

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

INSPECCION, MANTENIMIENTO
Y REHABILITACION DE PUENTES

Tipologia de Daños en Puentes

Del 23 al 27 de septiembre de 1996

ING. ADOLFO SANCHEZ SANCHEZ
PALACIO DE MINERIA

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. APO. Postal 06700
Teléfonos: 512-8965 512-5121 521-7335 521-1987 Fax 510-0573 521-4020 AL 26

PATOLOGIA DE LOS PUENTES

ING. ADOLFO SANCHEZ SANCHEZ

Al estudio sistemático y científico de las causas que motivan las deficiencias, defectos y fallas en las estructuras de los puentes, así como las formas de prevenirlas, detectarlas, evitarlas y corregirlas, se denomina Patología, quizá por la semejanza de sus objetivos con los de la Patología Médica que estudia las enfermedades de los seres vivos. También los puentes, como los seres vivos, pueden nacer con deficiencias, enfermizos, o adquirir a través del tiempo un mal por la falta de cuidado a tratamiento adecuado, ante el efecto de los fenómenos de la naturaleza a los cuales está expuesto y pueden ocasionar que perezca prematuramente; también los puentes que nacieron sanos, con una constitución sólida y recibieron un tratamiento adecuado, llegan a la vejez fuertes y altivos.

Es asombroso ver que aún perduran obras Romanas; el gran Acueducto de Segovia, en España, el puente de Gard en el Sureste de Francia que es a la vez acueducto y que data del año 13 A.C., el puente de los Angeles sobre el río Tiber en Roma construido en el año 136 A.C., y remodelado en 1668. También puede citarse, de la época moderna, el gran puente colgante de Brooklyn construido en el año de 1883 en la ciudad de New York.

En cambio otras obras perecieron muy jóvenes, como el puente Tacoma en los Estados Unidos y los puentes Armería, Badiraguato y Papagayo, entre otros en México.

Los materiales fundamentales que integran la estructura de los puentes son: la mampostería, el acero y el concreto hidráulico, este último es uno de los más grandes logros del ser humano en su continuo afán por trascender la naturaleza sin dejar de formar parte de ella.

Toda obra es tangible, visible y ocupa un lugar definido del espacio.

El proyecto del puente debe contemplar por tanto las características geométricas de su forma final y las coordenadas correspondiente a su ubicación geográfica.

Puesto que la obra tiene forma material y ésta habrá de quedar expuesta al público, uno de los objetivos del proyecto es conseguir que su acabado sea lo más perfecto posible, con lo cual aparte de proporcionarle belleza, esta característica será un índice cualitativo de su calidad.

El comportamiento de la obra se refiere a sus respuestas perceptibles a las cargas que la solicitan y a las condiciones ambientales del medio -- que la rodea, manifestadas a través de sus cambios de configuración.

Este comportamiento se asocia básicamente con lo esencial de la obra que es su estructura. La estructura es simplemente un sistema mecánico formado por elementos materiales que se identifica por la descripción abstracta de las posiciones simultáneas de sus puntos característicos, y -- que puede denominarse "La configuración del sistema"

A este respecto, las esperanzas del proyecto son, que para todos los tipos prescritos de carga y dentro de los distintos efectos inducidos por los posibles cambios en las condiciones ambientales, el sistema mecánico mantenga una configuración de equilibrio estable y los elementos materiales se conserven libres de deterioros y de deformaciones permanentes indebidas.

Las evaluaciones de las fallas en los puentes, sobre todo en aquellos -- que se han hecho en forma masiva y acelerada, han puesto en evidencia

con mucha frecuencia se cometan errores técnicos en el proyecto y en la construcción de la mayoría de las obras.

Desde luego que el cometer errores no es en sí un defecto, sino más bien -- una característica operacional del ser humano.

El hombre se perfecciona continuamente a través de sus errores.

En realidad los fracasos ocurren cuando los errores no se controlan, regulan o contrarrestan oportunamente.

Cuando se acumula el efecto de los errores, se engendran estados precarios en las construcciones, que las conducen a su ruina.

La razón por lo cual los errores no se controlan es porque en nuestros actos siempre pueden incidir algunos de los traumas psíquicos característicos de la personalidad humana como son por ejemplo:

- La indecisión que produce la falta de conocimiento.
- El optimismo que produce el exceso de confianza.
- La negligencia que produce la falta de estímulo.

Cualquiera de estas características negativas de nuestro comportamiento puede influir en algunas o en todas las áreas de actividad del proceso constructivo.

En todo proceso constructivo se pueden diferenciar las siguientes áreas de -- actividad que se identifican por la labor especializada de sus realizadores:

- Planeación
- Estudios
- Proyecto
- Construcción

y aplicando las prácticas aceptables pero sin ejercer ningún criterio, pueden llegar a un diseño inadecuado, tal vez peligroso.

Cuando se emplean materiales nuevos, sistemas estructurales fuera de lo común, o cuando las sollicitaciones tienen un carácter sumamente extraordinario, es decir, en todos los casos para los cuales las hipótesis de proyecto no -- han pasado la prueba del tiempo, el riesgo de falla se vuelve más probable.

Los criterios de diseño radicalmente nuevos sólo deben aplicarse después de -- hacer una evaluación crítica y aún pesimista de los beneficios que implica -- su empleo ante los riesgos inherentes a una escasa experiencia en su aplicación.

En lo que se refiere al aspecto constructivo, es obvio que las supervisiones competentes y estrictas con un carácter, quizás, antipático y hasta molesto -- para los constructores, son un factor decisivo para evitar los fracasos de -- las obras.

A este respecto es oportuno recordar que los casos más dramáticos de colapsos de estructuras se han presentado por una inspección o una supervisión -- deficientes.

En relación con los ensayos que ejecutan los laboratorios rutinariamente para -- control de las obras, éstos solamente proporcionan valores discretos de la -- resistencia y de la calidad de los materiales que intervienen en la construc -- ción de los elementos de la estructura pero no aportan un índice cierto para -- definir la seguridad general de la misma.

Para que podamos tener una idea clara y podamos controlar conscientemente -- sus efectos, a continuación repasaremos la lista de algunos de los errores --

más comunes en cada una de esas áreas:

En el área de proyecto:

Hipótesis inadecuadas para el análisis de la estructura.

Errores de cálculo.

Falta de definición o definición deficiente de detalles de -
diseño.

Supervisión deficiente en la elaboración de los planos -
constructivos.

Descuido en el diseño de las conexiones de los diferentes --
miembros estructurales.

Localización incorrecta o espaciamiento inadecuado del acero
de refuerzo o de presfuerzo.

Falta de atención a los efectos de las variaciones termohigeo-
métricas.

Consideración insuficiente a los efectos de esfuerzos secun-
darios.

Cada una de estas etapas por las que pasa el desarrollo de un proyecto es una
oportunidad para que se cometan errores.

El motivo por el que a veces se presentan agrietamientos, es porque en la --
realidad el comportamiento de la estructura es diferente al previsto en las -
hipótesis de cálculo pero trata de adaptarse a dichas condiciones.

Por ejemplo, en las losas planas se supone, hipotéticamente, que la losa, --
descompuesta en bandas rectangulares transmite su carga a las columnas por -
flexión, sin embargo, en realidad, las diferencias de los momentos flexio--
nantes en los extremos de estas bandas distorsionan las vigas de borde, lo-

que ocasiona que las reacciones se transmitan a las columnas parcialmente - por torsión y que si las vigas de borde son muy aperturadas, se presenten en sus caras laterales grietas de tensión diagonal.

Una de las causas frecuentes de error es el trasplante inadecuado de los diseños o de las especificaciones de países extranjeros, así como la adaptación descuidada de proyecto tipo o de cualquier otro proyecto a un proyecto en particular.

Es conveniente prever y coordinar todas las instalaciones desde la etapa del proyecto para evitar posteriormente la concentración de huecos o vacíos en la estructura que pudieran debilitarla al interrumpir la continuidad del -- refuerzo para dar paso a ductos o instalaciones ya sean mecánicas o eléctricas.

El dibujo de los planos es el lenguaje gráfico universal mediante el cual se comunica el proyectista con el constructor de la obra.

Por muy bueno y completo que sea el diseño de una obra, carecerá totalmente de valor si no es traducido adecuada y completamente a los planos. La presentación de los planos viene a ser tan importante como el diseño mismo, - en lo que se refiere a obtener una obra correctamente construida y protegida contra las fallas.

Por este motivo, es importante que los planos sean supervisados por una -- persona con suficiente experiencia para detectar errores tanto de diseño -- como de dibujo.

Existe una tendencia gradual y cada vez más frecuente a representar en los planos únicamente las dimensiones y la forma del refuerzo principal, omitiendo detalles importantes como la localización y dimensionamiento de empalmes-

y traslapes o del refuerzo secundario.

Cuando los detalles de un diseño no se analizan en forma consistente ni se representan cuidadosamente en los planos, al ejecutar la obra se presentan acontecimientos inesperados, tales como grietas, estallamientos, desintegración de las conexiones y deflexiones o deformaciones exageradas.

Las áreas de la estructura donde existe una mayor concentración de esfuerzos son particularmente vulnerables a estos efectos.

En especial, deben detallarse muy claramente y en forma cuidadosa, sin dejar ninguna posibilidad de interpretación errónea por parte del constructor, los empalmes y traslapes del refuerzo, las articulaciones y las juntas de construcción y de expansión.

Con mucha frecuencia en los diseños se pasan por alto los efectos de los esfuerzos secundarios, ya que el dimensionamiento se hace para dar a la estructura una resistencia suficiente para tomar los esfuerzos producidos directamente por las cargas de peso propio, de servicio y de condiciones extraordinarias previstas, con lo cual se supone que teóricamente la estructura no sufrirá ningún agrietamiento.

Sin embargo, siempre que en dicha estructura existan conexiones rígidas, se producirán deformaciones las cuales tendrán el efecto de inducir esfuerzos en direcciones diferentes a las previstas normalmente en el análisis. Esta situación casi siempre se presenta en las estructuras de concreto, pero por regla general la intensidad de los esfuerzos secundarios no llega a sobrepasar la capacidad de resistencia a la tensión del concreto que normalmente se desprecia en el cálculo.

En el área de construcción:

Falta de evaluación o evaluación deficiente de la calidad del proyecto estructural.

Deficiencias en la supervisión general o en la inspección de la obra.

Operaciones inadecuadas en la preparación o en la fabricación de los elementos estructurales.

Ejecución deficiente o inadecuada en las operaciones de montajes de los elementos estructurales.

Falta de previsión de los efectos de la humedad y de la temperatura en la ejecución de la obra.

Errores en la elaboración, montaje y desmantelamiento de cimbras y de obras falsas.

Antes de iniciarse la obra, por ejemplo, el residente puede hacer una evaluación general del proyecto en la cual, sin necesidad de conocer los cálculos, simplemente por inspección de los planos será factible detectar:

Errores de dibujo

Deficiencias en la estabilidad de las estructuras

Deficiencias en la colocación de las varillas de refuerzo

Falta de previsión por parte del proyectista de condiciones peligrosas durante las operaciones de montaje de los elementos estructurales

Contraventeo longitudinal inadecuado de construcciones con dimensiones longitudinales proporcionalmente grandes.

También es fuente de errores peligrosos durante la etapa de construcción, la modificación apresurada del proyecto, sin contar con la opinión oportuna del proyectista original.

Algunas deficiencias de construcción que pueden ocasionar la deformación posterior del concreto y aún el colapso de la estructura son las siguientes:

Refuerzo mal localizado, concentración excesiva de varillas de refuerzo, escasa compactación del concreto y deficiencias en las juntas de expansión y colado.

En todo caso, siempre sería deseable la posibilidad de coparticipación del -- proyectista en la supervisión de la construcción de la obra, al menos en los aspectos más importantes de la misma.

En el área de Control de Calidad:

Errores en la ejecución, oportunidad o reporte de los ensayos de resistencia de materiales.

Recomendaciones o reportes inadecuados, deficientes o inoportunos, sobre el empleo de materiales incompatibles, o agresivos - en la ejecución de las obras.

Recomendaciones inadecuadas deficientes o inoportunas para el - control de los efectos termohigrométricos durante la ejecución - de las obras.

Recomendaciones inadecuadas para los servicios de protección -- y conservación de las obras terminadas.

En la actualidad la tecnología del control de calidad del concreto permite - elaborar mezclas adecuadas para obtener concretos con resistencia predeterminadas, así como mejorar su manejabilidad y controlar su fraguado mediante inclusión de aire o de aditivos apropiados.

De la atención que los laboratorios de control de calidad presten a la correcta dosificación de las mezclas y elección de los aditivos dependerá en gran parte la calidad final de la estructura.

degradación : la corrosión del acero de refuerzo.

Se anexan algunos ejemplos de detalles para diseño del refuerzo de algunos elementos de concreto y en los cuales suele cometerse errores que generan fallas.

Recientemente se ha preparado un formato de inspección de puentes carreteros para integrar un inventario.

Este formato tiene como finalidad conocer las características de cada uno -- de los puentes y su estado físico y el comportamiento estructural para unificar posteriormente el criterio de evaluación, buscando agrupar los siguientes defectos:

- 1 Defectos existentes desde el inicio de la obra y sin consecuencias importantes, más allá del aspecto estético.
- 2 Defectos geométricos y deformaciones anormales.
- 3 Defectos de comportamiento mecánico.
- 4 Defectos que indican la posibilidad de una evolución anormal de la estructura.
- 5 Defectos que muestren la evolución del deterioro de una obra.
 - 5.1 Defectos señalando el inicio de una evolución del deterioro de una obra.
 - 5.2 Defectos señalando una evolución avanzada.
- 6 Defectos debidos a la corrosión
 - 6.1 Causas de corrosión
- 7 Fisuras y Rupturas.
- 8 Defectos que revelan, de una manera muy clara, una modificación -- del comportamiento de la estructura y que comprometen la durabilidad de la obra.

9 Defectos que indican la proximidad de un estado límite y la necesidad, ya sea de restringir el uso de la obra, o bien, de su clausura

1 Defectos que afectan únicamente la estética:

Defectos del parámetro.

Defectos geométricos del parámetro a grande y pequeña escala.

Diferencia de coloración a grande y pequeña escala.

Fuga de lechada.

Manchas.

4 Fallas que señalan evolución:

Asentamiento (inicio de)

Corrosión del acero.- Corrosión del concreto

Deformaciones ligeras

Desconchamiento

Desgaste normal por uso.- Fisuras que han evolucionado desde la construcción o aparecido con el tiempo

Desprendimiento del agregado grueso.

Dilatación.

Eflórescencia.

Estalactitas.

Humedad y goteo (supuración)

Oxidación (trazas de)

Refuerzo expuesto.

Resquebrajamiento.

Fisuras a lo largo del cable de presfuerzo.

Fisuras de desintegración.- Fisuras longitudinales o verticales.
Fisuras horizontales o transversales.

Rotación (inicio de la)

Socavación de la cimentación (inicio de la)

- 5 Defectos que indican una posible evolución anormal de la estructura:

Acero de refuerzo sin recubrimiento.

Afloramiento del agregado grueso.

Porosidad.

Polvo.

Segregación.

Aparición de fisuras durante la construcción.

Alineamiento general de la obra defectuosa.

Exposición del ducto del cable de presfuerzo.

Carbonatación.

Fisuración en panel.- Fisuras cortas.-Fisuras siguiendo la disposición del refuerzo.

Fisuras a lo largo de los cables de presfuerzo.-Diagonal-Longitudinales o verticales- Transversales u horizontales.

- 8 Fallas que se traducen en la modificación del comportamiento de la obra:

Asentamiento importante.

Acero sin adherencia.

Corrosión avanzada del acero

Deformaciones importantes.

Fisura diagonal.

Fisura horizontal o transversal.

Fisura longitudinal o vertical.

Fisura a lo largo de los cables de presfuerzo.

Flecha anormal permanente.

Refuerzo totalmente expuesto.

Rotación importante.

Ruptura.

Socavación de la cimentación.

- 9 Fallas que señalan la vecindad de un estado "Al Limite" y que -
señalan la restricción o prohibición del servicio:

Asentamientos muy importantes.

Deformación muy importante.

Desintegración generalizada.

Fisura longitudinal o vertical.- Fisura transversal u horizontal

Flecha excesiva permanente.

Rotación muy importante

Ruptura.

Septiembre de 1996.



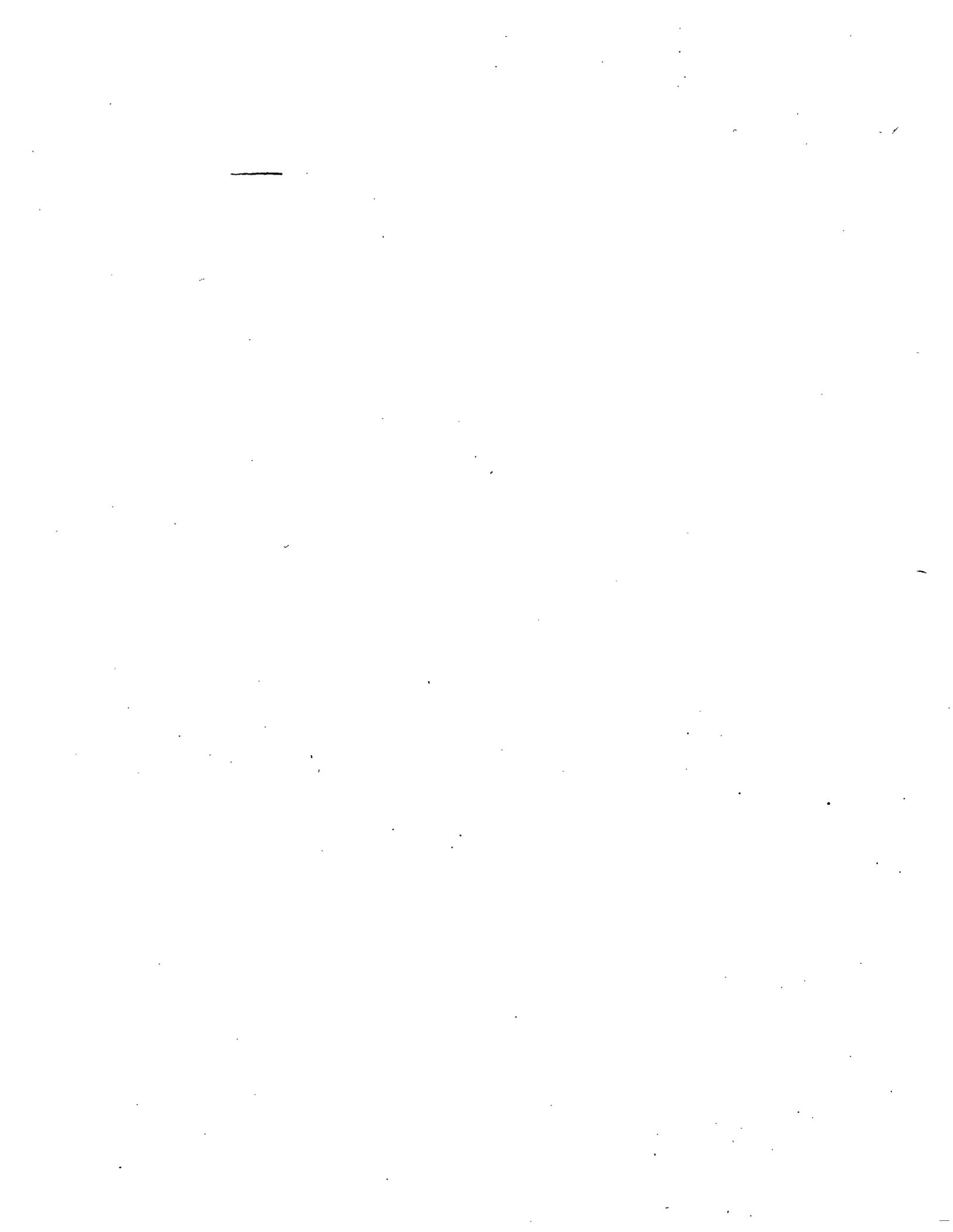
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

INSPECCION, MANTENIMIENTO
Y REHABILITACION DE PUENTES

Rehabilitación del Puente "Belisario Domínguez"
Del 23 al 27 de septiembre de 1996

ING. MODESTO ARMIJO MEJA
PALACIO DE MINERIA
1996



**PUENTE BELISARIO DOMINGUEZ
TUXTLA GUTIERREZ-CHIAPA DE CORZO
AMPLIACION Y REFORZAMIENTO**

1957

**ANCHO DE CALZADA 6.7m
ANCHO TOTAL 7.9m
CARGA MOVIL HS15 (24.5t)
SIN BANQUETAS**

1990

**ANCHO DE CALZADA 14.4m
ANCHO TOTAL 17.4m
CARGA MOVIL T3-S3 (75t)
DOS BANQUETAS 1.1m**

**DISEÑO CONCEPTUAL Y DE DETALLE (1954 Y 1990)
MODESTO ARMIJO MEJIA
MAESTRO EN CIENCIAS DE INGENIERIA**

PUENTE BELISARIO DOMINGUEZ
AMPLIACION A CUATRO CARRILES Y REFORZAMIENTO

ANTECEDENTES

El puente Belisario Domínguez fue diseñado en 1954 por la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, y puesto en servicio en 1957, es decir, hace 33 años.

