pistola en contacto con el acero de refuerzo o placa metálica hasta que sea retirada toda la capa de corrosión o la pintura.

Se debe tomar cuidado para evitar que el equipo entre en contacto con el concreto.

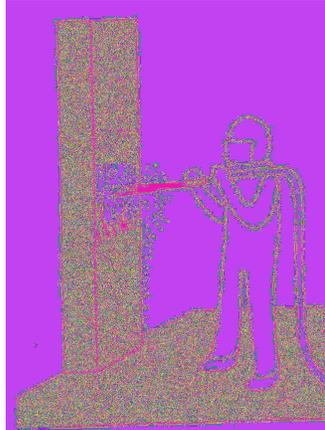
### *Ventajas*

Remueve los productos de la corrosión (óxidos) del acero de refuerzo, dejando la superficie en la condición de “metal blanco”.

## *Desventajas*

Se corre el riesgo de dañar las agujas cuando estas entran en contacto con el concreto.

## Chorro de arena seca o húmeda



## *Usos más comunes*

Preparación de grandes áreas y locales angulosos.

## *Equipo*

Compresor de aire, equipo de chorro de arena, abrasivo (arena), manguera de alta presión, salida direccional y, eventualmente agua. La arena utilizada debe tener una granulometría adecuada, debe ser lavada, sin contener materia orgánica y tiene que estar seca en el momento de la utilización. La arena usada en los trabajos no es reutilizable.

En el caso de chorros de arena y agua, el agua proveniente de un tanque o de la red pública debe ser sometida a presión por una bomba y conducida a un adaptador por una manguera de alta presión.

### *Procedimiento*

Mantener la salida del chorro en posición ortogonal con relación a la superficie de aplicación. Se debe mover constantemente en círculos, distribuyendo uniformemente el chorro para una mejor remoción de todos los residuos que puedan perjudicar la adherencia.

### *Ventajas*

Prepara las superficies que serán recuperadas o reforzadas, eliminando todas las partículas sueltas, removiendo todo material que pueda afectar la adherencia de la capa protectora.

Permite la limpieza del acero de refuerzo, removiendo los productos de la corrosión que se forman en su superficie. En caso de usar chorro húmedo se reduce la cantidad de polvo, ya que cada partícula queda envuelta en una película de agua.

### *Desventajas*

Provoca alto grado de suciedad y polvo en el ambiente (en el caso del chorro seco). No remueve fracciones con espesor mayor de 3mm y, en ciertos casos, precisa escarificación previa. Después de la utilización del chorro seco, es necesario proceder a la limpieza de toda la superficie con aire comprimido.

### Disco de Corte



### *Usos más comunes*

Retiro de rebabas, delimitación del contorno del área a ser reparada, abertura de surcos-ranuras para tratamiento de fisuras.

### *Equipo*

Máquina de corte dotada de disco diamantado.

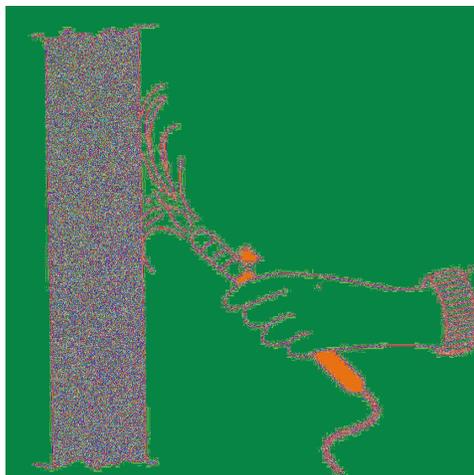
### *Procedimiento*

Mantener el disco en posición ortogonal con relación a la superficie. Antes de iniciar, demarcar con lápiz de cera o equivalente, el contorno del servicio a ser ejecutado.

### *Desventajas*

Requiere el uso de mano de obra especializada y accesorios adecuados. Dificultades en el acceso del equipo a algunas regiones específicas. Requiere cuidados con relación al control del espesor de corte para no dañar estribos o anillos ni acero de refuerzo.

### Quemada controlada



### *Usos más comunes*

Preparación de áreas donde no hay acero de refuerzo expuesto o cuando el espesor del recubrimiento fuera superior a 30 mm.

### *Equipo*

Soplete.

### *Procedimiento*

Dirigir la actuación de la quema de tal forma que facilite la retirada de capas de concreto disgregado. Procurar no actuar mucho tiempo en la misma región para no calentar mucho la superficie de las regiones sanas, las que pueden ser dañadas.

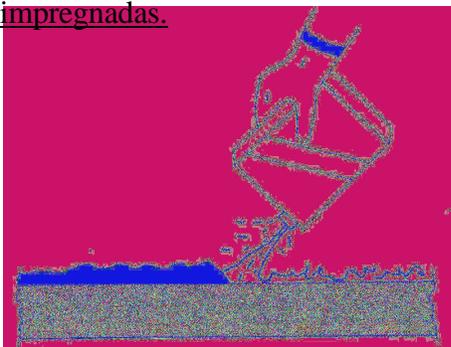
### *Ventajas*

Disgrega el concreto en capas de espesor de 5 mm., eliminando impurezas orgánicas como grasas, aceites y pinturas.

### *Desventajas*

Exige mano de obra especializada y control cuidadoso durante la ejecución (inspección).

### Remoción de aceites y grasas impregnadas.



La eliminación de aceites, grasas y bordos impregnados en el concreto con espesor superior a 3 mm requiere la eliminación del concreto contaminado a través de los procedimientos descritos en Escarificación mecánica, Quema controlada o eventualmente Demolición.

Después de la escarificación del concreto, retirar el material suelto y apagar todas las fuentes de calor y llamas aplicar en la superficie, un removedor /limpiador de grasas, a base de solventes de alta penetración, adecuadamente formulado para esta finalidad, que sea no corrosivo y biodegradable.

#### Máquina de desbaste superficial



#### *Usos más comunes*

Preparación de grandes áreas horizontales, pisos y losas, donde hay buen recubrimiento del acero de refuerzo y donde es necesario la remoción de espesores de 0.5 a 3 mm. Pequeñas máquinas manuales pueden ser usadas en superficies verticales.

### *Equipo*

Escarificadores o fresas mecánicas.

### *Procedimiento*

Pre-humedecer la superficie del concreto. Mover el equipo en franjas paralelas, procurando mantener la velocidad de movimiento constante.

Una máquina fresadora de 30 cm de ancho, bien operada puede preparar cerca de 4 a 8 m<sup>2</sup> por hora para un espesor de desbaste de 2.5 a 3 mm.

### *Ventajas*

Retira elevados espesores de modo uniforme y eficiente. Alta productividad.

### *Desventajas*

Limitada a superficies horizontales y planas.

## **APÉNDICE-7**

### **Procedimiento de limpieza de la superficie**

<b>Tabla 2. Procedimientos de limpieza</b>				
Procedimiento	Procedimiento más adecuado para			
	Concreto con superficie		Acero con superficie	
	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda
Chorro de agua fría	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	Aceptable
Chorro de agua caliente	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	Aceptable
Vapor	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	Aceptable
Soluciones acidas	Inadecuado	Aceptable	Inadecuado	Inadecuado
Soluciones alcalinas	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	Adecuado
Remoción de aceites y grasas superficiales	Inadecuado	Inadecuado	Adecuado	Adecuado
Chorro de aire comprimido	Adecuado	Aceptable	Adecuado	Aceptable
Solventes volátiles	Adecuado	Adecuado	Inadecuado	Aceptable
Saturación con agua	Inadecuado	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado
Aspiración al vacío.	Adecuado	Inadecuado	Aceptable	Aceptable

## Procedimientos de limpieza del sustrato

### Limpeza de las superficies.

La limpieza de las superficies es entendida como el conjunto de procedimientos efectuados instantes antes de la aplicación de los materiales de recuperación. La Tabla 2 reúne los principales procedimientos de limpieza.

#### Chorro de agua fría



#### *Usos más comunes*

Limpeza e grandes áreas

#### *Equipo*

Manguera de alta presión, equipo tipo lava a chorro y salida direccional.

#### *Procedimiento*

Iniciar la limpieza por las partes más altas, procurando mantener una presión adecuada para la remoción de partículas sueltas. Ejecutar, de preferencia, movimientos circulares con la salida del chorro para facilitar la limpieza de toda la superficie.