El diseño se desarrolló conforme a las especificaciones de la American Association of State Highway Officials de 1949, para la carga viva designada entonces como H15-S12, que consideraba un remolque de 3 ejes con peso total de 24.5 toneladas. En atención a los volúmenes de tránsito que se anticipaban entonces, se adoptó un ancho de calzada de 6.7m, sin banquetas peatonales.

El río Grijalva se salva mediante un arco de concreto con claro de 88m y flecha de 22.3m, con sección maciza de 0.9x4.5m en la clave y 1.5x4.5m en el arranque. El sistema de piso está constituido por una losa con 0.2m de espesor y dos trabes con ancho de 0.3m y peralte de 1.4m. El diseño se hizo considerando la acción conjunta de arco y trabe, actuando esta última como un elemento de rigidez capaz de absorber una fracción apreciable de las flexiones producidas por la carga viva y de incrementar el factor de seguridad del arco frente al fenómeno de pandeo. Bajo la carga viva de diseño los esfuerzos máximos en el arco varían entre 35 y 50 kg/cm²; los mínimos resultan de alrededor de 5 kg/cm², en compresión. En relación con la seguridad al pandeo se satisficieron los requisitos exigidos por las normas alemanas DIN, en ausencia de especificaciones AASHO al respecto.

Como una fase previa a la presente tarea de ampliar y reforzar el puente, se desarrollaron, ahora con el auxilio de la computadora, los cálculos correspondientes al puente como está actualmente habiendo comprobado que, para las cargas originalmente consideradas (remolques de 24.5t), la estructura cumple con las actuales especificaciones AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), salvo una deficiencia del orden del 10%, en relación con la capacidad al cortante de las trabes del piso.

LOS REQUERIMIENTOS ACTUALES

En atención al incremento del tránsito entre

Tuxtla-Gutiérrez y Chiapa de Corzo, que actualmente es del orden de 7500 vehículos por día, las autoridades estatales han promovido y llevan a cabo la ampliación a cuatro carriles de la carretera que une a las mencionadas ciudades. Por otra parte, la vocación turística y recreativa de la zona del puente se ha visto reforzada con la construcción de la presa Chicoasén, cuyo embalse se remonta aguas arriba del puente.

El volumen de tránsito hace mandatoria la ampliación del puente a cuatro carriles de circulación y el potencial turístico y recreativo de la zona del puente hace recomendable que el puente sea dotado de banquetas peatonales. Para la circulación de vehículos se contará con cuatro carriles de 3.5m de ancho (iguales a los de las vías rápidas de la Ciudad de México, y a los de los puentes Tampico y Coatzacoalcos); en relación con las banquetas, el ancho adoptado será de 1.1m. Los anteriores anchos de carriles y banquetas se consideran muy moderados, en armonía con nuestro grado de desarrollo y con las posibilidades que ofrece la capacidad de la estructura actual.

La situación es radicalmente diferente en relación con las cargas vivas que circulan actualmente por nuestra red carretera: en vez del remolque de 24.5t que se adoptó para el diseño del puente, la carga legal vigente para una configuración semejante (T3-S3), es de 46t; y la real, de 75t, es decir, 3 veces mayor que la de diseño. Pero más grave aún, tratándose de elementos locales o de reducidas dimensiones es el hecho de que la mencionada carga tipo T3-S3, en su versión real, incluye tres ejes traseros, con separación de solamente 1.2m, cuyo peso es del orden de 42t, en contraste con el eje trasero del remolque de diseño, cuyo peso es del orden de 11t. En consecuencia, dichos elementos locales o de reducidas dimensiones, están expuestos a recibir cargas vivas CUATRO VECES MAYORES, que las consideradas en el diseño original.

La situación anterior afecta a la mayoría de los puentes de nuestra red carretera, pero es particularmente crítica para el puente Belisario Domínguez, en atención a los pequeños claros del sistema de piso (10 y 11.5m) y al hecho de que dicho sistema de piso trabaja conjuntamente con el arco (como trabe de rigidez) y su debilidad frente a concentraciones CUATRO VECES MAYORES que las de diseño, puede traducirse en una debilidad de la estructura fundamental soportante (el arco), al incrementarse las

flexiones generales debidas a la carga viva y reducirse su seguridad al pandeo, todo como consecuencia del deterioro de su elemento rigidizante. En rigor, el peso de los remolques que transiten sobre el puente debería limitarse a 1.5 veces la carga de diseño (como es frecuente en los de los países altamente desarrollados que tienen muchas estructuras en condiciones análogas), es decir a unas 35t de peso total. Desafortunadamente, es bien sabido que esas restricciones son inoperantes, fundamentalmente por no existir instalaciones para el pesado de vehículos, y más aún, que cargas mucho mayores, aunque con configuraciones más favorables, pasan ocasionalmente por nuestros puentes.

La anterior situación en relación con las cargas nos ha permitido concluir que, aunque el puente no se ampliará a cuatro carriles, su reforzamiento no puede diferirse, ya que puede resultar seriamente dañado con el paso de los grandes remolques que realmente circulan por nuestras carreteras, y que, como se ha expresado antes, llegan a pesar hasta 75t, contando con tres ejes traseros cuyo peso total asciende a unas 42t.

A los requerimientos anteriores, relativos a anchos y capacidad de carga, debe agregarse el de afectar, en el menor grado posible, el reconocido valor estético del puente.

FACTORES ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES QUE DEFINEN LA SOLUCION

En función de los requerimientos generales arriba consignados y de las características estructurales del puente actual, se han determinado las siguientes condiciones que deben satisfacer las obras de ampliación y reforzamiento del puente.

A) Todos los componentes de la estructura deben acondicionarse para soportar la acción de CUATRO CARRILES cargados simultáneamente con AASHTO HS20, aplicando el reglamentario coeficiente relativo a la improbabilidad de coincidencia; o, en el carril más desfavorable, las cargas correspondientes al remolque tipo T3-S3, en su versión real de 75t de peso total.

B) En atención a que se contempla un apreciable tránsito de peatones, para comodidad de los mismos, las deformaciones verticales máximas se limitarán a un milésimo del claro correspondiente, y los giros

transversales máximos, a tres milésimos de radián.

C) Por lo que respecta al rifón del arco (cuarto del claro), que es el punto crítico desde el punto de vista de la estabilidad del conjunto, los esfuerzos máximos de compresión se limitarán a 50 kg/cm² y los mínimos serán también de compresión, superiores a 5 kg/cm². Los anteriores esfuerzos son sensiblemente iguales a los del diseño original, a pesar de que la estructura ampliada estará sometida a cargas vivas generales del DOBLE de las originales, y a cargas vivas locales del CUADRUPLE de las originales; por lo que respecta a la carga muerta, su incremento como consecuencia de las obras de ampliación, será del orden del 35%.

D) Los demás componentes se acondicionarán para cumplir con los coeficientes de factorización establecidos en actuales especificaciones AASHTO, y que implican coeficientes de seguridad entre 1.5 y 2.5, según el grado de predominio de la carga viva.

E) Dado el apreciable tránsito sobre el puente, en la actualidad del orden de 7,500 vehículos por día, es recomendable adoptar una solución que reduzca al mínimo las molestias y demoras a los usuarios y que al mismo tiempo elimine el riesgo de colisiones de vehículos contra estructuras auxiliares para el colado de concreto.

F) Por otra parte, se reconoce la conveniencia de que obras que interfieran con el funcionamiento del puente se realicen en el menor lapso posible.

EVOLUCION DE LA SOLUCION

A mediados de febrero de 1988, es decir, hace casi dos años, iniciamos la delicada tarea de concebir una solución que satisficiera todas las condiciones anotadas arriba, las que en pocas palabras, pueden resumirse en lograr una estructura con cuatro veces más capacidad para el tránsito y con mayores coeficientes de seguridad que el diseño original, frente a las grandes cargas vivas que hoy predominan.

Se plantearon y evaluaron numerosas soluciones para lograr esos objetivos. Las primeras fueron totalmente a base de concreto reforzado y presforzado, e implicaban, para el sistema de piso, la adopción de una sección transversal cerrada, que virtualmente envolvía a la sección actual. La sección resultante era análoga a la de

los puentes Tampico y Coatzacoalcos, que han resultado muy ~~afortunados~~ desde el punto de vista estético. Desafortunadamente, no pudieron alcanzarse los objetivos E y F; durante el análisis del proceso de construcción se constataron grandes dificultades para cumplir con el objetivo C, como consecuencia del gran peso por unidad de longitud de esa sección envolvente, y a la inconveniencia (casi imposibilidad), de subdividir cada etapa longitudinal en varias etapas transversales no consecutivas, alejándonos aún más de los objetivos E y F. Por otra parte, se presentaron serias dificultades para lograr el objetivo D, en relación con la capacidad a flexión y cortante de las traveses del actual sistema de piso.

Al constatar que la combinación de concreto con acero estructural, que se adoptó para los 290m centrales del claro principal de 360m del Puente Tampico, ha sido calificada como altamente satisfactoria desde el punto de vista estético, gracias principalmente a una pintura del mismo color que el concreto, se plantearon y evaluaron otras alternativas, que permitieron avanzar hacia las metas ideales contempladas en los objetivos, habiendo llegado, mediante un largo proceso, a la solución que estamos presentando en esta oportunidad, y que se caracteriza por los siguientes logros:

Los esfuerzos máximos de compresión en el arco, bajo las grandes cargas vivas mencionadas quedarán por abajo de los 40 kg/cm², en el ríñon; los mínimos de compresión, por encima de los 10 kg/cm², en el mismo punto. El resultado anterior es consecuencia de haber dotado al sistema de piso de un momento de inercia con respecto al eje horizontal DIEZ VECES mayor que el actual. Gracias a ello, los desplazamientos verticales del sistema de piso se reducen a una TERCERA PARTE de los que ocurrirían en la estructura actual, abatiendo, en una proporción del mismo orden, los momentos en el arco, el cual debe necesariamente deformarse en la misma medida que el sistema de piso.

A su vez, la reducción de desplazamientos verticales se traduce en un incremento del orden de CUATRO VECES en el coeficiente de seguridad del arco frente al fenómeno de pandeo.

Debido a que el aumento de la rigidez flexionante del sistema de piso se obtiene mediante la adopción de una sección cerrada, aparece por primera vez en el panorama

estructural la disponibilidad de una gran rigidez torsional del mismo, 260 VECES la actual. Gracias a esa disponibilidad resulta posible que un arco de 4.5m de ancho pueda recibir una calzada para vehículos con 14.4m de ancho entre guarniciones. El mismo principio permitió que el claro principal del Puente Tampico quedara sostenido por un conjunto de tirantes, sin rigidez flexionante alguna, localizados en el camellón central de la calzada, cuyo ancho es de 15.5m entre guarniciones; la gran rigidez torsionante del sistema de piso, permitió salvar un claro de 360m, sin que se excedieran los giros transversales, aún bajo las mayores excentricidades de la carga viva. Lo anterior explica que, en el caso del Puente Belisario Domínguez ampliado, se obtengan para un remolque de 75t circulando en uno de los carriles laterales, giros transversales de apenas 1.2 milésimos de radián, es decir, menos de la mitad del permitido por AASHTO.

Esa misma disponibilidad de una gran rigidez torsionante, en asociación con la rigidez flexionante con respecto a ambos ejes, contribuye a que se reduzcan los esfuerzos debidos a sismos, tanto en sentido longitudinal como transversal, a pesar de que la carga muerta sobre el arco será, como se apuntó antes, un 35% mayor que la actual.

El mejoramiento estructural de las trabes actuales del sistema de piso se debe, en buena parte, al hecho de que las cargas muertas y vivas de los carriles de circulación y banquetas que se adicionan, pasarán directamente a los pilares. Estos, a su vez, sometidos a cargas y flexiones mayores que en la actualidad, serán reforzados en forma tal que aumenten, en más del doble, su seguridad al pandeo, ya que desde el punto de vista de área de sección, la que tienen actualmente es más que suficiente.

CONCLUSIONES

La insoslayable necesidad de mejorar el nivel de servicio de la carretera Tuxtla Gutiérrez-Chiapa de Corzo, dotándola de cuatro carriles de circulación, ha venido a constituir una magnífica oportunidad para mejorar las condiciones estructurales el Puente Belisario Domínguez, cuyos coeficientes de seguridad actuales son notoriamente insuficientes frente a los grandes pesos de los remolques que realmente circulan hoy en día en nuestra red vial; y, más aún, frente al gran peso de sus tres ejes traseros. No está de más insistir en los riesgos que lleva implícita esa situación.

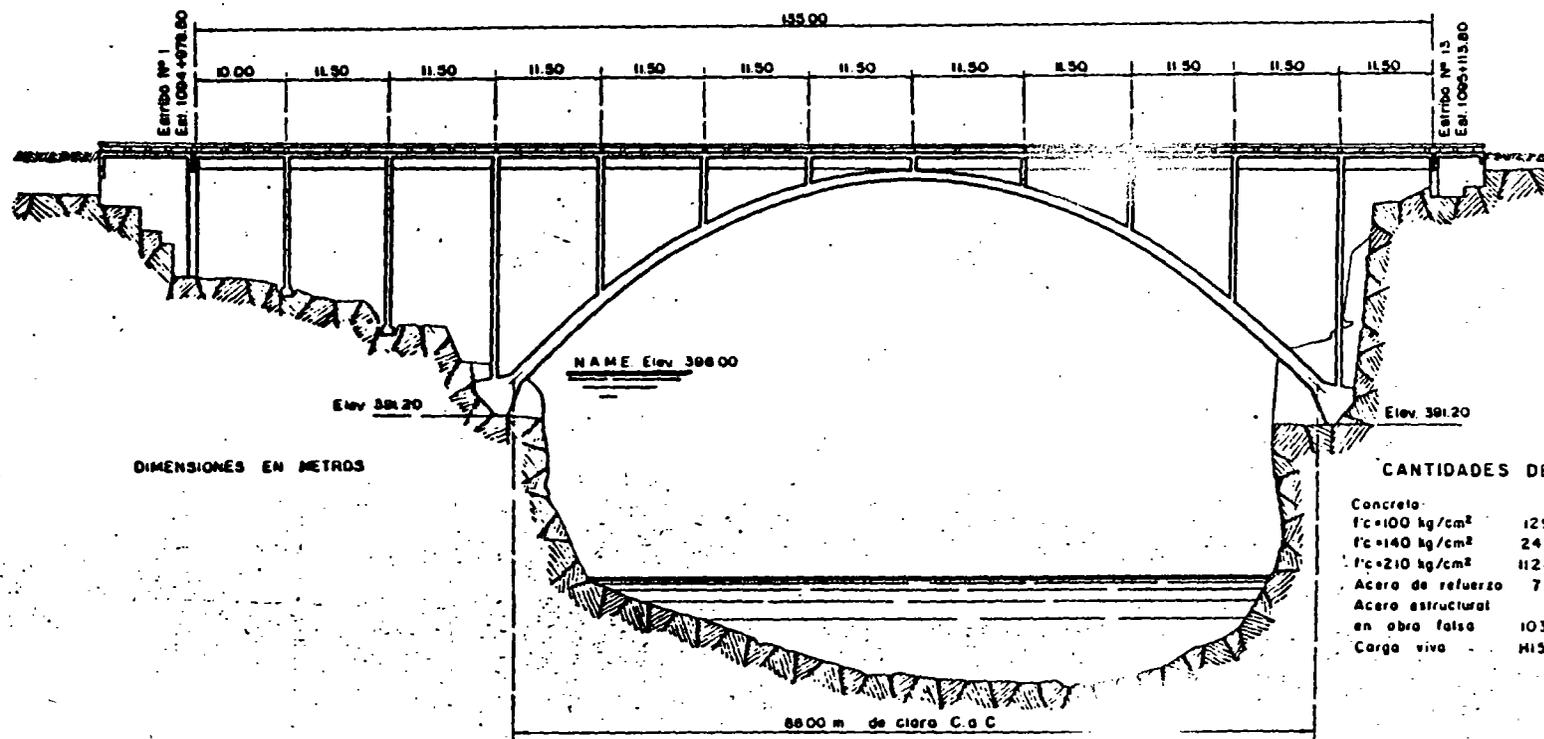
En ~~general~~, siempre se ha considerado sumamente difícil restituir plenamente la integridad estructural de una obra después de un tercio de siglo de uso y abuso de la misma. Es por eso que, si además de lograr lo anterior se cuadruplica su capacidad de circulación y se acondiciona para soportar las grandes cargas vivas de la actualidad, que esperamos no se incrementen más en el futuro para salvaguarda de nuestra red vial, dichos logros pueden considerarse como insólitos.

Cabe finalmente hacer notar que todo logro tiene su precio. Afortunadamente, en nuestro caso, ese precio es muy bajo y estriba fundamentalmente en el hecho de no haber resultado razonable la adopción de concreto reforzado y presforzado en el 100% de las obras de ampliación y reforzamiento. Como alivio frente a esa realidad, nos referiremos nuevamente al Puente Tampico, cuyo claro principal cambia súbitamente de 100% concreto presforzado a 100% acero soldado, sin que ello constituyera un obstáculo para merecer dos preseas internacionales, una en los ámbitos de USA, Canadá y México (American Concrete Institute), y otra en el mundo de influencia ibérica, otorgado a la mejor obra pública finalizada en 1987-88 en España, Portugal y países iberoamericanos. En ambas preseas se destacó el valor estético de la obra, cuyo mencionado pecado venial fue atemperado mediante una pintura del mismo color que el concreto.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 1° de febrero de 1990.

Modesto Armijo Mejía
M. en C. de Ingeniería.
Presidente de COMEC, S. A. de C. V.





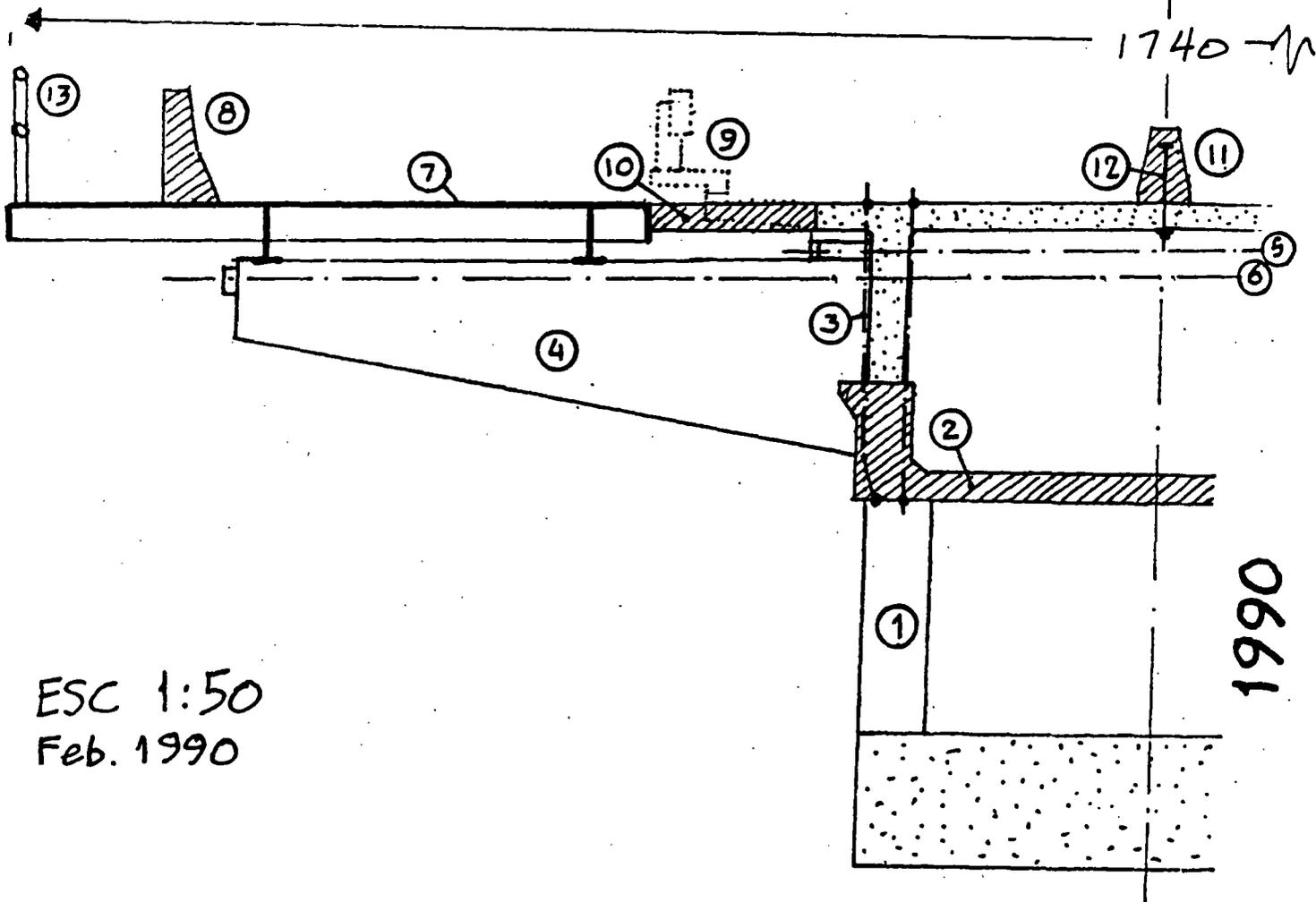
PUENTE BELISARIO DOMINGUEZ

Km 1095+060 CAMINO: MEXICO-OCOTAL

196-100

**PUENTE BELISARIO DOMINGUEZ
TUXTLA GUTIERREZ-CHIAPA DE CORZO
SECUENCIA DE CONSTRUCCION**

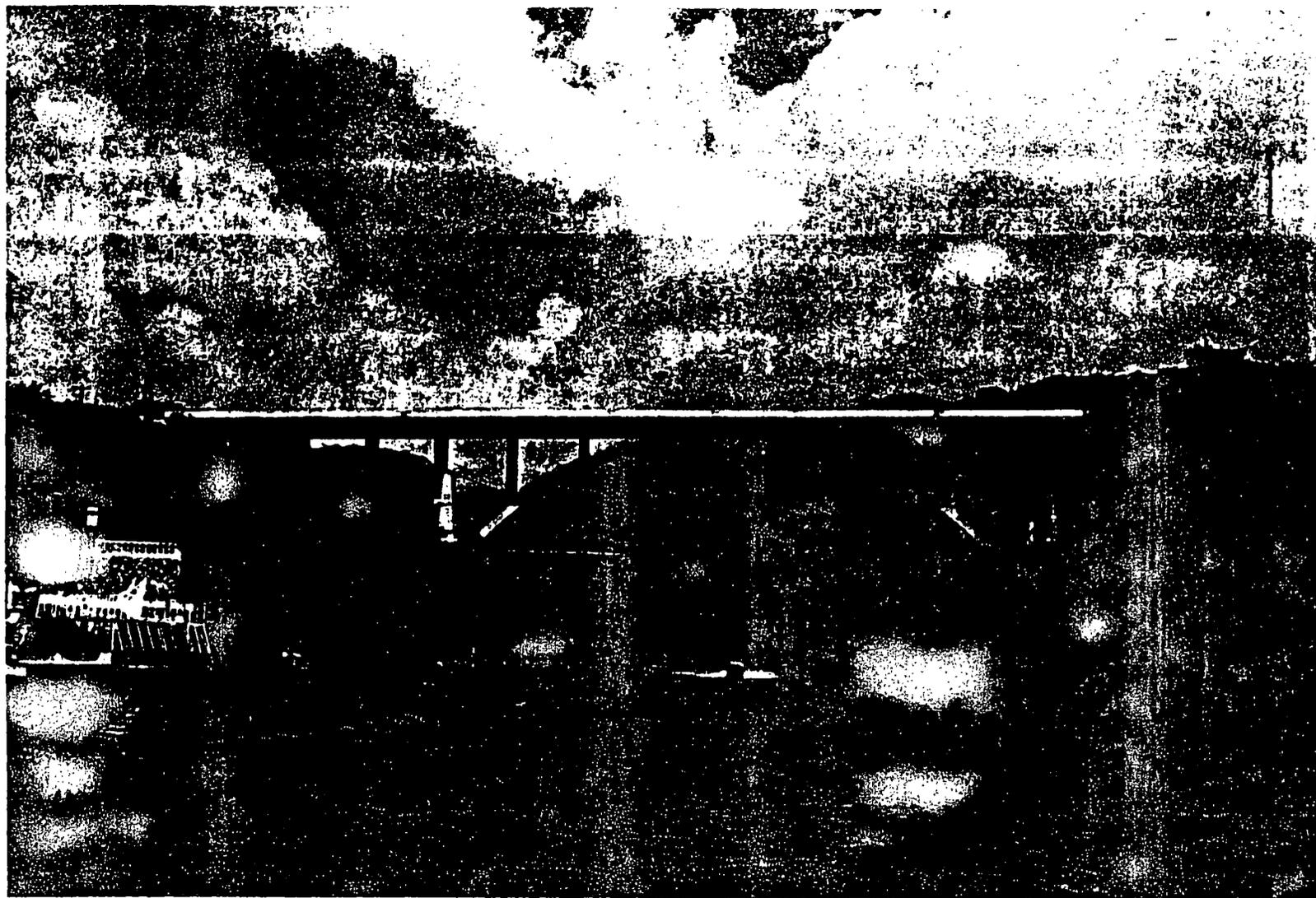
- 1 COLADO DE REFORZAMIENTO DE PILARES
- 2 COLADO DE REFORZAMIENTO DE TRABES
- 3 PRESFUERZO PARA INTEGRAR COLADOS
- 4 MONTAJE DE MENSULA DE ACERO
- 5 PRESFUERZO PARA FIJACION DE MENSULA
- 6 PRESFUERZO PARA EMPOTRAR MENSULA
- 7 MONTAJE DE PISO ORTOTROPICO CON RIGIDIZADORES TRANSVERSALES
- 8 COLADO DE BARRERAS LATERALES
- 9 DEMOLICION DE PARAPETO Y PARTE DE LOSA
- 10 COLADO LOSA DE LIGA
- 11 COLADO DE BARRERA CENTRAL
- 12 PRESFUERZO DE BARRA ROSCADA
- 13 COLOCACION PARAPETO PEATONAL



ESC 1:50
Feb. 1990

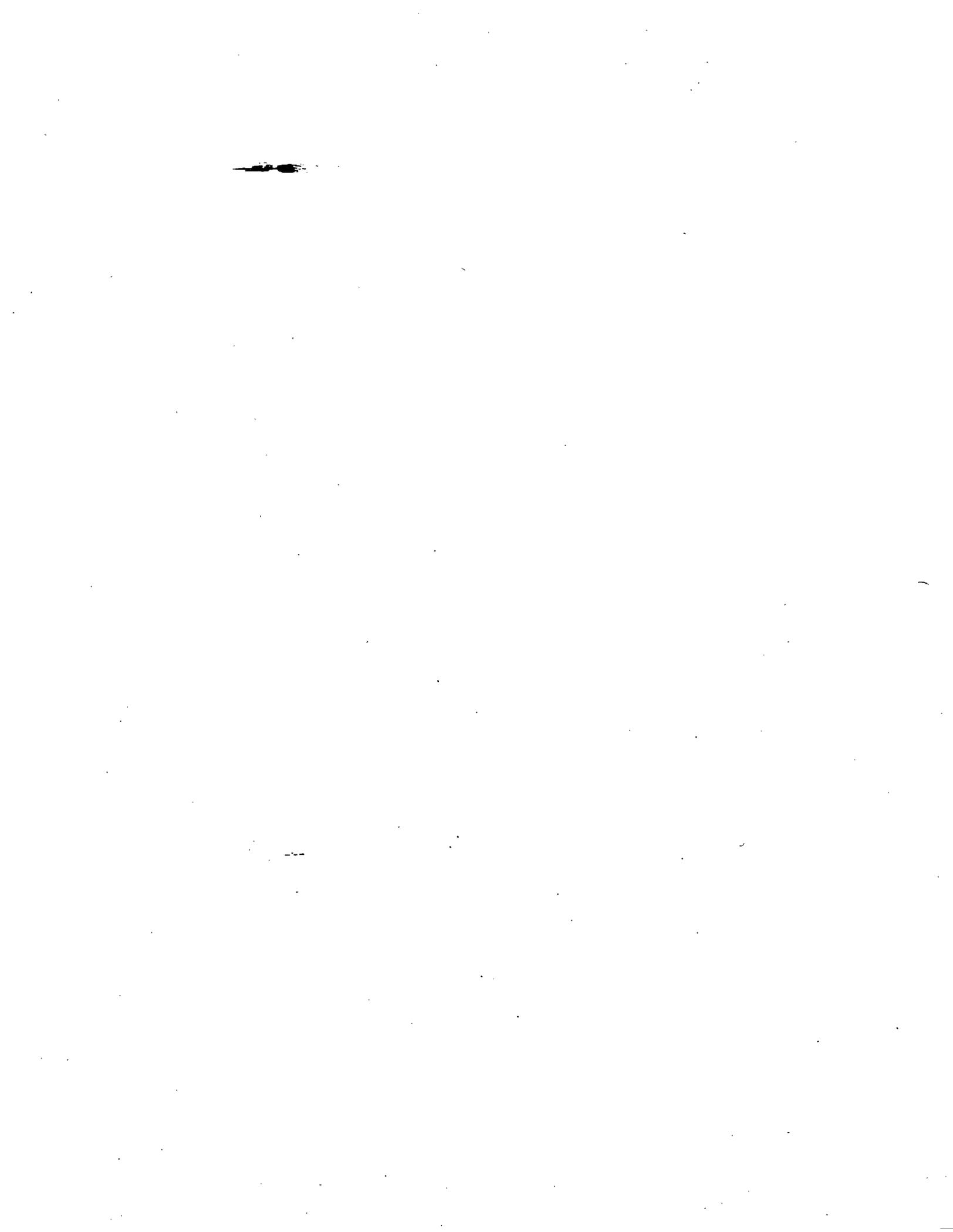
1957

1990









METODOLOGIA PARA INSPECCIONES ESPECIALES

Cualquier trabajo de mantenimiento o reparación de un puente está basado en los resultados obtenidos de inspecciones efectuadas que permiten establecer en que condiciones se encuentra éste. En general, pueden distinguirse tres tipos:

Inspección rutinaria o preliminar.

Inspección principal.

Inspección especial.

Las dos primeras están enfocadas a conocer el estado general de un puente y detectar la presencia de daños que demanden una atención importante. Por otra parte la inspección especial se requerirá en casos particulares en que se necesite determinar el tipo, extensión y causa de los daños, a fin de evaluar las condiciones estructurales y proponer las acciones de reparación más adecuadas.

Procedimiento de una inspección especial:

Este tipo de inspección debe ser realizado por personal especializado y apoyado con equipo que permita obtener información complementaria de investigación; por lo que en ocasiones es recomendable la participación de empresas especializadas de consultoría contratadas para tal efecto.

En términos generales una inspección especial se desarrolla de acuerdo con las actividades siguientes:

Análisis preliminar de información.

Levantamiento geométrico y de daños en la estructura.

Estudios y métodos de prueba en campo.

Evaluación de la estructura y propuestas de reparación.

El análisis preliminar de información requiere contar con el reporte de inspección principal del puente en cuestión, los planos del proyecto original y memoria de cálculo si es posible; así como también los reportes de todos aquellos trabajos de mantenimiento, reparación o modernización que se hayan efectuado. Esto permitirá tener un panorama inicial del deterioro de la estructura y empezar a establecer hipótesis preliminares acerca de los mecanismos de daño.

El levantamiento geométrico y de daños en la estructura está basado en una inspección visual detallada y mediciones que permitirán verificar dimensionamiento y aspectos no incluidos en el proyecto estructural, así como la observación de patrones de deterioro específicos. En esta etapa, es recomendable analizar también la definición y construcción de la estructura, comportamiento del tránsito, condiciones ambientales en los alrededores, funcionamiento hidráulico y otros aspectos que sea necesario considerar posteriormente en las propuestas de reparación. Una vez efectuada la inspección visual se determinarán las hipótesis de daño y consecuentemente se programarán los estudios y métodos de prueba

en campo que contribuirán a encontrar las causas y mecanismos de propagación de los daños.

Los estudios y métodos de prueba deberán llevarse a cabo por personal con experiencia y conocimiento en aspectos tales como operación de equipo, selección y localización de mediciones e interpretación de resultados.

Los métodos de prueba podrán ser de tipo destructivo, no destructivo, detallado en áreas pequeñas o con análisis de muestras en laboratorio, dependiendo de la información requerida para confirmar las hipótesis establecidas previamente.

La evaluación de la estructura se efectuará con base en el análisis de las teorías sobre mecanismos de los daños y complementada con los resultados de las pruebas realizadas. Deberán llevarse a cabo los cálculos de revisión estructural que sean necesarios para corroborar el comportamiento y condiciones de los diferentes elementos, siendo conveniente -- también estimar la capacidad resistente de la estructura en función de sus reservas para distribución de cargas, con el fin de orientar la -- prioridad de atención que debe darse. Si durante el proceso de evaluación, con el análisis de la información que se tiene no es posible concluir las causas y posible desarrollo del daño, será necesario efectuar estudios o pruebas complementarias o bien revisar las hipótesis planteadas inicialmente.

Una vez definidas las condiciones estructurales y estado de deterioro del puente, podrán proponerse diferentes alternativas de reparación, -- las cuales se analizarán principalmente desde el punto de vista de nivel de atención y costos de reparación y mantenimiento, eligiéndose finalmente la opción mas adecuada que posteriormente se desarrollará en un proyecto ejecutivo de reparación.

TIPOS DE DAÑO MAS COMUNES

Deficiencias estructurales:

Grietas estructurales en elementos de concreto.

en elementos de acero.

Deformaciones.

Deterioros no estructurales en el concreto:

Grietas.

Corrosión del acero de refuerzo.

Reactividad de agregados.

Corrosión en elementos de acero.

Deterioro en dispositivos de apoyo y juntas.

Daños en subestructuras:

Grietas.

Asentamientos y desplomes.

Socavación.

METODOS DE INVESTIGACION Y PRUEBAS USUALES

Inspección visual detallada.

Levantamiento de daños.

Pruebas en estructuras de concreto:

Calas.

Medición de recubrimiento.

Medición de potencial electroquímico.

Resistencia del concreto.

Pruebas de reacción química.

Pruebas en estructuras de acero:

Detección de grietas por FMP.

Medición ultrasónica de espesores.

Resistencia del acero.

Evaluaciones estructurales.

ASPECTOS EN LA EVALUACION ESTRUCTURAL

Factores que determinan la capacidad estructural de un puente:

Diseño original.

Evolución de las cargas.

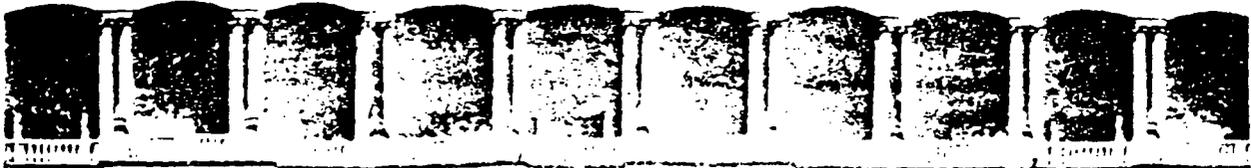
Estado físico.

Reparaciones efectuadas.

Capacidad de redistribución en estructuras para evaluar condiciones críticas:

Trayectoria de carga.- resistencia en conjunto de elementos principales.

Interna.- redundancia interna de un elemento.



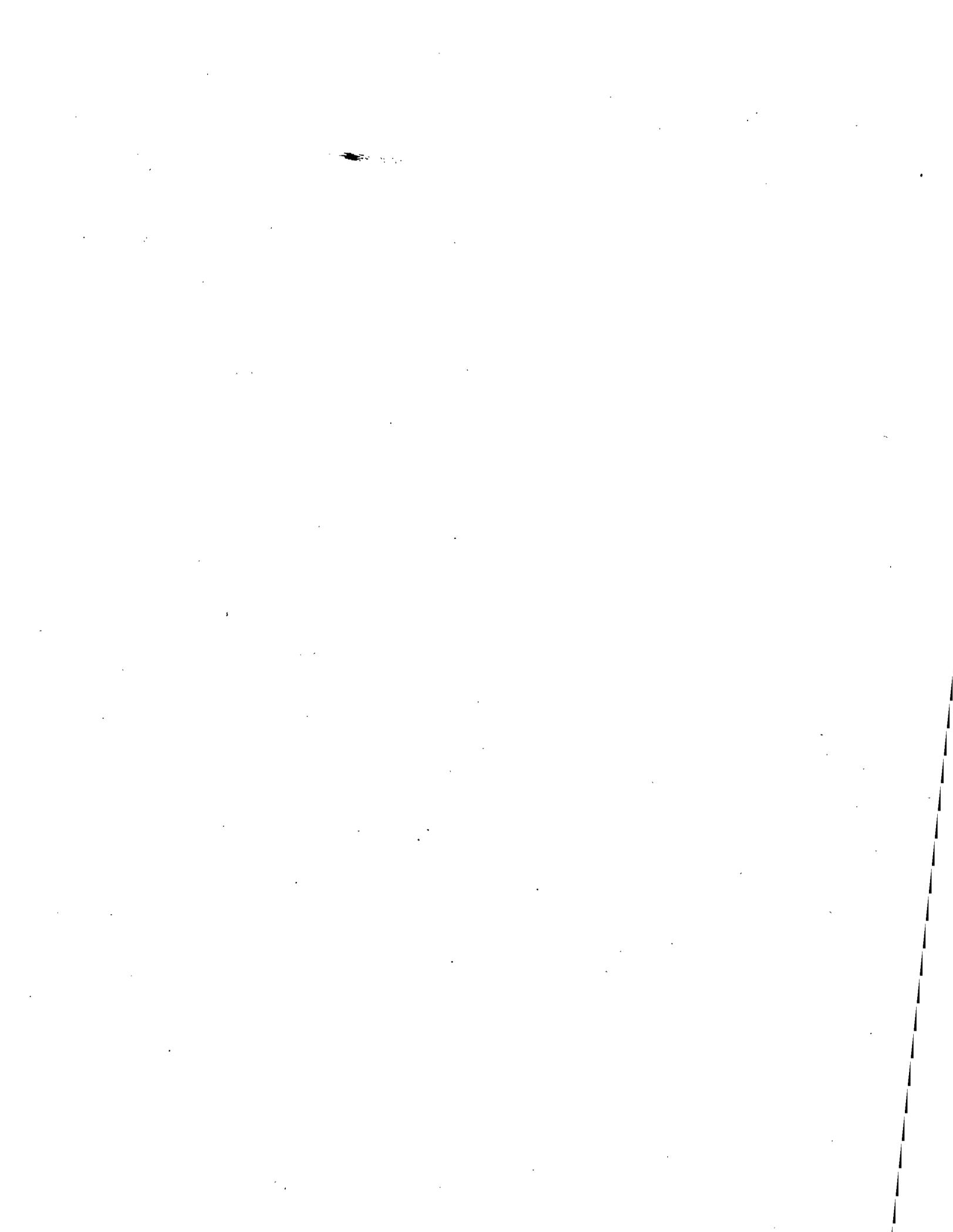
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

INSPECCION, MANTENIMIENTO
Y REHABILITACION DE PUENTES

Inspección de Puentes Atirantados
Del 23 al 27 de septiembre de 1996

ARQ. VICTOR HOYOS PARRAO
PALACIO DE MINERIA
1996



**CURSO DE INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN
DE PUENTES " MINERÍA 23-27-SEPTIEMBRE DE 1996 "**

EN EL AÑO DE 1981 LAS AUTORIDADES DE LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES TENÍAN VARIAS PREOCUPACIONES EN RELACIÓN A LA RED DE PUENTES DEL PAÍS YA QUE :

1.- NO SE SABIA SI LAS ESTRUCTURAS PODRÍAN SOPORTAR LAS CARGAS AUTORIZADAS PARA CIRCULAR POR LAS CARRETERAS FEDERALES DE ACUERDO CON EL ENTONCES NUEVO REGLAMENTO DE PESOS Y DIMENSIONES QUE HABÍA SIDO PUBLICADO EN 1980.

2.- NO SE SABIA EL NUMERO DE PUENTES QUE EXISTÍAN EN EL PAÍS.

3.- NO SE CONTABA CON UN SISTEMA QUE PERMITIESE EFECTUAR DE MANERA METÓDICA Y ORDENADA EL MANTENIMIENTO DE LOS PUENTES.
EN VIRTUD DE LO ANTERIOR SE DECIDIÓ PROCEDER A LEVANTAR UN INVENTARIO NACIONAL DE PUENTES, MISMO QUE FUE TERMINADO EN 1982 Y SE OBTUVO QUE LA RED FEDERAL DE CARRETERAS CONTABA CON 4,500 PUENTES.
EN EL AÑO DE 1995 DESPUÉS DE REALIZAR LAS PRIMERAS INSPECCIONES Y COMPLETAR EL INVENTARIO SE TENÍAN 6,346 ESTRUCTURAS.

NUESTRA EMPRESA, D.S.I. MEXICO TIENE A SU CARGO LA INSPECCIÓN Y DIAGNOSTICO DE LOS PUENTES ATIRANTADOS DE LA CARRETERA CUERNAVACA-ACAPULCO CONTRATADOS DIRECTAMENTE POR LA EMPRESA AUTOPISTA DEL SOL S.A. DE C.V., SIENDO LA PRIMERA QUE REALIZA UN TRABAJO DE ESTA NATURALEZA EN EL PAÍS. AUN CUANDO YA EXISTÍAN LOS PUENTES COATZACOALCOS II Y EL TAMPICO, QUE DE ALGUNA MANERA ESTÁN SIENDO MONITOREADOS POR LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES DIRECTAMENTE.