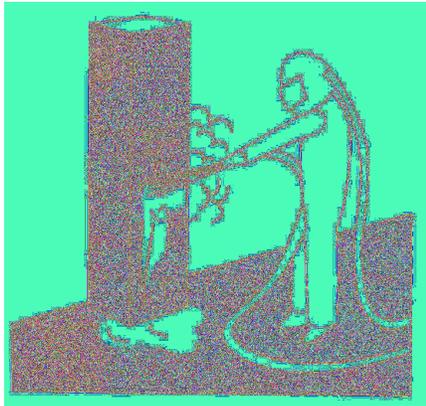
### *Ventajas*

Posibilita limpiar la superficie, al mismo tiempo que humedece.

### *Desventajas*

No es adecuado cuando los materiales de reparación requieren sustrato seco para una buena adherencia.

### Chorro de agua caliente



### *Usos más comunes*

Limpieza de grandes áreas o locales levemente contaminados con grasas.

### *Equipo*

Manguera de alta presión, equipo tipo lava a chorro y salida direccional.

### *Procedimiento*

Iniciar la limpieza por las partes más altas, procurando mantener una presión adecuada para la remoción de partículas sueltas. Ejecutar, de preferencia, movimientos circulares con la salida del chorro para facilitar la limpieza de toda la superficie.

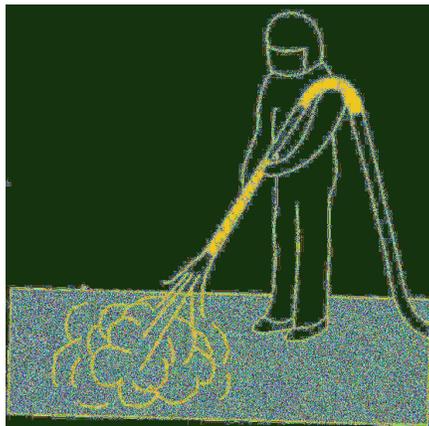
### *Ventajas*

Ayudar a limpiar impurezas orgánicas tales como grasa, aceites, pinturas, etc., cuando se mezcla con removedores biodegradables.

### *Desventajas*

No es adecuado cuando los materiales de reparación requieren sustrato seco por una buena adherencia. Requiere protección con guantes térmicos y operador calificado.

### Vapor



### *Usos más comunes*

Preparación de grandes áreas y locales contaminados con impurezas orgánicas o minerales (sales).

### *Equipo*

Manguera de alta presión dotada de aislamiento térmico para evitar pérdida de calor, salida direccional y caldera para generar vapor.

### *Procedimiento*

Si es en forma de chorro, el procedimiento es similar al descrito en Chorro de agua fría.

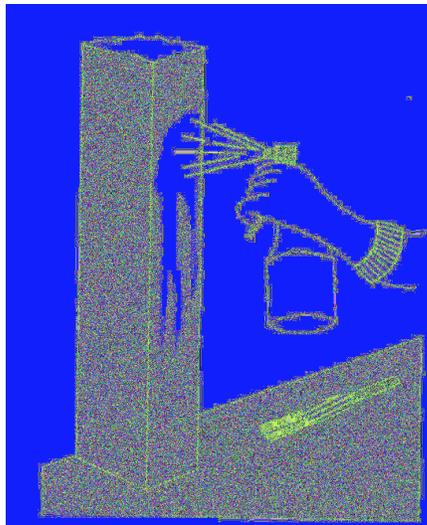
### *Ventajas*

Ayuda a eliminar las impurezas minerales y orgánicas como grasa, aceite, pintura, etc., de preferencia, debe ser asociado a removedores biodegradables, para poder obtener mejores resultados.

### *Desventajas*

Exige operador especializado.

### Lavado con soluciones ácidas



### *Usos más comunes*

Limpieza de grandes áreas donde no halla de preferencia, acero de refuerzo expuesto o muy próximo a la superficie, remoción de pinturas óxidos de metales, herramientas, etc.

### *Equipo*

Pulverizador, brocha, pincel o escoba.