EN JULIO DE 1994 INICIAMOS ESTOS TRABAJOS, QUE COMO LES COMENTABA, NO HABÍA HASTA ENTONCES NINGÚN ANTECEDENTE PARECIDO, CONTAMOS CON EL APOYO DE NUESTROS SOCIOS INTERNACIONALES QUE TIENEN SUFICIENTE EXPERIENCIA EN ESTE CAMPO. COMO EJEMPLO LES PODRÍA DECIR QUE ALGUNOS DE LOS INGENIEROS DE NUESTRA EMPRESA FORMARON PARTE DE UN EQUIPO QUE CONTROLABA, TAN SOLO EN EL ESTADO DE NUEVA YORK, MAS DE 24,000 ESTRUCTURAS DE DIVERSOS TIPOS, LAS CUALES ESTÁN PERFECTAMENTE INVENTARIADAS Y CUENTAN CON INSPECCIÓN PERMANENTE.

PARA LLEVAR UN CONTROL ORDENADO, SISTEMÁTICO Y METÓDICO NUESTRA EMPRESA DISEÑO UN PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN QUE CONSISTE EN DOS SISTEMAS DE CALIFICACIÓN :

**EL SISTEMA DE RANGO NUMÉRICO (S.R.N.).
Y EL SISTEMA DE RANGO DE CONDICIONES (S.R.C.).**

LOS REPORTES DE CONDICIONES DESCRIBEN EL ESTADO FÍSICO QUE ACTUALMENTE PRESENTA UN MIEMBRO ESTRUCTURAL O ALGÚN OTRO ELEMENTO Y SU CAPACIDAD PARA DESARROLLAR SU FUNCIÓN ESPECIFICA. SE HAN DISEÑADO UNAS FORMAS DE REPORTE QUE SE UTILIZAN PARA REGISTRAR LA INFORMACIÓN DE LAS INSPECCIONES Y QUE SE CONVIERTEN EN LA PARTE MEDULAR DE LA DOCUMENTACIÓN QUE FORMARA LA HISTORIA DE LAS CONDICIONES DEL PUENTE, INCLUYENDO LAS REPARACIONES Y EL MANTENIMIENTO DURANTE SU VIDA ÚTIL. LAS FORMAS DE REPORTE DISEÑADAS POR D.S.I. SE UTILIZAN EN TODAS LAS ETAPAS DE LA VIDA DEL PUENTE PARA REGISTRAR LOS EFECTOS DE TODAS LAS ACCIONES QUE INFLUYAN EN EL COMPORTAMIENTO DE TODOS LOS ELEMENTOS.

EXISTEN TRES DIFERENTES TIPOS DE ACCIONES QUE INFLUYEN EN LAS CONDICIONES DE LOS ELEMENTOS DE LOS PUENTES DE ACUERDO A LO SIGUIENTE :

DEFECTOS: ESTOS ESTÁN RELACIONADOS CON LA CALIDAD ADECUADA DEL DISEÑO, LA CALIDAD DE LOS MATERIALES Y LOS MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN UTILIZADOS. ESTOS DEFECTOS EN EL PUENTE, SON INHERENTES AL MOMENTO DE SU EJECUCIÓN.

DAÑOS: SON DEBIDOS A FENÓMENOS OCASIONALES COMO SOBRECARGAS, IMPACTOS VEHICULARES, DERRAMES DE AGENTES QUÍMICOS, MOVIMIENTOS TELÚRICOS DE ALTO GRÁDO, HURACANES E INCENDIOS. ESTOS FENÓMENOS PUEDEN OCURRIR REPENTINAMENTE DURANTE LA VIDA DE SERVICIO DEL PUENTE.

DETERIORO: ESTO ES USUALMENTE UN PROCESO LENTO QUE OCURRE DURANTE UN LARGO PERIODO Y SE DEBE A CONDICIONES CONOCIDAS O IMPREVISTAS. ESTAS ACCIONES INCLUYEN: EXPOSICIÓN AL MEDIO AMBIENTE (CONGELAMIENTOS Y DESCONGELAMIENTOS CÍCLICOS, RADIACIONES DE RAYOS ULTRAVIOLETA, ETC.), ABRASION, CORROSIÓN, FATIGA, REACCIÓN ALCALINA DE LOS AGREGADOS E INTRODUCCIÓN DE CLORUROS ENTRE OTROS.

SE HA COMPROBADO QUE LAS INFLUENCIAS ADVERSAS DE LOS DEFECTOS Y DETERIOROS, SE PUEDEN REDUCIR Y HASTA ELIMINAR CON LA IMPLEMENTACION DE UN PROGRAMA RACIONAL DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LOS PUENTES.

I.- SISTEMA DE RANGO NUMÉRICO, DENOMINADO (SRN) :

PARA OBTENER UN REPORTE CONSISTENTE Y SIGNIFICATIVO SOBRE EL ADECUADO FUNCIONAMIENTO Y SEGURIDAD DE UN ELEMENTO ESTRUCTURAL PRINCIPAL DEL PUENTE, EL SISTEMA DE RANGO NUMÉRICO SE UTILIZA DE ACUERDO A LO QUE A CONTINUACIÓN SE DESCRIBE :

CALIFICACIÓN DE 1.- POTENCIALMENTE PELIGROSO Y QUE REQUIERE ATENCIÓN INMEDIATA.

CALIFICACIÓN DE 3.- SERIOS DETERIOROS O DEFECTOS; EL ELEMENTO EN CUESTIÓN NO FUNCIONA DE ACUERDO A LO CONTEMPLADO EN EL PROYECTO ORIGINAL. SU REPARACIÓN ES NECESARIA DENTRO DE LOS SEIS MESES SIGUIENTES A LA DETECCIÓN.

CALIFICACIÓN DE 5.- DETERIOROS O DEFECTOS MENOS IMPORTANTES. EL ELEMENTO FUNCIONA COMO HA SIDO DISEÑADO, SIN EMBARGO REQUIERE REPARACIÓN Y/O MANTENIMIENTO EN UN FUTURO PRÓXIMO.

CALIFICACIÓN DE 7.- EL ELEMENTO NO PRESENTA DEFECTOS O HA SIDO REPARADO.

CALIFICACIÓN DE 8.- EL ELEMENTO A REVISAR NO ES ACCESIBLE.

LOS RANGOS NUMÉRICOS 2, 4 Y 6 SE UTILIZAN A CRITERIO DEL INSPECTOR PARA INDICAR ALGUNA CONDICIÓN INTERMEDIA ENTRE LOS RANGOS 1, 3, 5 Y 7, RESPECTIVAMENTE.

ESTE SISTEMA DE RANGO NUMÉRICO, ES PARTICULARMENTE ÚTIL PARA EFECTUAR COMPARACIONES DEL ESTADO DE LOS ELEMENTOS, ESTABLECER PRIORIDADES EN LOS PROGRAMAS DE REPARACIÓN, ASÍ COMO EN LA PLANEACION Y PRESUPUESTACION DE LOS PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO.

II.- SISTEMA DE RANGO DE CONDICIONES , DENOMINADO (SRC) :

ESTE SISTEMA , SE UTILIZA PARA DESCRIBIR LA CONDICIÓN DE LOS COMPONENTES INDIVIDUALES (YA SEAN ESTRUCTURALES O NO) Y QUE FORMAN PARTE DE UN MIEMBRO PRINCIPAL EN EL PUENTE. LOS RANGOS ESTÁN BASADOS EN OBSERVACIONES VISUALES DE CAMPO O EN OTROS PROCEDIMIENTOS SEGÚN SEA EL CASO.

LAS CALIFICACIONES QUE SE UTILIZAN SON:

B : EN BUENAS CONDICIONES.
R : EN REGULARES CONDICIONES.
M : EN MALAS CONDICIONES.
X : NO HAY ACCESO PARA HACER OBSERVACIONES.
NA : NO SE APLICA CRITERIO.

ESTOS SISTEMAS ESTÁN FUNDAMENTADOS EN LA PREMISA DE QUE LOS PUENTES Y SUS ESTRUCTURAS DEBEN SER INSPECCIONADOS CONSUECUDINARIA Y PERIÓDICAMENTE, LA PERIODICIDAD DE LAS INSPECCIONES DEPENDERÁ DEL TIPO DE PUENTE Y DE SU COMPORTAMIENTO HISTÓRICO, ES DECIR, SI CON LAS REVISIONES PERIÓDICAS ESTABLECIDAS SE ENCUENTRAN POCOS CAMBIOS SE PODRÁN ESPACIAR LAS FRECUENCIAS Y VICEVERSA.

EN EL CASO DE LOS PUENTES ATIRANTADOS DE LA AUTOPISTA DEL SOL, LAS REVISIONES PERIÓDICAS SE EFECTÚAN DE ACUERDO A LO ESTABLECIDO EN LOS MANUALES DE LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES: ES DECIR, UNA REVISIÓN EXHAUSTIVA ANUAL Y TRES TRIMESTRALES.

COMO SE DIJO ANTES, ES POSIBLE QUE LA PERIODICIDAD DE LAS REVISIONES SE AMPLIE DE ACUERDO AL COMPORTAMIENTO QUE PRESENTEN LOS PUENTES DURANTE ESTOS PRIMEROS AÑOS .

NO OBSTANTE, LAS ESTRUCTURAS TAMBIÉN SON REVISADAS POR CONSECUENCIA DE MOVIMIENTOS TELÚRICOS O VIENTOS EXTRAORDINARIOS, PARA LO CUAL TAMBIÉN SE PRESENTAN REPORTES ESPECÍFICOS.

PARA PODER IMPLEMENTAR Y LLEVAR A CABO LOS TRABAJOS DESCRITOS SE CUENTA CON:

- 1.- EL PERSONAL DE CAMPO ADECUADAMENTE CAPACITADO PARA LA INSPECCIÓN DE LOS PUENTES, QUE ADEMÁS DEBE OBSERVAR UNA BUENA DISCIPLINA EN CUANTO A SEGURIDAD POR LA NATURALEZA DE SU TRABAJO. ESTE PERSONAL CONSTANTEMENTE ES INSTRUIDO Y SUPERVISADO POR ALGÚN SUPERIOR, CON LA FINALIDAD DE QUE AL REPETIR UNA INSPECCIÓN SE EVITE QUE POR LA RUTINA EN LOS TRABAJOS SE PASEN POR ALTO DETALLES QUE PUEDEN SER IMPORTANTES. EL PERSONAL DE CAMPO CUENTA CON UNAS FORMAS ESPECIALES QUE LE AYUDAN A REALIZAR LA INSPECCIÓN Y LAS SIGUE AL PIE DE LA LETRA CON EL MISMO OBJETIVO DE NO PASAR POR ALTO ALGÚN ELEMENTO. ASIMISMO TOMA FOTOGRAFÍAS DE TODOS LOS PUNTOS RELEVANTES DE LA INSPECCIÓN. SEMANALMENTE, TODA LA INFORMACIÓN RECABADA, SE REMITE A LA OFICINA CENTRAL PARA SU PROCESO Y ORGANIZACIÓN.

- 2.- EL PERSONAL DE OFICINA QUE CLASIFICA Y CAPTURA LOS DATOS OBTENIDOS EN EL CAMPO.
LA INFORMACIÓN RECIBIDA SE FILTRA Y SE COMPARA CON REPORTES ANTERIORES, VERIFICANDO QUE LAS DIFERENCIAS EN LAS CALIFICACIONES SEAN CONSECUENTES, SI SE ENCONTRASE ALGUNA DIFERENCIA MAYOR, SERA NECESARIO VISITAR LA ESTRUCTURA Y CONSTATAR EL DATO EMITIDO PARA ENCONTRAR UNA EXPLICACIÓN.

- 3.- EL EQUIPO DE COMPUTO ADECUADO Y CON SUFICIENTE CAPACIDAD PARA EL ALMACENAMIENTO DE TODOS LOS DATOS DE LOS REPORTES ANTERIORES, DE LOS ACTUALES Y DE LOS QUE SE REALIZARAN A LO LARGO DE LA VIDA DE LA ESTRUCTURA.
ESTE EQUIPO CUENTA CON PROGRAMAS ESPECIALES DE BASES DE DATOS QUE PERMITEN, ADEMAS DE EMITIR LOS REPORTES, ESTABLECER COMPARACIONES DE CALIFICACIÓN CON REPORTES ANTERIORES PARA PODER LLEVAR LA SECUENCIA HISTÓRICA DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS DEL PUENTE Y SABER SI LOS ELEMENTOS SE DETERIORAN, FUERON REPARADOS O PERMANECEN SIN CAMBIO. EL ARCHIVO FOTOGRÁFICO, TAMBIÉN SE CONCENTRA EN DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS QUE FACILITAN SU EFICIENTE BÚSQUEDA Y LOCALIZACIÓN, ASÍ COMO EVITAR EL DETERIORO FÍSICO DE LOS NEGATIVOS O FOTOGRAFÍAS TRADICIONALES.

ALCANCE DE LOS TRABAJOS DE INSPECCIÓN

I.- REVISIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN EXISTENTE

CON EL OBJETO DE DETERMINAR LA MAGNITUD DE LOS PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN, ES MUY IMPORTANTE ENTENDER LA ESTRUCTURA DE LOS PUENTES Y LAS DEMANDAS ESTRUCTURALES DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS QUE LA INTEGRAN Y DE ESTA MANERA ENFOCAR LA ATENCIÓN A LAS ÁREAS MAS IMPORTANTES. PARA ÉSTO, LOS PLANOS, LAS DIMENSIONES Y LOS DETALLES DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES (PILONES, TABLERO, TIRANTES Y SUS ANCLAJES, APOYOS, TOPES ANTISÍSMICOS Y JUNTAS DE DILATACIÓN) PARA CADA UNO DE LOS PUENTES, NECESITAN SER REMITIDOS A LA EMPRESA PARA SU ESTUDIO Y EVALUACIÓN.

IGUALMENTE IMPORTANTE SON LOS DATOS TOPOGRÁFICOS DE LOS PUENTES (ELEVACIÓN DEL TABLERO Y LA POSICIÓN DE LAS PILAS Y PILONES) DESPUÉS DEL AJUSTE FINAL DE LOS CABLES AL TERMINAR LA CONSTRUCCIÓN, ASÍ COMO LAS MEDIDAS DE LAS FUERZAS FINALES APLICADAS EN CADA TIRANTE. OTROS DETALLES, COMO DIBUJOS Y/O INFORMACIÓN DEL DISEÑO ORIGINAL PUEDE SER REQUERIDA CONFORME AVANCEN LAS INSPECCIONES Y VAYAN SIENDO ENCONTRADAS FALLAS ESPECÍFICAS.

II.- DOCUMENTACIÓN

ES VITAL, PARA EL RESULTADO DE LAS INSPECCIONES (Y TRABAJOS DE MANTENIMIENTO) SER PRECISOS Y LLENAR ADECUADAMENTE LAS FORMAS CORRESPONDIENTES, INCLUYENDO LOS DATOS POCO REPRESENTATIVOS, DE MANERA QUE SE PUEDA TENER UNA HISTORIA COMPLETA DE LAS ESTRUCTURAS Y QUE ESTÉ DISPONIBLE EN CUALQUIER MOMENTO. MIENTRAS SE EFECTÚE UNA

INSPECCIÓN, DEBERÁ TENERSE EN CONSIDERACIÓN QUE CUALQUIER FALLA TIENE UNA CAUSA Y EL OBJETO DE LA EMPRESA INSPECTORA, SERÁ EL DETERMINAR DICHA CAUSA. LOS PLANOS CONSTRUCTIVOS Y CÁLCULOS DE DISEÑO, ETC. AYUDARÁN EN LA ASESORÍA DEL MANTENIMIENTO NECESARIO, EL DIAGNÓSTICO DE LAS FALLAS Y CUALQUIER REVISIÓN DE CAPACIDAD DE CARGAS.

LA DOCUMENTACIÓN DE LOS PUENTES DEBE CONSIDERARSE COMO DATOS SIGNIFICATIVOS, NECESARIOS Y RELEVANTES Y CUYA INFORMACIÓN SEGUIRÁ AUMENTANDO Y SE MANTENDRÁ LISTA PARA CONSULTARLA, EVALUARLA, DISEMINARLA Y RETROALIMENTAR A LA EMPRESA PARA UN MEJOR MANEJO DE LA AUTOPISTA.

III.- INSPECCIÓN DE LOS PUENTES

COMO PRIMER PASO EN EL PROGRAMA DE INSPECCIÓN, SE HARÁ UN RECORRIDO DE LAS ESTRUCTURAS DE CADA PUENTE CON LOS SIGUIENTES OBJETIVOS :

A).- INSPECCIÓN VISUAL CON LA AYUDA DE BINOCULARES DE LA SUPERESTRUCTURA, PILAS, ESTRIBOS, PILONES, TIRANTES, JUNTAS DE DILATACIÓN Y APOYOS, PARA DETERMINAR DAÑOS O DEFECTOS OBVIOS, TALES COMO ACCIDENTES DE TRÁFICO, MOVIMIENTOS TELÚRICOS, ETC. APUNTAR Y REPORTAR DICHOS DAÑOS, ASÍ COMO LAS ÁREAS CON DETERIOROS SERIOS, FISURAS Y OTRAS IRREGULARIDADES.

B).- INSPECCIÓN VISUAL DE LOS PUNTOS ACCESIBLES BAJO EL TABLERO DEL PUENTE POSICIONANDO LAS CANASTILLAS DE INSPECCIÓN EXISTENTES PARA OBSERVAR LAS CONDICIONES GENERALES DE LA PARTE BAJA DEL TABLERO, LOS APOYOS Y LOS TOPES ANTISÍSMICOS; APUNTAR Y REPORTAR LOS DAÑOS OBVIOS.

C).- INSPECCIÓN VISUAL DEL SUELO Y LOS TALUDES ALREDEDOR DE LOS ESTRIBOS Y LOS CIMIENTOS DE LAS PILAS PARA REVISAR EL DESLIZAMIENTO Y/O EROSIÓN DEL TERRENO. APUNTAR Y REPORTAR TODO AQUELLO QUE SE HAYA ENCONTRADO IRREGULAR.

D).- FOTOGRAFIAR Y/O FILMAR LOS PRINCIPALES COMPONENTES ESTRUCTURALES DE CADA PUENTE, APARIENCIA GENERAL Y CONDICIONES DEL TERRENO; ANOTAR POR CADA FOTOGRAFÍA, SU LOCALIZACIÓN Y LA DIRECCIÓN DE SU TOMA Y FECHA, LAS SUBSECUENTES FOTOGRAFÍAS SERÁN TOMADAS DE LA MISMA MANERA PARA QUE SEAN DIRECTAMENTE COMPARABLES.

E).- REPORTE DE LAS CONDICIONES GENERALES DE LIMPIEZA DEL PUENTE, EN PARTICULAR DE LAS JUNTAS DE CALZADA, SISTEMA DE DRENAJE Y LA CONDICIÓN DE LAS SUPERFICIES PINTADAS.

F).- REPORTAR EL FUNCIONAMIENTO DE LAS LUCES DE NAVEGACIÓN AÉREA Y SISTEMA DE PARARRAYOS.

IV.- CONTROL TOPOGRÁFICO DEL PUENTE

SE MARCARÁN PUNTOS DE CONTROL EN LOS DIFERENTES ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL PUENTE MEDIANTE TESTIGOS DEBIDAMENTE NUMERADOS Y MARCADOS PARA SU CONFIABLE Y PERMANENTE IDENTIFICACIÓN, ESTOS PUNTOS SERÁN TOPOGRÁFICAMENTE UBICADOS EN LOS TRES EJES CARTESIANOS, REFERIDOS A BANCOS DE NIVEL PREESTABLECIDOS Y A PARTIR DE LOS CUALES SE REALIZARÁN TODAS LAS MEDICIONES.

A).-PERFIL DEL TABLERO DEL PUENTE
SE REALIZARÁ UNA NIVELACIÓN BASADA EN LOS PUNTOS DE CONTROL ORIGINALES TANTO DEL LADO IZQUIERDO COMO DERECHO PARA COMPARARLA CON LA NIVELACIÓN ORIGINAL Y DETERMINAR LAS DIFERENCIAS, SI LAS HAY.

B).- VERIFICACIÓN DE LAS PILAS, PILONES Y ESTRIBOS.
EL OBJETO SERÁ EL DE VERIFICAR LA EXISTENCIA DE INCLINACIONES, DEFORMACIONES O TORSIONES EN EL CUERPO DE LA PILA.
DE ACUERDO AL PROCEDIMIENTO DESCRITO AL INICIO DE ESTE CAPÍTULO SE MARCARÁN CUATRO PUNTOS EN LAS ARISTAS DE LA PILA A UN METRO DE SUS EXTREMOS, CON LO CUAL SE OBTENDRÁN SECCIONES QUE SE PODRÁN SUPERPONER ENTRE SÍ, REGISTRANDO SUS POSICIONES RELATIVAS PARA DETECTAR CUALQUIER INCLINACIÓN O DEFORMACIÓN EXISTENTE.

C).- NIVELACIÓN DE LA CIMENTACIÓN DE LAS PILAS Y DE LOS ESTRIBOS.
EL OBJETO SERÁ EL DE VERIFICAR LA EXISTENCIA DE HUNDIMIENTOS EN LA ESTRUCTURA GENERAL DEL PUENTE.
UTILIZANDO LOS TESTIGOS, COLOCADOS EN LAS ARISTAS DE LAS PILAS, SE REGISTRARÁN LOS VALORES DE LAS COORDENADAS CARTESIANAS, PARA PODER COMPARAR LAS ELEVACIONES DE LAS DIFERENTES MEDICIONES.

D).- RESUMEN DE LAS MEDIDAS OBTENIDAS EN EL LEVANTAMIENTO Y COMPARACIÓN CON LOS PERFILES OBTENIDOS AL TÉRMINO DE LA CONSTRUCCIÓN.

V.- INSPECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONCRETO

ESTE CAPÍTULO SE APLICA A TODOS LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO DEL PUENTE, INCLUIDOS CIMIENTOS, PILAS, ESTRIBOS, SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE (SUPERFICIE DE RODAMIENTO SOLAMENTE EN EL CASO DE ESTRUCTURAS MIXTAS), PILONES, TOPES ANTISÍSMICOS Y PARAPETOS DE CONCRETO.
DURANTE LA REVISIÓN, LOS DATOS EN LAS FORMAS DE INSPECCIÓN, ELABORADAS PARA TAL EFECTO, DEBERÁN SER RECABADOS PARA CADA ELEMENTO ESTRUCTURAL.

LA INSPECCIÓN DE CADA ELEMENTO DEBERÁ CONCENTRARSE EN FISURAS, DESCONCHAMIENTOS Y DEGRADACIÓN DEL CONCRETO.

V.1.- LOCALIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS FISURAS.

LA LOCALIZACIÓN DE LA FISURA DEBERÁ APUNTARSE EN LA FORMA DE INSPECCIÓN DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL RESPECTIVO. DEBERÁ ANEXARSE UN CROQUIS O FOTOGRAFÍA MARCANDO LA LOCALIZACIÓN, DIRECCIÓN, LONGITUD Y ANCHO DE LA FISURA. EL ANCHO DE LA FISURA DEBERÁ SER MEDIDO CON UN COMPARADOR ÓPTICO. LA FISURA Y SUS EXTREMOS DEBERÁN TAMBIÉN SER MARCADAS CON PINTURA EN EL CONCRETO.
LAS FISURAS EN EL CONCRETO NO SIEMPRE PONEN EN PELIGRO LA SEGURIDAD O LA CAPACIDAD DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL, LOS POSIBLES EFECTOS DE LAS FISURAS, DEBERÁN SER CONSIDERADOS EN EL CONTEXTO DE SU CAUSA , LOCALIZACIÓN, SISTEMA ESTÁTICO Y MEDIO AMBIENTE.

LAS FISURAS PUEDEN SER CLASIFICADAS SEGÚN SU ORIGEN EN:

A).- FISURAS POR TEMPERATURA : ESTAS SON A TRAVÉS DE TODA LA SECCIÓN O SUPERFICIE Y SON CAUSADAS POR CALOR DE HIDRATACIÓN O POR INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE.

B).- FISURAS POR CONTRACCIÓN : SE DEBEN A LA CONSTRICCIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES CIRCUNDANTES, MAYOR PÉRDIDA DE HUMEDAD DE UNA DE LAS SUPERFICIES CON RESPECTO A OTRA, DIFERENTE PORCENTAJE O TIEMPO DE CONTRACCIÓN, O DIFERENTE COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN TOTAL.

C).- FISURAS POR ENVEJECIMIENTO : PUEDEN SER CAUSADAS POR CORROSIÓN DEL ACERO, ATAQUE POR SULFATOS O REACCIONES DE LOS AGREGADOS (ÁLCALIS O SILICONES).

D).- FISURAS POR CARGA : ESTAS SE DEBEN A FLEXIONES, TENSIONES, ESFUERZOS CORTANTES, TORSIONES, FALLAS DE ADHERENCIA, CARGAS CONCENTRADAS, ASENTAMIENTOS O PRESFUERZO INCORRECTO.

ANTES DE SELECCIONAR Y RECOMENDAR UN MÉTODO DE REPARACIÓN DE FISURAS, DEBERÁ DETERMINARSE SU CAUSA Y SABER SI LAS FISURAS SON ACTIVAS O ESTABLES. EL COMPORTAMIENTO DE LA FISURA DEBE VERIFICARSE CON OBSERVACIONES PERIÓDICAS Y MEDIANTE TESTIGOS APLICADOS EN LAS ZONAS CRÍTICAS.

EL EFECTO DE LAS FISURAS EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL ELEMENTO DEBERÁ SER EVALUADO.

SE DEBERÁN TENER CONSIDERACIONES A LA POSIBLE NECESIDAD DE SELLAR LAS FISURAS MAS ANCHAS PARA PREVENIR LA CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO, DEBIDO A LA ENTRADA DE AGENTES AGRESIVOS.

V.2.- DESCONCHAMIENTOS

LOS DESCONCHAMIENTOS DEL CONCRETO, DEBERÁN APUNTARSE DE LA MISMA MANERA QUE LAS FISURAS, Y TAMBIÉN DEBERÁN MARCARSE CON PINTURA. LA RAZÓN DE LOS DESCONCHAMIENTOS DEBERÁ DETERMINARSE DE ACUERDO A LAS SIGUIENTES POSIBLES RAZONES :

CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO O DE LOS ACCESORIOS AHOGADOS. EFECTOS DE TEMPERATURA (CONGELAMIENTO O FUEGO).

ATAQUES QUÍMICOS O DAÑOS MECÁNICOS.

MALA CALIDAD DEL CONCRETO.

INSUFICIENCIA EN EL ACERO DE REFUERZO.

EL ÁREA DEL APOYO MUY CERCA DEL EXTREMO DEL ELEMENTO DE CONCRETO.

V.3. LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS DEGRADADAS Y SEÑALES DE CORROSIÓN.

LAS ZONAS DEGRADADAS PUEDEN SER EL RESULTADO DE :

A).- ATAQUES QUÍMICOS : LA PASTA DE CEMENTO ALTAMENTE ALCALINA QUE SE FORMA POR HIDRATACIÓN ESTÁ SUJETA A ATAQUES QUÍMICOS Y PUEDE REACCIONAR ÚNICAMENTE AL DISOLVERSE EN EL AGUA CONTENIDA EN LOS POROS DE LA PASTA DEL CEMENTO. LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A ATAQUES QUÍMICOS DEPENDE, POR LO TANTO, DE LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO, DEL TIPO Y TAMAÑO DE LOS POROS Y DEL TIPO DE CEMENTO UTILIZADO.

B).- DISOLUCIÓN : LOS COMPUESTOS FÁCILMENTE SOLUBLES, PUEDEN SER LAVADOS FUERA DEL CONCRETO O DE LA PASTA DE CEMENTO POR EL ACCESO CONTINUO DE AGUA.

C).- EXPANSIÓN : LOS COMPUESTOS CON SOLUBILIDAD PESADA SE RETIENEN DENTRO DE LA PASTA DE CEMENTO CONFORME SE RECRISTALIZAN EN EL SISTEMA CAPILAR DE POROS. SI OCUPAN MAS ESPACIO QUE EN SU FORMA ORIGINAL, OCURREN ESFUERZOS DE EXPANSIÓN QUE PUEDEN LLEVAR A UN ESTALLAMIENTO.

**D).- EXCESIVA AFLORESCENCIA, DECOLORACIÓN Y MANCHAS , LAS RAZONES POR LAS CUALES ESTO PUEDE SUCEDER SON :
ATAQUES QUÍMICOS, EXCESO DE SALES MINERALES EN EL CONCRETO, ALTA POROSIDAD QUE PERMITE INGRESO DE AGUA.EL RECUBRIMIENTO DE CONCRETO SOBRE LOS ARMADOS ES ESCASO O LOS DUCTOS DE LOS TENDONES DE POSTENSIÓN NO FUERON LECHADEADOS CORRECTAMENTE.**

LA LOCALIZACIÓN DE ZONAS DEGRADADAS Y DE CORROSIÓN DEBERÁN SER MARCADAS EN EL CONCRETO CON PINTURA Y SERÁN REGISTRADAS EN SU RESPECTIVA FORMA DE INSPECCIÓN. LA CAUSA DE LA DEGRADACIÓN DEBERÁ SER DETERMINADA Y SI SE REQUIERE, DEBERÁN ESPECIFICARSE LAS ACCIONES A TOMAR.

V.4. PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN .

**AUNQUE TODOS LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO DEBERÁN SER REVISADOS, PARA ENCONTRAR DAÑOS O IRREGULARIDADES, HAY ÁREAS EN LAS CUALES LA INSPECCIÓN ES ESPECIALMENTE IMPORTANTE. ESTAS SON LAS ÁREAS CERCANAS A LOS ANCLAJES DE LOS TIRANTES EN EL TABLERO DEL PUENTE Y DE LOS PILONES, LAS ÁREAS DE POSTENSADO EN EL TABLERO DEL PUENTE Y EN LOS PILONES, AMBOS POR FUERA Y POR DENTRO Y LAS ZONAS CERCANAS A LAS JUNTAS DE DILATACIÓN, LOS APOYOS Y LOS TOPES ANTISÍSMICOS.
PARA EL PUENTE QUETZALAPA, EL ÚNICO CON TABLERO DE CONCRETO CUBIERTO EN ESTE PROGRAMA, TAMBIÉN SE DEBERÁN REVISAR LAS TRABES LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES ASÍ COMO LA PARTE SUPERIOR DE LAS PILAS QUE REQUERIRÁN ESPECIAL ATENCIÓN.**

LAS ÁREAS DE CONCRETO QUE MUESTRAN IRREGULARIDADES, PODRÁN REQUERIR FUTURAS INVESTIGACIONES, EN PARTICULAR PRUEBAS NO-DESTRUCTIVAS DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO, COMO EL MÉTODO DE SCHMIDT-HAMMER.

VI.- INSPECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE ACERO ESTRUCTURAL DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE

PARA CADA ELEMENTO ESTRUCTURAL O GRUPO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES, DEBERÁ SER LLENADA UNA HOJA DE INSPECCIÓN DURANTE ÉSTA. LA ATENCIÓN DEL INSPECTOR DEBERÁ CONCENTRARSE EN LAS FISURAS DE LAS VIGAS Y SUS SOLDADURAS, LAS CONEXIONES ATORNILLADAS, LA CONDICIÓN DE LA PINTURA Y CORROSIÓN, DAÑOS ACCIDENTALES Y SIGNOS DE FALLAS LOCALES.

VI.1. LOCALIZACIÓN DE LAS FISURAS.

LA LOCALIZACIÓN DE LAS FISURAS EN LAS VIGAS Y SUS SOLDADURAS, INICIALMENTE DEBERÁ DEPENDER DE UNA INSPECCIÓN VISUAL Y CON APARATOS. EN ÁREAS SOSPECHOSAS, SE DEBERÁN HACER PRUEBAS CON LÍQUIDOS PENETRANTES O ULTRASONIDO PARA DETERMINAR LA EXISTENCIA DE FISURAS EN LAS SECCIONES DF

ACERO O SOLDADURAS.

LA BÚSQUEDA DE FISURAS SE CONCENTRARÁ PRINCIPALMENTE EN LAS ZONAS CERCA Y ALREDEDOR DE LAS SOLDADURAS Y A SITIOS QUE SON SUSCEPTIBLES A CONCENTRACIONES DE ESFUERZOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS, INCLUYENDO LOS ANCLAJES DE LOS CABLES.

LA LOCALIZACIÓN DE LA FISURA, SE APUNTARÁ EN LA FORMA DE INSPECCIÓN PARA LOS ELEMENTOS RESPECTIVOS DE ACERO Y SE DEBERÁ HACER UN CROQUIS O TOMAR UNA FOTOGRAFÍA ESPECIFICANDO LA LOCALIZACIÓN, DIRECCIÓN, LONGITUD Y ANCHO DE LA FISURA. LA FISURA Y SUS EXTREMOS TAMBIÉN SE MARCARÁN CON PINTURA SOBRE EL ACERO.

TODAS LAS FISURAS SE NECESITAN EVALUAR PARA CUALQUIER REPARACIÓN QUE SEA NECESARIA O PARA SER VIGILADAS EN INSPECCIONES PROGRAMADAS REGULARMENTE.

VI.2. CONEXIONES ATORNILLADAS.

DEBERÁN EFECTUARSE INSPECCIONES VISUALES A LAS CONEXIONES ATORNILLADAS, Y REGISTRARSE EN LAS HOJAS DE INSPECCIÓN.

VI.3. CONDICIÓN DE LA PINTURA Y CORROSIÓN.

EN LA HOJA DE INSPECCIÓN DE CADA ELEMENTO ESTRUCTURAL DE ACERO, LA DETECCIÓN DE DECOLORACIÓN DE LA PINTURA, BURBUJAS, DESCASCARADO Y ABRASIONES ACCIDENTALES, DEBERÁN SER ANOTADAS Y LAS ÁREAS DEFECTUOSAS MARCADAS CON PINTURA SOBRE EL ACERO.

SU EVALUACIÓN DEBERÁ INCLUIRSE EN LAS RECOMENDACIONES PARA SU REPARACIÓN.

VI.4. DAÑOS ACCIDENTALES Y FALLAS LOCALES.

CUALQUIER DAÑO EN LAS VIGAS DE ACERO, COMO ABOLLADURAS, CORTES Y OTRAS INUSUALES DEBERÁN REGISTRARSE EN LAS FORMAS DE INSPECCIÓN Y EVALUARSE.

VII.- TIRANTES

LOS PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN PARA LOS ANCLAJES DE LOS TIRANTES, PUEDEN DIFERIR, DEPENDIENDO DEL SISTEMA QUE SE UTILIZÓ.

LOS SIGUIENTES PROCEDIMIENTOS GENERALES SE APLICARÁN PARA TODOS LOS DIFERENTES TIPOS DE TIRANTES. DURANTE LA INSPECCIÓN, LA FORMA DEBERÁ SER LLENADA PARA CADA TIRANTE.

VII.1. INSPECCIÓN VISUAL

EN CADA TIRANTE DEBERÁ REALIZARSE UNA INSPECCIÓN VISUAL. EL TUBO EXTERIOR DE PEHD DEBERÁ SER INSPECCIONADO CON LA AYUDA DE BINOCULARES POTENTES PARA ENCONTRAR DAÑOS, FISURAS Y DETERIOROS, ASÍ COMO DAÑOS EN LAS UNIONES TERMOFUSIONADAS.

EL ANCLAJE EN EL TABLERO DEL PUENTE, ASÍ COMO EL DEL PILÓN, DEBERÁ SER INSPECCIONADO POR CADA CABLE PARA DETERMINAR CUALQUIER GOTEOS DEL COMPONENTE ANTICORROSIVO, GOTEOS DE AGUA, CORROSIÓN Y CUALQUIER IRREGULARIDAD EN EL SOPORTE DEL ANCLAJE.

TODAS LA IRREGULARIDADES O LA NO EXISTENCIA DE ELLAS, DEBERÁN REGISTRARSE EN LA CORRESPONDIENTE FORMA DE INSPECCIÓN.

VII.2. INSPECCIÓN DETALLADA DEL ANCLAJE.

SE DEBERÁ REMOVER LA CAPUCHA PROTECTORA AL 10% DE LOS ANCLAJES DEL TABLERO. LOS ANCLAJES A INSPECCIONARSE DEBEN SER SELECCIONADOS DE MANERA QUE SE INCLUYAN CABLES LARGOS Y CORTOS, ASÍ COMO LOS CABLES EN DONDE LA NIVELACIÓN DEL TABLERO DEL PUENTE, COMPARADA CON LA NIVELACIÓN ORIGINAL, MUESTRE UNA APARENTE PÉRDIDA EN LA FUERZA. DEBERÁ DETERMINARSE LA CONDICIÓN DEL COMPONENTE ANTICORROSIVO, LA PRESENCIA DE AGUA, CORROSIÓN EN TODOS LOS COMPONENTES DEL ANCLAJE Y DESLIZAMIENTO DE CUALQUIER TORÓN EN LA PLACA DE CUÑAS. UNA VEZ TERMINADA LA INSPECCIÓN DE UN ANCLAJE, ES NECESARIO RELLENAR LA CAPUCHA PROTECTORA CON EL COMPONENTE ANTICORROSIVO Y REINSTALARLA TENIENDO CUIDADO DE COLOCAR EL SELLO ADECUADAMENTE. SI SE HUBIESE ENCONTRADO PENETRACIÓN DE AGUA EN EL ANCLAJE, DEBERÁ INVESTIGARSE LA LOCALIZACIÓN DEL GOTEO Y SE SUGERIRÁ LA REPARACIÓN CORRESPONDIENTE.

SI EN LOS ANCLAJES SELECCIONADOS INICIALMENTE SE LLEGARA A ENCONTRAR QUE TIENEN SERIAS FALLAS DE ACUERDO A LO ENUNCIADO EN EL PÁRRAFO ANTERIOR, DEBERÁN SELECCIONARSE, DE ACUERDO AL CRITERIO DE LOS INSPECTORES, OTRO 10% DE ANCLAJES E INSPECCIONARSE DE LA MISMA MANERA. SI LA INSPECCIÓN DE ESTA SEGUNDA SELECCIÓN REVELA FALLAS, SE DEBERÁ TOMAR LA DECISIÓN DE INSPECCIONAR MAS GRUPOS DE ANCLAJES O PROCEDER A LA REVISIÓN TOTAL, DEPENDIENDO DE LA GRAVEDAD DE LOS DEFECTOS ENCONTRADOS. TODOS LOS DEFECTOS O LA NO EXISTENCIA DE ELLOS, DEBERÁN SER REGISTRADOS EN LAS FORMAS DE INSPECCIÓN CORRESPONDIENTES. EL CONTRATANTE DEBERÁ SER NOTIFICADO DE LA NECESIDAD DE CUALQUIER REPARACIÓN.

VII.3. INSPECCIÓN DE LOS TUBOS ANTIVANDÁLICOS

SE DEBERÁ REALIZAR UNA INSPECCIÓN VISUAL DE TODOS LOS TUBOS ANTIVANDÁLICOS PARA DETERMINAR LA CONDICIÓN DE LOS SELLOS EN LA PARTE SUPERIOR E INFERIOR, EL GALVANIZADO, CUALQUIER DEFECTO O DAÑO, ASÍ COMO EL APRIETE DE LOS TORNILLOS LONGITUDINALES O LA SOLDADURA DEL TUBO. LOS RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN DEBERÁN SER REGISTRADOS EN LA FORMA CORRESPONDIENTE.

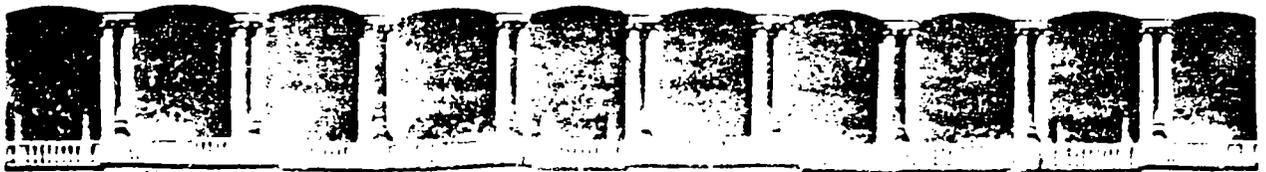
SE REMOVERÁ O DESLIZARÁ HACIA ARRIBA EL 2% DE LOS TUBOS ANTIVANDÁLICOS PARA LA INSPECCIÓN DE LOS CABLES QUE PROTEGEN.

SE TENDRÁ CUIDADO DE SELECCIONAR TUBOS ANTIVANDÁLICOS QUE CUBRAN TANTO CABLES LARGOS COMO CORTOS, ASÍ COMO CASOS EN DONDE SE ENCUENTREN DEFECTOS EN EL SELLO O EN LOS TORNILLOS. DEBERÁ INSPECCIONARSE EL CABLE QUE SE ENCUENTRA DENTRO DEL TUBO ANTIVANDÁLICO PARA DETECTAR SI EXISTE ALGÚN POSIBLE DETERIORO PROVOCADO POR CORROSIÓN, PRESENCIA DE AGUA O CUALQUIER OTRA IRREGULARIDAD. DESPUÉS DE REGISTRAR LOS RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN EN LA FORMA CORRESPONDIENTE, LOS TUBOS ANTIVANDÁLICOS DEBERÁN SER REINSTALADOS O REPOSICIONADOS Y RESELLADOS. DEPENDIENDO DE LAS CONDICIONES ENCONTRADAS SE REVISARÁ UN SEGUNDO GRUPO DE TUBOS DE LA MISMA FORMA.