### *Procedimiento*

Antes de aplicar, saturar la estructura con agua limpia para evitar la penetración del ácido en el concreto sano. Preparar la solución de ácido muriático diluido conforme orientación del Boletín Técnico del producto. Aplicar la solución la efervescencia es señal de descontaminación. Inmediatamente después de la reacción, lavar la estructura con agua limpia en abundancia, para la remoción de las partículas sólidas y residuos de la solución utilizada.

### *Ventajas*

Remueve de la superficie de la estructura materiales indeseables como carbonatos, eflorescencias, residuos de cemento, impurezas orgánicas, etc., mejorando las características adherentes del sustrato; no requiere equipos especiales.

### *Desventajas*

Su empleo es aconsejado apenas para tratamientos de limpieza superficial, teniendo en cuenta la posibilidad de infiltración irreversible de agentes ácidos en la estructura.

## Lavado con soluciones alcalinas



### *Usos más comunes*

Preparación de grandes áreas que presentan residuos ácidos impregnados. También se aplica a la limpieza de hongos y musgos.

### *Equipo*

Pulverizador, brocha, pincel o escoba.

### *Procedimiento*

Saturar la estructura con agua limpia para evitar filtración de la solución alcalina, que podría modificar las características del concreto. Aplicar la solución simultáneamente con el lavado de la estructura con una manguera con agua.

### *Ventajas*

Neutraliza especialmente la estructura que estuvo sometida a un ataque de ácidos, mejorando las características adherentes al sustrato. El método no es agresivo al acero de refuerzo y no requiere equipo especial.

### *Desventajas*

Si por acaso hubiera presencia de agregados reactivos en el concreto, puede provocar expansión debido a la reacción álcali-agregado. No es eficaz en la eliminación de productos provenientes de la corrosión del acero de refuerzo. Dificulta la adherencia de ciertos productos a base de resina epóxica.

### Remoción de aceites y grasas superficiales.



### *Usos más comunes*

Limpieza de superficies horizontales (pisos) contaminadas superficialmente, en espesor menor de 2 mm.

### *Equipo*

Escoba, pincel y brocha.

### *Procedimiento*

Aplicar un removedor/limpiador directamente sobre las áreas afectadas, dejándolo reaccionar por 20 min. En seguida lavar la región con agua en abundancia con el auxilio de una escoba, par remover partículas sólidas y residuos del producto utilizado.

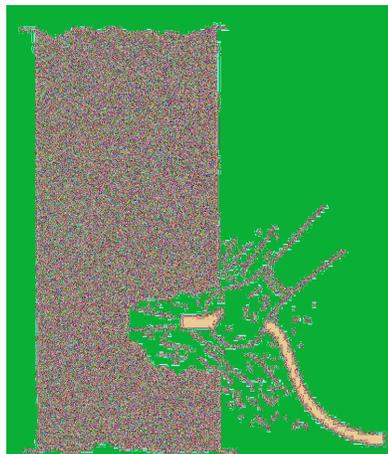
### *Ventajas*

No requiere equipo especial. Cuando el producto es correctamente seleccionado no ataca al concreto ni al acero de refuerzo.

### *Desventajas*

No consigue remover grasas y aceites impregnados profundamente (2 mm); emitiendo es en este caso, necesidad de escarificar mecánica o quema controlada, conforme al grado de contaminación.

### Chorro de aire comprimido



### *Usos más comunes*

Eliminación de polvo después de los procedimientos de preparación, como escarificación, escoba de acero o chorro de arena a presión. También es usado cuando en la superficie fuera aplicada una resina de base epóxica, que requiere sustrato seco y limpio.

### *Equipo*

Manguera de alta presión y compresor dotado de filtro de aire y de aceite para garantizar la descontaminación.

### *Procedimiento*

Existiendo cavidades, colocar en su interior la extremidad de la manguera, ejecutando la limpieza del interior para el exterior. Una vez limpias, las cavidades deben ser rellenadas con papel, procediendo entonces a la limpieza de la superficie adyacente. Es importante comenzar siempre el proceso por las cavidades, pasando después para las superficies vecinas, para evitar depositar polvo en su interior.