VII.4. REVISIÓN DE LA FUERZA DE LOS CABLES.

LA FUERZA EN EL TIRANTE, DEBERÁ SER COMPROBADA UTILIZANDO UN GATO ACCIONADO POR UNA CENTRAL HIDRÁULICA, QUE TENDRÁ UN MANÓMETRO DEBIDAMENTE CALIBRADO PARA TENSAR EL CONJUNTO DE TORONES CON LOS EQUIPOS PROPIOS DE CADA SISTEMA.

LA MEDICIÓN DE LA FUERZA DE LOS CABLES, SERÁ NECESARIA SOLAMENTE SI LA NIVELACIÓN COMPARADA DEL TABLERO DEL PUENTE, INDICA CAMBIOS SIGNIFICATIVOS DE FUERZA EN UN CABLE O GRUPO DE CABLES EN PARTICULAR O CUANDO DESPUÉS DE REMOVER LA CUBIERTA DEL ANCLAJE, SE ENCUENTREN CONDICIONES TALES, QUE HAGAN NECESARIA LA REVISIÓN. LOS RESULTADOS DE CUALQUIER REVISIÓN DEBERÁN SER REGISTRADOS EN LA FORMA CORRESPONDIENTE Y SERVIRÁN COMO BASE PARA CUALQUIER AJUSTE REQUERIDO EN LA FUERZA DEL CABLE EN CUESTIÓN.



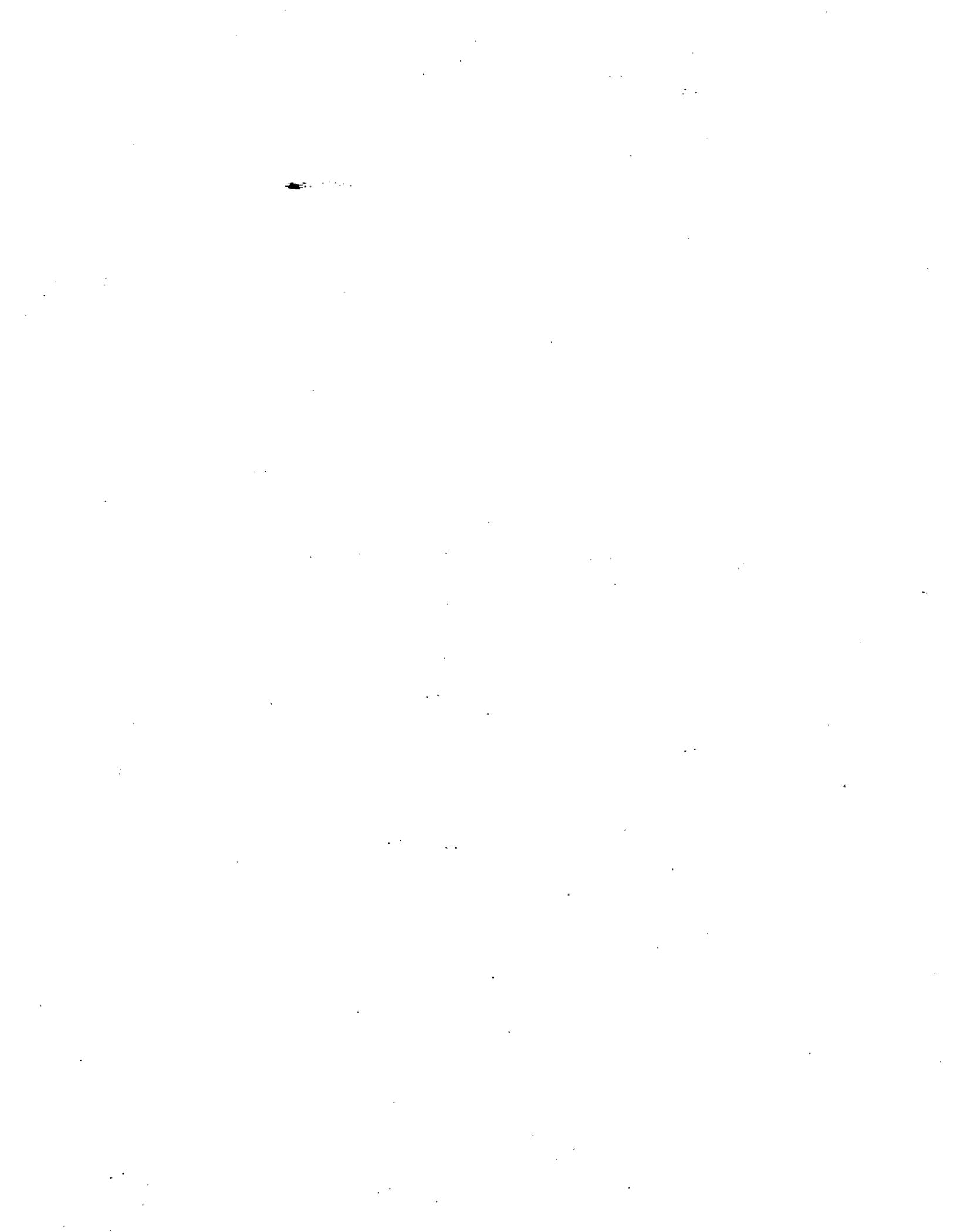
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

INSPECCION, MANTENIMIENTO
Y REHABILITACION DE PUENTES

Evaluación de Puentes Mediante Pruebas Dinámicas
Del 23 al 27 de septiembre de 1996

FIS. FRANCISCO J. CARRION VIRAMONTES
PALACIO DE MINERIA
1996



ANÁLISIS DINÁMICO DE UN PUENTE TIPO TRIDILOSA PARA EVALUACION MODAL

Francisco Carrión Viramontes, David Vázquez Vega¹, Alejandro Lozano Guzmán²,
Luis Escamilla Perea

Instituto Mexicano del Transporte
Km 12 Carretera Querétaro-Galindo
Sanfandila, Pedro Escobedo, Qro. 76700 México
Tel. (91-42) 16-97-77, Fax. (91-42) 16-96-71
camion@citali.imt.mx
¹vazqvega@citali.imt.mx
²lozano@citali.imt.mx

ABSTRACT

In this work the instrumentation, measurement and testing method is presented for structural and dynamic studies of a tridimensional metallic structure bridge. Under controlled testing conditions, it were measured the static and dynamic deflections, the natural frequencies and the first vibration mode of the bridge. From this data, the first five natural frequencies and their corresponding vibration mode (torsional or longitudinal) were identified, the dynamic amplification factor was calculated and the stress level on the longitudinal members was obtained. This results establish an experimental reference to calibrate analytical models to study the structural behavior of the bridge.

RESUMEN

En este trabajo se describe el método de instrumentación, medición y prueba para el estudio experimental del comportamiento estructural y dinámico de un puente de Tridilosa. Bajo condiciones controladas de prueba se midieron la flecha estática y dinámica, las frecuencias naturales y el primer modo de vibrar del puente. A partir de los datos obtenidos, se identificaron las primeras cinco frecuencias naturales y la correspondencia con su modo de vibrar (torsional o longitudinal), se calculó el factor de impacto dinámico y se obtuvo el nivel de los esfuerzos en las cuerdas longitudinales. La información obtenida constituye una referencia experimental para calibrar modelos de análisis y estudiar el comportamiento estructural del puente.

INTRODUCCIÓN

A medida que se han perfeccionado los métodos experimentales para la medición de vibraciones en los puentes (Green, 1995), se ha intensificado el uso de los métodos de análisis modal para determinar índices de deterioro o de condición estructural (Zhang, 1995). A la fecha, se ha encontrado que estas técnicas de análisis son capaces de proporcionar información suficiente para detectar niveles de daño (Zimmerman, 1995a y 1995b) e inclusive, en casos particulares, identificar los puntos dañados (Natilolela, 1995).

Tradicionalmente, los estudios experimentales de vibraciones en puentes se han realizado para obtener factores de impacto y criterios de diseño (Billing, 1982); sin embargo, existen reportes en los cuales se presentan correlaciones entre la condición estructural y los parámetros modales (Allbright, 1994) y se establecen algoritmos para calibrar modelos analíticos con base en los datos experimentales (Deger, 1995).

Por otra parte, la creciente demanda de la infraestructura del transporte, particularmente de los puentes carreteros, ha obligado a desarrollar nuevos procedimientos de inspección de alta tecnología que permitan evaluar la condición estructural y de servicio de un puente, dentro de los cuales, los métodos de vibraciones han resultado especialmente favorables.

Es por lo anterior, que en este estudio se ha fijado como objetivo el desarrollo de un método experimental para la medición de los parámetros modales, los niveles de esfuerzo y los factores de impacto de un puente del tipo Tridilosa. Este tipo de puentes es particularmente interesante ya que son de peso relativamente bajo y muy

flexibles, lo que obliga necesariamente efectuar estudios del comportamiento dinámico para evaluar aspectos de fatiga o deterioro dinámico.

DESCRIPCIÓN DEL PUENTE

El puente seleccionado para este estudio es del tipo denominado Tridilosa (figura 1). Mide 180 m de longitud por 20 m de ancho y está dividido en tres secciones, cada una de 60 m de largo. La superestructura se compone de varios elementos básicos de estructura tridimensional llamados "piñas", los cuales a su vez se forman por perfiles tubulares rectangulares (PTR) de distintas dimensiones que van de 7.62 cm a 3.81 cm. Las piñas se componen de dos pirámides encontradas de base cuadrada y que en el vértice o nudo se unen mediante una placa. Todos los elementos estructurales en este tipo de puente se unen mediante soldaduras. En la parte superior, la superestructura se integra a una losa de concreto de 20 cm de espesor, sobre la cual se colocan la superficie de rodamiento y las barreras de protección.

INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIÓN

La instrumentación del puente se diseñó para realizar mediciones de las flechas por flexión, deformaciones y niveles de vibración. Para las primeras se utilizó nivel y estadal, para las de deformaciones se utilizaron galgas extensométricas (strain gages) y para las de vibración se utilizaron acelerómetros piezoeléctricos.

Instrumentación para la Medición de la Flecha Estática

Debido al comportamiento asimétrico de la estructura del puente, se ubicaron estadales en 9 puntos para medir con un nivel las flechas por flexión estática. Cada punto fue identificado de acuerdo al número de cuerda longitudinal en que se ubicó y fue señalado con una letra "C" si se localiza en la parte central, con una letra "N" si se localiza en el primer tercio norte o con una letra "S" si está en el primer tercio sur (figura 2).

Instrumentación para la Medición de Deformaciones

En la figura 2 se señalan los siete puntos donde se colocaron galgas extensométricas. En los puntos del 1 al 5 se midieron deformaciones axiales sobre las cuerdas longitudinales inferiores. Los puntos 6 y 7 se localizan en el centro de las diagonales de la estructura piramidal inferior y en estos se midieron deformaciones axiales y flexionantes.

Los puntos instrumentados se conectaron por medio de cables a un sistema de acondicionamiento de señal y de adquisición datos. Por limitaciones de este sistema, las mediciones se realizaron simultáneamente para cuatro canales.

Instrumentación para la Medición de Vibraciones

Para la medición de vibraciones se utilizaron acelerómetros piezoeléctricos que se colocaron en los puntos 8, 9 y 10 (ver figura 2). De manera semejante a la

instrumentación para la medición de deformaciones, se utilizó un sistema de acondicionamiento y que, para este caso, permitió medir vibraciones simultáneamente en dos canales.

Mediciones Estáticas

Para medir la flecha estática se utilizó un vehículo tipo T3-S2 con plataforma y cuyo peso total era de 45430 Kg. El punto de referencia para las mediciones de cada estadal se tomó con el puente descargado y estable, esto requirió suspender el tráfico durante la prueba. Posteriormente, se ubicó el vehículo de prueba en el cuerpo y carril correspondientes y, después de esperar un minuto para que se estabilizara la estructura, se tomó lectura de la deflexión en cada estadal. Este procedimiento se efectuó para medir los niveles de flexión estática con el vehículo de prueba en los carriles de Baja y de Alta velocidad de los dos cuerpos (A y B) del puente. En cada una de las pruebas se hizo coincidir el centro de masa del vehículo de prueba con el centro de la estructura.

De manera simultánea con las mediciones de flecha estática, para todos los casos, se llevaron a efecto las mediciones de deformación en los puntos 1 al 4 (ver figura 2). Para ello, después de haber suspendido el tráfico y antes de que el vehículo de prueba ingresara al puente, se calibraron y balancearon a cero los equipos de medición. Con el vehículo colocado sobre el puente y estabilizado este último, se registraron las lecturas de deformación

Mediciones Dinámicas

La serie de mediciones dinámicas se llevaron a cabo en dos eventos; en el primero, la excitación fue por impacto y la vibración se produjo dejando caer una masa de peso conocido sobre el puente; en el segundo, la excitación fue originada por el paso del vehículo de prueba sobre un determinado carril del puente a una velocidad fija. En ambos casos, se midieron deformaciones y vibraciones.

Excitación por Impacto

En la prueba de excitación por impacto, se utilizó una masa de concreto de 1550 Kg que se dejó caer desde una altura de un metro sobre el centro del puente, lo más cercano posible al centro de masa. Las mediciones de deformación se realizaron en los puntos 1 al 4 (figura 2) tomando como referencia cero la condición antes de soltar la masa. Simultáneamente, en esta prueba, se midió la vibración con dos acelerómetros localizados ambos en el punto 8 (figura 2), uno midiendo aceleración y el otro desplazamiento.

Excitación por cruce del Vehículo de Prueba

Esta prueba se llevó a efecto haciendo circular sobre el puente al vehículo de prueba, viajando a una velocidad de 60 Km/hr. Cada etapa de la prueba incluyó el paso del vehículo sobre los carriles de Baja y de Alta velocidad de los cuerpos A y B. Las mediciones de deformación fueron realizadas para cada uno de los siete puntos instrumentados (ver figura 2).

Las mediciones de vibración para este apartado se llevaron a cabo colocando acelerómetros piezoeléctricos en los puntos 8, 9 y 10 (ver figura 2). El registro de datos se realizó sólo para dos canales y se alteró de modo que se midieran simultáneamente los pares de puntos 9-10, 8-9 y 8-10; para cada una de las cuatro condiciones de prueba.

Las mediciones de deformación y vibración dinámicas se realizaron de manera simultánea con el propósito de poder aplicar la función de correlación entre las señales adquiridas.

RESULTADOS

En la figura 3(a) se presenta la gráfica de la flecha estática de la sección transversal del centro del puente, cuando el vehículo de prueba estaba estacionado en el cuerpo A sobre los carriles de Baja y de Alta velocidad. La figura 3(b) es la correspondiente para el cuerpo B.

Aplicando las relaciones para el cálculo de los esfuerzos con gaugas extensométricas (Hannah, 1992), se obtuvieron los valores de los esfuerzos estáticos y dinámicos y que, para los puntos 1, 2 y 3, son los que se muestran en la tabla 1. A partir de los datos estáticos y dinámicos de deformación, se obtuvieron los factores de amplificación dinámica, que son los que se reportan en la tabla 2.

Las figuras 4 y 5, son ejemplos característicos de vibraciones en términos de aceleración, medidos en el punto 8 (ver figura 2). La primera representa la señal en el dominio del tiempo y la segunda representa su correspondiente en el dominio de frecuencia.

De las mediciones dinámicas de deformación y aceleración, se obtuvieron sus correspondientes espectros en frecuencia, donde se identificaron las frecuencias naturales de vibración del puente (tabla 3). Para analizar el modo de vibración de cada frecuencia, se correlacionaron las señales simultáneas de los puntos opuestos 1 y 3 en deformaciones, así como 9 y 10 para vibraciones y se analizaron los ángulos de fase entre cada par de ellas (Alkin, 1990), clasificándose como longitudinal cuando el ángulo de fase era cero grados o cercano a él y como torsional cuando se daba un desfase cercano o igual a 180 grados. De la instrumentación empleada, sólo se puede hablar de manera concluyente de los dos primeros modos; los otros tres modos, son únicamente inferencias aproximadas ya que para ser concluyentes se requiere de más puntos de instrumentación.

En las figuras 6 y 7, se muestra el comportamiento típico de la medición de los esfuerzos para la prueba dinámica de impacto. La primera se encuentra en el dominio del tiempo y la segunda en el dominio de frecuencia, y se refiere en este caso al punto 1 (ver figura 2). La figura 8 muestra el comportamiento típico de deformación de una cuerda longitudinal ante el paso del vehículo de prueba.

CONCLUSIONES

El método de medición propuesto ha demostrado ser adecuado para conocer las características dinámicas del puente y su comportamiento estructural. De la información obtenida se pueden realizar estudios de análisis

estructural y de integridad. Se encontró que la principal dificultad en este método es la interrupción del tráfico sobre el puente, lo cual, en puentes con flujos vehiculares altos, resulta poco práctico. Para el caso específico del puente de tridilosa estudiado, se encontró que el factor de amplificación dinámica no es constante. Se observó que el primer modo de vibrar es torsional, lo cual está relacionado con la rigidez transversal de la estructura. A su vez, se encontró que el segundo modo, que es longitudinal, tiene una frecuencia muy cercana al primero, lo cual ocasiona que estos primeros dos modos actúen en forma acoplada. Por otra parte, se advierte que las cuerdas longitudinales externas son las que normalmente están sujetas al mayor esfuerzo.

REFERENCIAS

- Alkin, O., 1990, "PC - DSP. Personal Computer Digital Signal Processing.", Ed. Prentice-Hall, New Jersey.
- Allbright, K. et al., 1994, "Modal Verification of a Destructive Test of a Damaged Prestressed Concrete Beam.", *Experimental Mechanics*, Vol. 34, No. 4, pp 389-396.
- Billing, J. R., 1982, "Dynamic Loading and Testing of Bridges in Ontario, 1980.", *Proceedings, The International Conference on Short and Medium Span Bridges*, Toronto, pp 125-139.
- Deger, Y., et. al., 1995, "Modal Analysis of a Highway Bridge: Experimental, Finite Element Analysis and Link.", *Proceedings, The 13th International Modal Analysis Conference*, Nashville, TN, February 13-16, pp 1141-1149.
- Green, M. F., 1995, "Modal Test Methods for Bridges: A Review.", *Proceedings, The 13th International Modal Analysis Conference*, Nashville, TN, February 13-16, pp 552-558.
- Hannah, R. L., Ed., 1992, "Strain Gage Users' Handbook.", SEM Society for Experimental Mechanics, Bethel, C.T. USA.
- Nalitoilela, N. G., 1995, "Localization of Damage in Structures by Analytical Model Improvement and Strain Energy Balance.", *Proceedings, The 13th International Modal Analysis Conference*, Nashville, TN, February 13-16, pp 1400-1406.
- Zhang, Z. y Aktan, A. E., 1995, "The Damage Indices for the Constructed Facilities.", *Proceedings, The 13th International Modal Analysis Conference*, Nashville, TN, February 13-16, pp 1520-1529.
- Zimmerman, D. C., Kaouk, M. y Simmermacher, T., 1995, "Structural Health Monitoring Using Vibration Measurements and Engineering Insight.", *Transactions of the ASME, Special 50th Anniversary Design Issue*, Vol. 117, No. 6, pp 214-221.
- Zimmerman, D. C., Kaouk, M. y Simmermacher, T., 1995, "On the Role of Engineering Insight and Judgement Structural Damage Detection.", *Proceedings, The 13th International Modal Analysis Conference*, Nashville, TN, February 13-16, pp 414-420.

| Tabla 1 Esfuerzos Estáticos y Dinámicos ($\times 10^3 \text{ N/m}^2$) | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Punto | Cuerpo A | | | | Cuerpo B | | | |
| | Carril de Baja | | Carril de Alta | | Carril de Baja | | Carril de Alta | |
| | Esfuerzo Dinámico | Esfuerzo Estático |
| 1 | 20012 | 18639 | 14323 | 12655 | -1570 | -1570 | 4218 | 4218 |
| 2 | 11772 | 10889 | 10889 | 9810 | 4905 | 4120 | 7259 | 6769 |
| 3 | -1766 | -1570 | 2845 | 2649 | 15696 | 15107 | 11380 | 9516 |

Nota: Los valores positivos indican cargas de tensión, mientras que los negativos son de compresión.

| Tabla 2 Factores de Amplificación Dinámica | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Punto | Cuerpo A | | Cuerpo B | |
| | Carril de Baja | Carril de Alta | Carril de Baja | Carril de Alta |
| 1 | 1.0737 | 1.0018 | 1.0000 | 1.0000 |
| 2 | 1.0811 | 1.1100 | 1.1905 | 1.0725 |
| 3 | 1.1250 | 1.0741 | 1.0390 | 1.1959 |

| Tabla 3 Modos Característicos de Vibración | | |
|---|-----------------|--------------|
| Modo | Frecuencia (Hz) | Tipo |
| 1 | 1.53-1.80 | Torsional |
| 2 | 1.66-1.88 | Longitudinal |
| 3 | 5.60-5.75 | Torsional |
| 4 | 5.88-5.88 | Longitudinal |
| 5 | 6.80-6.93 | Longitudinal |



Figura 1. Puente Tipo Tridilosa

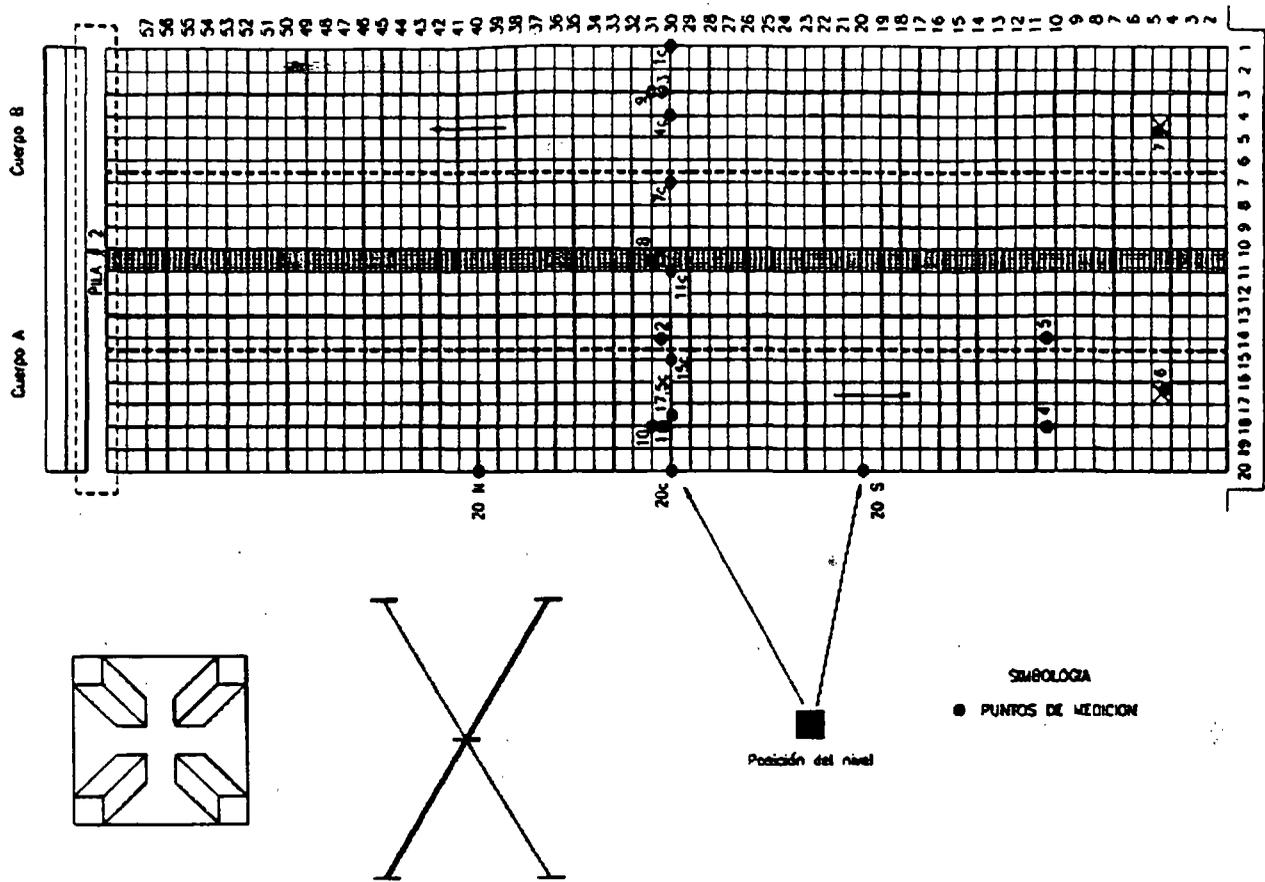


Figura 2. Puntos de instrumentación

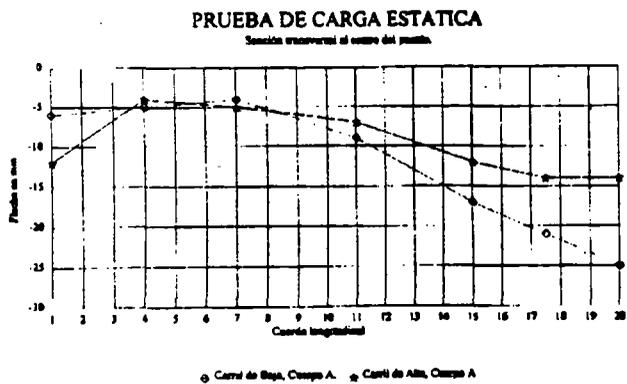


Figura 3(a). Flecha estática con vehículo en Cuerpo A

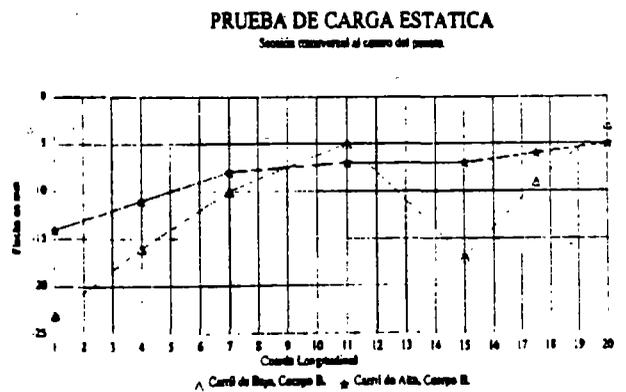


Figura 3(b). Flecha estática con vehículo en Cuerpo B

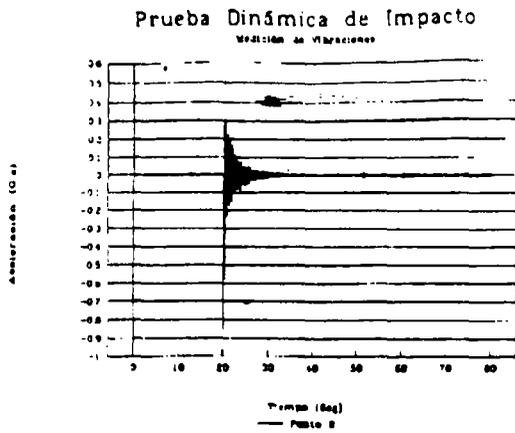


Figura 4. Aceleración en el dominio del tiempo

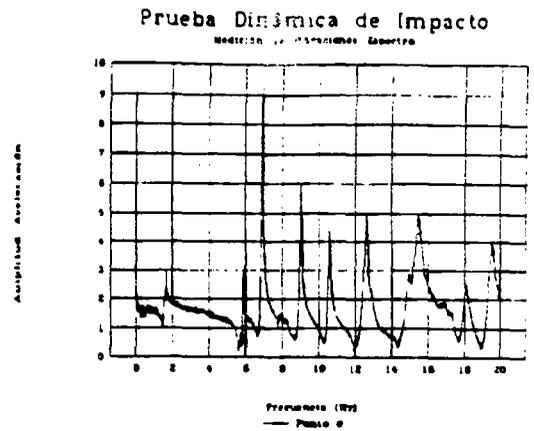


Figura 5. Aceleración en el dominio de la frecuencia

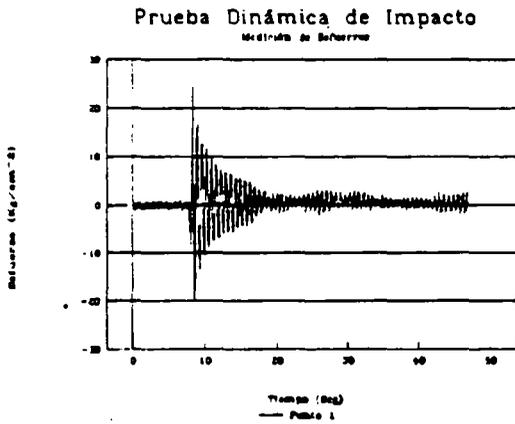


Figura 6. Esfuerzos en el dominio el tiempo

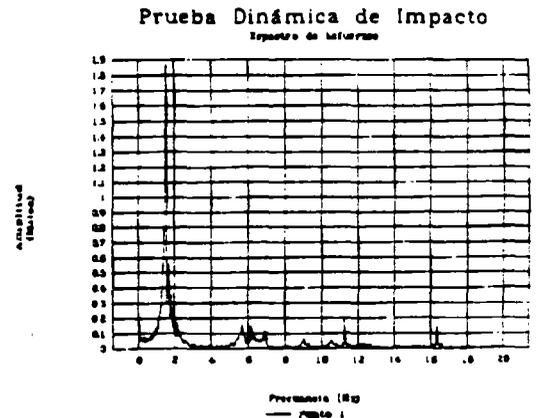


Figura 7. Esfuerzo en el dominio de la frecuencia

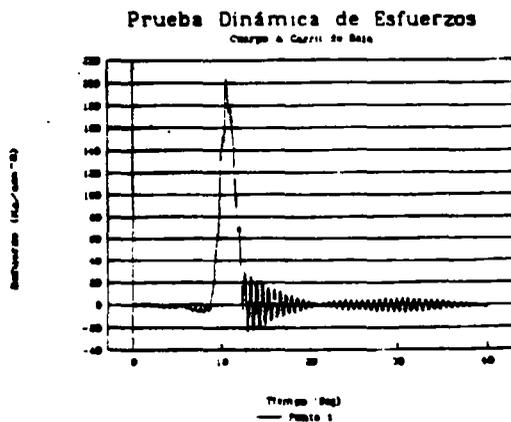


Figura 8. Deformación típica en una cuerda longitudinal medida durante el paso del vehículo de prueba

ANÁLISIS MODAL DE UN MODELO DE PUENTE CALIBRADO MEDIANTE MEF

Manuel Fabela Gallegos, Francisco Carrión Viramontes¹, Alejandro Lozano Guzmán²

Instituto Mexicano del Transporte
km 12 Carretera Querétaro-Galindo
Sanfandila, Pedro Escobedo, Qro. 76700 México
Tel. (42) 16 9777, Fax. (42) 16 9671
mjfabela@cuautili.imt.mx
¹carrion@citlali.imt.mx
²lozano@citlali.imt.mx

ABSTRACT

In this work, a metal tridimensional structure of a bridge model using finite element method is presented. Modal analysis was applied to obtain the first six natural frequencies and modal shapes. Model deflection under static load was calibrated with experimental data using iterative changes of structural steel and hydraulic concrete properties and a redistribution of asphalt layer mass. The final analysis showed a first torsional modal shape and the two first natural frequencies were closely approximated to the experimental ones.

RESUMEN

En este trabajo se presenta el análisis modal por medio de elementos finitos del modelo de un puente de estructura metálica tridimensional. El modelo se calibró utilizando datos de la deflexión por carga estática obtenidos experimentalmente, ajustándose mediante cambios iterativos de las propiedades de los materiales del acero y el concreto hidráulico, así como con la redistribución de la masa de la capa asfáltica. Del análisis se obtuvieron las primeras 6 frecuencias naturales y sus modos de vibración, arrojando un primer modo torsionante y cercanía entre las primeras dos frecuencias naturales, las cuales coinciden con las frecuencias experimentales.

INTRODUCCIÓN

La aplicación del método del elemento finito a puentes

y carreteras es cada vez más común, realizando estudios sobre factores de impacto dinámico (Wang y Huang, 1992), interacción vehículo-puente (Molina, et al, 1995), respuesta modal de la estructura (Deger, et al, 1995 y Haritos, et al, 1995) y, en general, análisis sobre la condición estructural.

Dado el incremento del tránsito y peso de los vehículos sobre los puentes, ha crecido el interés por estudiar el comportamiento bajo carga estática y respuesta dinámica de los puentes, especialmente los de superestructura tridimensional metálica, los cuales, dada su complejidad espacial y los elementos que la componen, presenta mayor sensibilidad a fallas en algunas uniones. Con objeto de entender su comportamiento y mejorar los criterios de diseño en este tipo de puentes, se han realizado algunos estudios sobre su desempeño, principalmente sobre el comportamiento de la unidad básica de resistencia de la superestructura, comúnmente llamada piña (Barousse, et al, 1995).

El objetivo de este trabajo consiste en modelar un puente de estructura tridimensional metálica y ajustarlo a datos de deflexión experimentales, para posteriormente someterlo a un análisis modal y comparar los resultados con los experimentales, empleando un programa comercial de elementos finitos y una estación de trabajo con procesador RISC.

DESCRIPCIÓN DEL PUENTE

El estudio ha sido desarrollado tomando como referencia un puente tipo de 4 carriles y doble sentido, con una estructura metálica compuesta de 18x58 piñas en ancho

y largo, respectivamente (Figura 1). Sobre la estructura de 4 m de altura, se apoya una losa de concreto hidráulico de 22 m de ancho, 58 m de largo y 0.2 m de espesor, la cual a su vez soporta tres barreras de contención, una central que separa los carriles de acuerdo al sentido y dos laterales.

La geometría de la piña está constituida por dos prismas piramidales de base cuadrada de 1 m por lado y 2 m de altura, unidas en su vértice superior y coincidiendo con el centro de la piña (Figura 2). Los elementos de la piña se construyen de perfil tubular rectangular (PTR), unidos en el centro mediante una placa de acero. Las dimensiones de los PTR son generalmente diferentes para los elementos de la piña, produciendo una asimetría de acuerdo a un plano vertical transversal. En la parte superior las piñas van embebidas en la losa de concreto; en la parte de la placa central se unen a piñas adyacentes por medio de una varilla y se sueldan en la base con un elemento de la piña contigua y con un manco de varillas (cuerdas longitudinales) que aumentan en número conforme se aproximan al centro del claro. En la dirección transversal los extremos de la base de la piña se unen con una sola varilla.

A medida que se acercan al centro del puente los elementos de las piñas se tornan más esbeltos, siendo más robustos en las piñas de los extremos. Estas piñas extremas son simétricas en sus tres planos perpendiculares, las cuales están colocadas sobre los apoyos del puente, apoyado simplemente en sus extremos y restringido longitudinalmente en uno de ellos.

DESARROLLO DEL MODELO

La piña se modeló con 8 elementos tipo viga tridimensional, sin la placa central, con un nodo de unión en el centro. Este mismo elemento se utilizó para las varillas transversales y longitudinales. La losa de concreto se modeló con elementos tipo *shell* de 4 nodos, con iguales propiedades a tensión que a compresión. Las barreras de contención se modelaron como elementos tipo masa distribuidos en tres líneas a lo largo del claro, al igual que en los nodos superiores entre las barreras para simular la capa de asfalto.

Para simular los apoyos, en el modelo se restringió el desplazamiento vertical (UZ) en los nodos inferiores correspondientes a ambos extremos del puente, además del desplazamiento longitudinal (UX) en el extremo izquierdo. Con objeto de evitar posibles movimientos de cuerpo rígido y correspondientes problemas de convergencia, en los dos nodos centrales del extremo izquierdo se restringió el desplazamiento transversal (UY), es decir, estos dos nodos quedaron restringidos en las tres direcciones (UX, UY y UZ).

Las propiedades mecánicas de los materiales utilizados son las correspondientes al acero estructural y al concreto hidráulico. Las propiedades geométricas de los elementos

se distribuyeron según el arreglo y la distribución de piñas en este tipo de puentes, manteniendo uniformes la rigidez transversal y la distribución longitudinal de la masa.

El modelo del puente (Figura 3) quedó definido con aproximadamente 16 mil elementos.

CALIBRACIÓN DEL MODELO

Para la calibración del modelo se partió de resultados experimentales de deflexión vertical relativa (con respecto a la posición de equilibrio) al aplicar una carga de 445 kN producida por un vehículo T3-S2 (tractor de 3 ejes y semi-remolque de 2 ejes), colocado en dos posiciones distintas en el centro del claro: en el carril de baja velocidad y en el carril de alta velocidad. Pruebas complementarias fueron efectuadas para la determinación de las frecuencias naturales más bajas del puente (Carrión, et al, 1996).

Inicialmente, se llevó a cabo un análisis estático considerando ambas posiciones de la carga. Este modelo inicial no incluyó las barreras de contención, únicamente una capa de asfalto como superficie de rodamiento. En una etapa posterior, se agregaron las barreras de contención, se modificó el valor de las constantes reales de los materiales y el espesor de la capa asfáltica, lo anterior, con el fin de aproximar los valores de deflexión y las frecuencias naturales entre los resultados experimentales y los del modelo.

Estas etapas se realizaron de manera iterativa, determinando como primer paso la aproximación entre la deflexión para el caso estático y, un segundo, manejando la masa para aproximar los dos primeros modos de vibración y las frecuencias naturales.

RESULTADOS

Los resultados del modelo inicial y sus modificaciones (ajustando a deflexiones únicamente), mostraron deflexiones verticales relativas cercanas a las experimentales, con un valor de las constantes reales del 80% de su valor teórico común. Sin embargo, las frecuencias naturales obtenidas fueron semejantes en valor, pero el primer modo del modelo resultó ser flexionante, mientras que en el caso real era torsionante.

Para el modelo en el que se consideraron las barreras de contención, las deflexiones verticales relativas se aproximaron a los datos experimentales, al igual que las 2 primeras frecuencias naturales y sus modos de vibración. Los resultados de deflexión para el centro del claro del análisis estático final, correspondientes al 80 % del valor de las constantes reales de los materiales, se muestran en las gráficas de la figura 4, en la cual se comparan con los resultados de las pruebas experimentales. Estos resultados corresponden a la diferencia entre el desplazamiento vertical producido por la carga muerta del puente y la producida por la carga del vehículo. Puede observarse

las gráficas correspondientes a la carga colocada en el carril de baja que en el lado opuesto existe un desplazamiento positivo.

Con respecto a las frecuencias naturales, en la tabla I se resumen los resultados del análisis modal y los obtenidos experimentalmente. Cabe mencionar que para las pruebas experimentales se instrumentó el centro del claro, registrando únicamente movimiento en la dirección vertical (Carrión, et al, 1996). En dicha tabla se muestra la cercanía entre las tres primeras frecuencias del modelo, las que a su vez pueden compararse con las dos primeras frecuencias experimentales. Las frecuencias 4, 5 y 6 del modelo no coinciden con las arrojadas experimentalmente.

Las formas modales correspondientes a las seis frecuencias del modelo se presentan en la figura 5. Puede observarse que el primer modo es torsionante, el segundo flexionante, el tercero torsionante, el cuarto flexo-torsionante, el quinto torsionante y el sexto flexionante. También se nota que en el cuarto modo la participación del desplazamiento en la dirección transversal del puente es mayor que aquél en la dirección vertical.

CONCLUSIONES

Partiendo de las consideraciones hechas para el análisis y los resultados obtenidos con el modelo, pueden enunciarse las siguientes conclusiones:

1. La inclusión de la masa de las barreras de contención produjo un cambio en los modos de vibración del modelo. El primer modo de vibración sin considerar las barreras era flexionante, mientras que al considerarlas se produjo un primer modo torsionante.

2. El modelo representa un caso ideal, simétrico en geometría y en rigidez. Las diferencias entre las frecuencias teóricas y experimentales se deben a condiciones físicas del puente no consideradas en el modelo.

3. Una instrumentación en una línea al centro del claro y en la dirección vertical, no es sensible a movimientos contenidos en el plano del puente ni a modos antisimétricos en los cuales la línea central del puente es una línea de inflexión en el modo de vibración, tal como en los modos de vibración antisimétricos.

4. Los resultados obtenidos con el modelo son, en general aceptables, lo que promueve su utilización como objeto de predicción para futuros análisis prácticos, tales como la determinación de la instrumentación requerida para formas modales transversales y antisimétricas, así como la posible participación de cargas de viento como perturbadores laterales.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece la colaboración y asesoría del Ing. Miguel Barousse Moreno y del Ing. Gabriel Ventura Suárez durante el desarrollo del modelo.

REFERENCIAS

- Barousse, M.; Fabela, M.J. y Ventura, G., 1995, "Análisis de una Piña de un Puente de Tridilosa Utilizando el Método del Elemento Finito". Memorias de la III Reunión Internacional de Usuarios NISA/DISPLAY, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D.F. 21-22 de Septiembre.
- Carrión, F.; Vázquez, D.; Escamilla, L. y Salvador, A., 1996, "Medición Estática y Dinámica del Puente Viaducto Palo Blanco". Reporte Interno, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro.
- Deger, Y., Cantieni, R., Pietrzko, S., Ruecker, W. and Rohrmann, R. G., 1995, "Modal Analysis of a Highway Bridge: Experimental, Finite Element Analysis and Link". Proceedings of the 13th International Modal Analysis Conference, Nashville, TN, February 13-16, pp 1141-1149.
- Haritos, N.; Khalaf, H. and Chalko, T., 1995, "Modal Testing of a Skew Reinforced Concrete Bridge". Proceedings of the 13th International Modal Analysis Conference, Nashville, TN, February 13-16, pp 703-709.
- Molina, F.J.; Cantieni, R. and Pietrzko, S., 1995, "Traffic Response of a Bridge as Predicted from Modal-Test Data". Proceedings of the 13th International Modal Analysis Conference, Nashville, TN, February 13-16, pp 1171-1177.
- Wang, T.L. and Huang, D., 1992, "Cable-Stayed Bridge Vibration Due to Road Surface Roughness". Journal of Structural Engineering, Vol. 118, No. 5, pp 1354-1374.