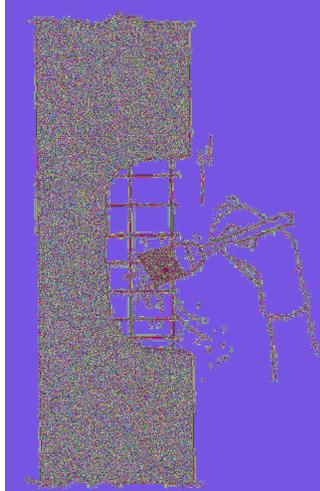
### *Ventajas*

Elimina el polvo y permite, enseguida, la aplicación del adhesivo estructural de base epóxica, siempre que el sustrato está seco. Adecuado para la limpieza de fisuras, antes de ejecución el procedimiento de inyección de lechada o las resinas par el restablecimiento del monolitismo estructural.

### *Desventajas*

Es inadecuado para superficies húmedas.

## Solventes volátiles.



### *Usos más comunes*

Limpieza de superficies de concreto o de acero, instantes antes de la aplicación de resinas de base epóxica.

### *Equipo*

Pincel, estopa y algodón.

### *Procedimiento*

Aplicar el producto (acetona industrial) con estopa, pincel o algodón en las superficies y ejecutar movimientos adecuados para la retirada de eventuales residuos y contaminaciones.

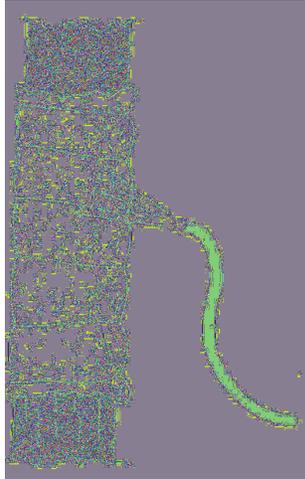
### *Ventajas*

Retira ácido úrico (manos), contaminantes superficiales de grasas, pinturas y aceites. Por ser altamente volátil, evapora llevando partículas de agua de la superficie y, consecuentemente ayuda al secado superficial.

### *Desventajas*

Es producto inflamable y muy volátil (perdidas por evaporación).

### Saturación con agua



### *Usos más comunes*

Tratamiento de las superficies de concreto antes de la aplicación de morteros y concretos de base cemento.

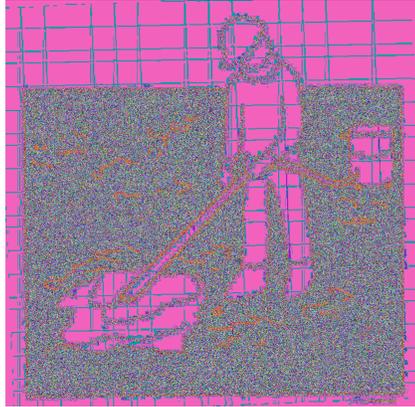
### *Equipo*

Manguera perforada, sacos de yute.

### *Procedimiento*

Inundar totalmente la superficie a ser tratada por un período de, por lo menos, doce horas, antes de aplicar los productos de base cemento. Esa inmersión puede lograrse con la construcción de barreras temporales y manguera con flujo de agua continuo. En superficies verticales, es necesario, cuando la inmersión no fuera viable, formar una película continua de agua en la superficie con el auxilio de sacos de yute y mangueras perforadas. Instantes antes de la aplicación de los productos, retirar el agua y secar, con estopa seca y limpia, el exceso de agua superficial, obteniendo la condición de superficie saturada y seca (no encharcada).

## Aspiración al vacío.



### *Usos más comunes*

Limpieza en seco de superficies de concreto, adecuadas para recibir adhesivos y puentes de adherencia que exigen sustrato seco.

### *Equipo*

Aspirador de polvo industrial especialmente proyectado y equipado para aspirar polvo de concreto, con alta potencia.

### *Procedimiento*

Aspirar cuidadosamente las áreas que serán tratadas manteniendo la boca del aspirador próxima (2 Mm.) a la superficie del concreto.

### *Ventajas*

Retira partículas pequeñas (polvo) sin producir más contaminación. Ideal para locales cerrados (sin ventilación).

### *Desventajas*

No retira partículas grandes ni húmedas.