Tabla I. Frecuencias Naturales del Puente Metálico Tridimensional (Hz).

| Modo | Modelo | Tipo | Experimental | Tipo |
|------|--------|----------------------|--------------|----------------------|
| 1 | 1.57 | Torsión longitudinal | 1.53-1.58 | Torsión longitudinal |
| 2 | 1.60 | Flexión longitudinal | 1.66 | Flexión longitudinal |
| 3 | 1.92 | Torsión longitudinal | 5.6-5.7 | Torsión longitudinal |
| 4 | 3.43 | Flexión transversal | 5.86 | Flexión longitudinal |
| 5 | 4.10 | Torsión longitudinal | 6.8-6.9 | Flexión longitudinal |
| 6 | 4.20 | Flexión longitudinal | 9.01-9.03 | Flexión longitudinal |



Figura 1. Puente de estructura metálica tridimensional típico.

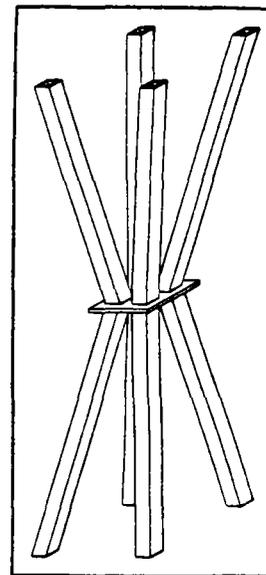


Figura 2. Piña.

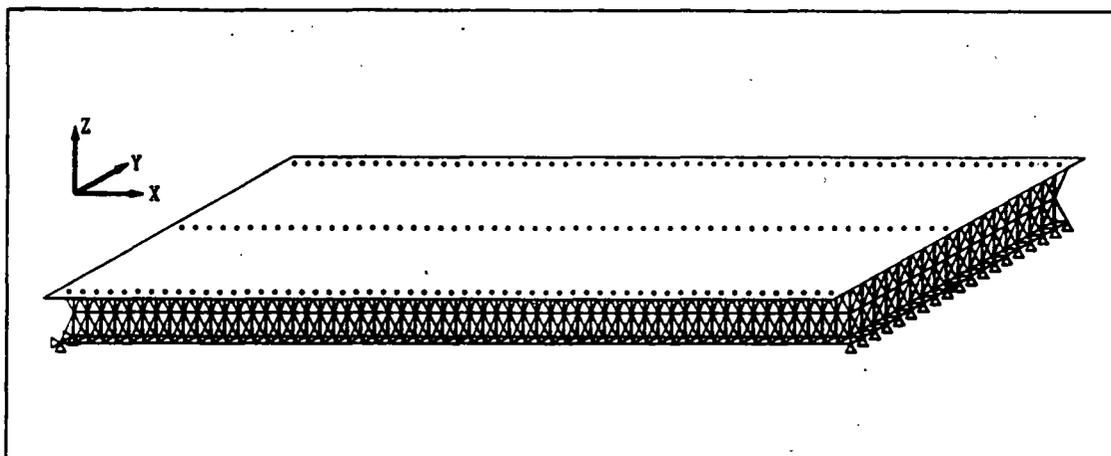


Figura 3. Modelo del Puente.

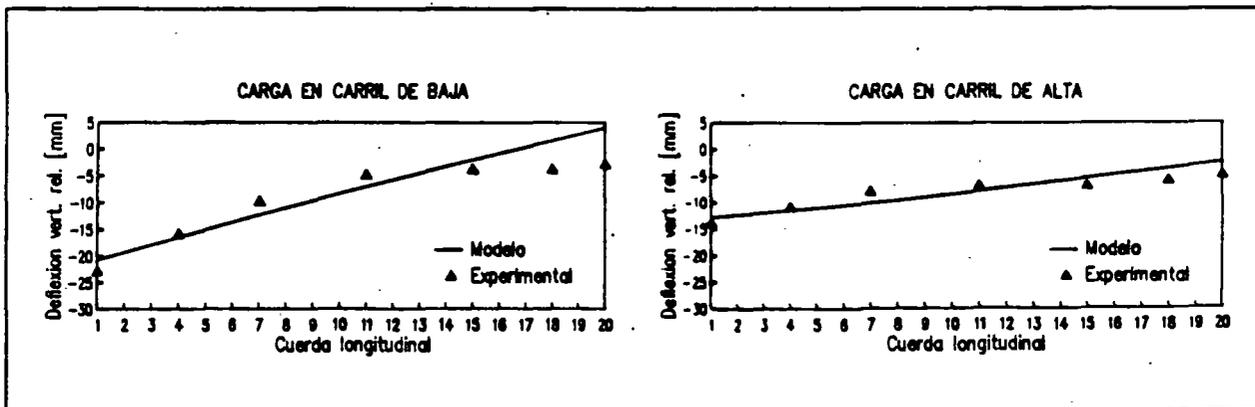


Figura 4. Comparación de la deflexión vertical relativa entre el modelo y el caso experimental.

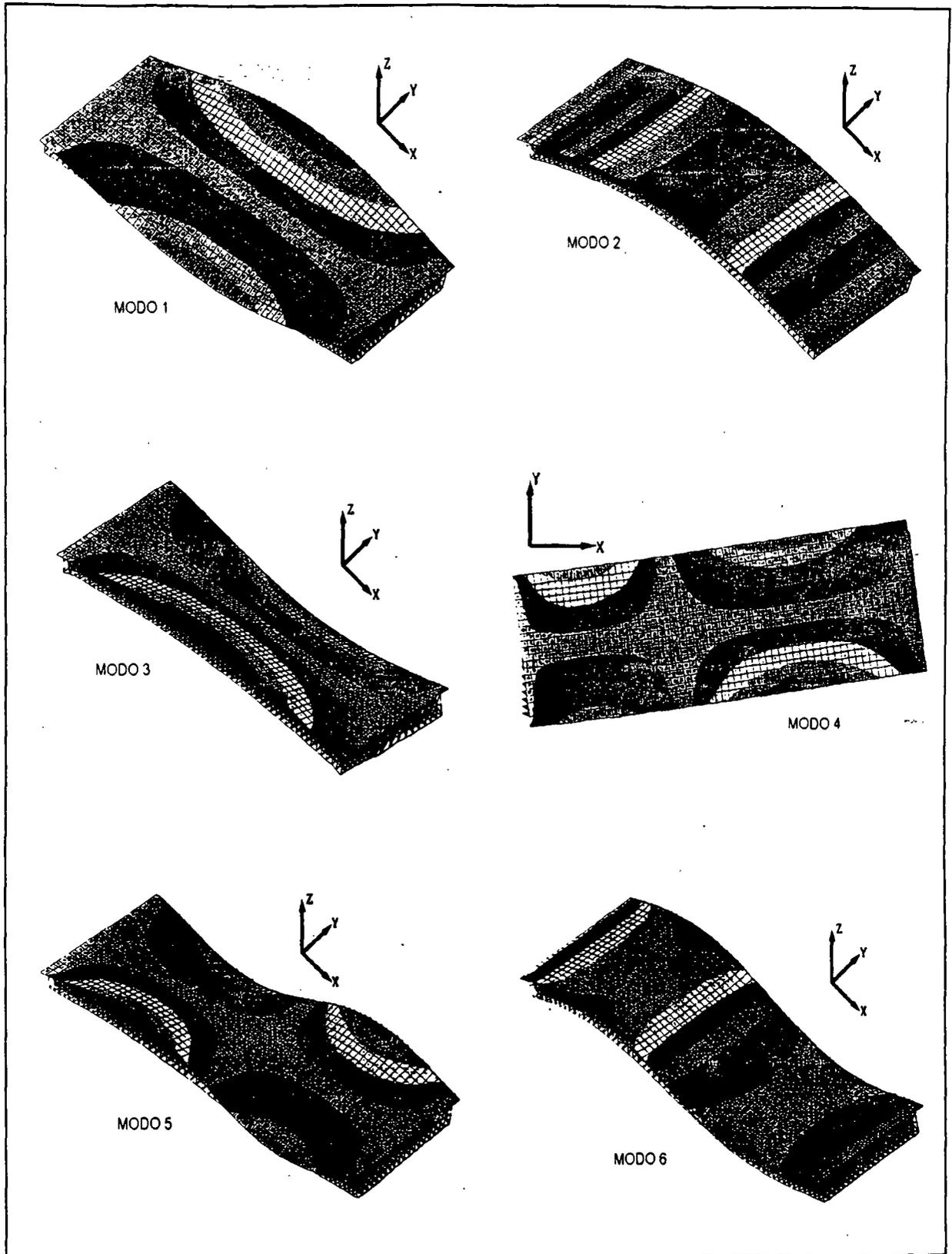


Figura 5. Formas modales del modelo del puente.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

INSPECCION, MANTENIMIENTO
Y REHABILITACION DE PUENTES

*Programa del Curso Inspección, Mantenimiento y Rehabilitación de
Puentes*

Del 23 al 27 de septiembre de 1996

PALACIO DE MINERIA
1996

**CURSO DE CAPACITACION
INSPECCION, MANTENIMIENTO Y REHABILITACION DE
PUENTES**

**México, D. F
PALACIO DE MINERIA
Del 23 al 27 de Septiembre de 1996**

PROGRAMA

ANTECEDENTES

Numerosos puentes de la red mexicana de comunicaciones presentan daños por efecto de los agentes naturales y por el incremento en magnitud y frecuencia de las cargas rodantes; por lo que las dependencias responsables de la infraestructura del transporte han emprendido programas extensos de conservación y rehabilitación de este tipo de estructuras.

Para participar eficientemente en esos programas es necesario que los ingenieros involucrados conozcan las técnicas y los sistemas que se han desarrollado para la atención de puentes en México y en otros países.

OBJETIVO:

Que los asistentes conozcan los sistemas de administración de la conservación de puentes, los procedimientos para su inspección y evaluación y las técnicas para su rehabilitación.

DIRIGIDO A:

Ingenieros y técnicos que participan en los estudios, proyectos, construcción y supervisión de obras de mantenimiento y rehabilitación de puentes.

AREAS TEMATICAS:

- I) Sistemas de Administración.
- II) Inspecciones.
- III) Evaluaciones
- IV) Técnicas de Reparación.
- V) Técnicas de Reforzamiento.

ORGANIZAN:

- Instituto Mexicano del Transporte.
Secretaría de Comunicaciones y Transportes
- División de Educación Continua.
Facultad de Ingeniería
U.N.A.M.

COORDINADOR:

Ing. Amílcar Galindo Solórzano
Director de Apoyo Técnico
Dirección General de Servicios Técnicos

PROGRAMA:

Lunes 23

- 9:00 A 9:30 Inaguración
Ing. Daniel Díaz Díaz
Director General del I.M.T.
- 9:30 A 10:30 Visión general de los puentes
en los Estados Unidos
Ing. Glenn A. Washer.
- 10:30 A 10:45 **RECESO**
- 10:45 A 12:15 Técnicas de evaluación global de puentes
Ing. Glenn A. Washer
- 12:15 A 12:30 **RECESO**
- 12:30 A 14:00 Evaluación de estructuras de acero.
Ing. Glenn A. Washer
- 14:00 A 15:00 **COMIDA**
- 15:00 A 16:00 Situación General de los puentes en México
Ing. Amílcar Galindo Solórzano
- 16:00 A 16:15 **RECESO**
- 16:15 A 18:00 Sistemas de Administración de Puentes
(SIAP)
Ing. Miguel Arturo Barousse Moreno

Martes 24

| | |
|---------------|---|
| 9:00 A 10:30 | Evaluación de Estructuras de Concreto Ing. Glenn A. Washer |
| 10:30 A 10:45 | RECESO |
| 10:45 A 12:15 | Evaluación de la capacidad de Carga de Puentes Ing. Glenn A. Washer |
| 12:15 A 12:30 | RECESO |
| 12:30 A 14:00 | Conclusiones del Ing. Washer Ing. Glenn A. Washer |
| 14:00 A 15:00 | COMIDA |
| 15:00 A 16:30 | Sistema de Puentes de México (SIPUMEX) Ing. Ruben Frías Aldaraca |
| 16:30 A 16:45 | RECESO |
| 16.45 A 18:00 | Medología para inspecciones rutinarias y principales Ing. Luis Luna Rosas. |

Miercoles 25

- 9:00 A 10:00 Conservación de puentes en Autopistas Concesionadas
Ing. Francisco Rodarte Lazo
- 10:00 A 11:00 Inspección de Puentes Atirantados
Arq. Victor Hoyos Parrao
- 11:00 A 11:15 **RECESO**
- 11:15 A 12:15 Metodología para inspecciones especiales
Ing. Alejandro Calva Salazar
- 12:15 A 12:30 **RECESO**
- 12:30 A 14:00 Evaluación de Puentes para el paso de cargas extraordinarias
Ing. Alberto Fregoso Vázquez
- 14:00 A 15:00 **COMIDA**
- 15:00 A 16:30 Tipología de puentes y componentes estructurales
Ing. Francisco Aguilar Rodríguez
- 16:30 A 16:45 **RECESO**
- 16:45 A 18:15 Tipología de daños en puentes
Ing. Adolfo Sánchez Sánchez

Jueves 26

- 9:00 A 10:30 Guía para la evaluación de daños por corrosión y fatiga en estructuras metálicas.
Ing. Carlos King Revelo
- 10:30 A 10:45 **RECESO**
- 10:45 A 12:15 Técnicas no destructivas para la evaluación de materiales estructurales
Ing. Jorgen Holst
- 12:15 A 12:30 **RECESO**
- 12:30 A 14:00 Evaluación de daños por corrosión en puentes costeros
Dr. Juan José Carpio Pérez
- 14:00 A 15:00 **COMIDA**
- 15:00 a 16:30 Evaluación de puentes mediante pruebas dinámicas
Fis. Francisco J. Carreon Viramontes
- 16:30 A 16:45 **RECESO**
- 16:45 A 18:15 Evaluación y Reparación de daños por Socavación
Ing. Gabriel Atala Barrero

Viernes 27

- 9:00 A 10:30 **Reparación de Subestructuras**
Ing. Ignacio Enrique Hernández Quinto
- 10:30 A 10:45 **RECESO**
10:45 A 12:15 **Rehabilitación Sísmica de Puentes**
Ing. Oscar Ruíz Mendieta
- 12:15 A 12:30 **RECESO**
- 12:30 A 14:00 **Aplicación de Preesfuerzo externo en rehabilitación de Puentes**
Ing. Oscar Gelwasser C.
- 14:00 A 15:00 **COMIDA**
- 15:00 A 16:15 **Rehabilitación de Puentes Federales de Cuota**
Ing. Juan Téllez Muñoz
- 16:15 A 16:30 **RECESO**
- 16:30 A 17:45 **Rehabilitación del Puente " Belisario Domínguez"**
Ing. Modesto Armijo Mejía
- 17:45 A 18:00 **CLAUSURA**

PROGRAMA DE LA PARTICIPACION DEL
Ing. Glenn A. Washer

PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS DE PUENTES EN LOS
ESTADOS UNIDOS.

- Visión general de los Puentes en los EE.UU.
 - Inventario Nacional de Puentes
 - Porcentaje de Puentes estructuralmente deficientes
 - Puentes Históricos
 - Necesidades de inspección de puentes en Estados Unidos

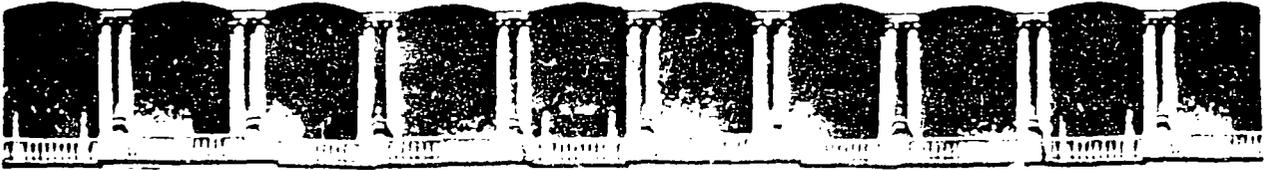
- Técnicas de evaluación global de puentes
 - Análisis Modal
 - Modelos calibrados de elemento finito
 - Vibración forzada
 - Identificación de Subestructuras por medio de técnicas modales

- Evaluación de Estructuras de Acero
 - Detección de Grietas
 - Medición de Grietas
 - Evaluación de fatiga acumulada
 - Sensores de sobrecarga positivos
 - Inspección visual remota
 - Monitores de emisión acústica

- Evaluación de Estructuras de Concreto
 - Técnica de eco-pulso
 - Velocidad de pulso
 - Termografía infra-roja de banda dual
 - Radar de penetración del suelo
 - Métodos magnéticos

- Evaluación de la capacidad de Puentes
 - Metodología
 - Medidas remotas de la deflexión
 - Instrumentación inalámbrica de puentes

- Conclusiones
 - Sistemas de Administración de Puentes
 - Desarrollo de especificaciones
 - Desarrollo de instrumentaciones futuras
 - Integración de NBE e inspección tradicional
 - Necesidades futuras de investigación



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

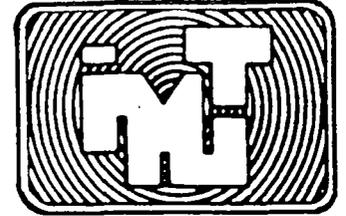
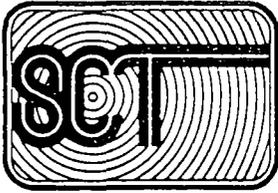
INSPECCION, MANTENIMIENTO
Y REHABILITACION DE PUENTES

Sistemas de Administración de Puentes

Del 23 al 27 de septiembre de 1996

ING. MIGUEL ARTURO BAROUSSE MORENO
PALACIO DE MINERIA
1996

ISSN 0188-7297



SISTEMA DE ADMINISTRACION DE PUENTES (SIAP)

Instituto Mexicano del Transporte
Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Publicación Técnica No.49
Querétaro, Qro. 1994

**INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**

**Sistema de Administración de
Puentes (SIAP)**

**Publicación Técnica No.49
Querétaro, Gro. 1994**

Este trabajo ha sido elaborado en el Instituto Mexicano del Transporte, en la Coordinación de Capacitación Y Actualización Tecnológicas, por el Ing. Miguel Barousse Moreno y por el Ing. Amílcar Galindo Solórzano, perteneciente a la Dirección General de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones. Se agradecen los comentarios de los Ingenieros Alfonso Rico Rodríguez y Tristán Ruíz Lang.

Indice

| | |
|--|----------|
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Antecedentes | 5 |
| 3. Sistema de administración de puentes | 9 |
| 3.1 Organización central | 9 |
| 3.2 Organización de campo | 11 |
| 3.3 Inspecciones | 11 |
| 3.3.1 Inspección de evaluación | 12 |
| 3.3.2 Inspección detallada | 13 |
| 3.4 Inventario | 15 |
| 3.5 Evaluación | 15 |
| 3.6 Niveles de servicio | 18 |
| 3.6.1 Nivel de servicio para la capacidad de carga | 19 |
| 3.6.2 Nivel de servicio para el ancho del puente | 20 |
| 3.6.3 Nivel de servicio para el gálibo de puentes | 20 |
| 3.7 Criterios de priorización | 22 |
| 3.7.1 Deficiencia en la capacidad de carga (CC) | 23 |
| 3.7.2 Deficiencia por el ancho del puente (AP) | 25 |
| 3.7.3 Deficiencia por gálibo (G) | 27 |
| 3.7.4 Deficiencia en la condición estructural (CE) | 29 |
| 3.8 Indices de priorización | 31 |

| | |
|--|-----------|
| 3.9 Definición de acciones | 31 |
| 3.10 Análisis económico | 34 |
| 4. Sistema de cómputo | 37 |
| 4.1 Base de datos del SIAP | 37 |
| 4.2 Datos generales | 39 |
| 4.3 Datos geométricos | 45 |
| 4.4 Datos de la estructura | 51 |
| 4.5 Datos de operación | 57 |
| 4.6 Datos de la inspección de evaluación | 58 |
| 4.7 Datos de la condición | 66 |
| 4.8 Datos de pruebas especiales | 68 |
| 5. Conclusiones | 69 |
| 6. Bibliografía | 71 |
| APENDICE A | |

1. Introducción

La modernización que se intenta realizar en todos los órdenes de la vida económica del país redundará en el incremento sustancial de las demandas de tránsito sobre las redes de transporte, por lo que tanto las carreteras como los ferrocarriles existentes deberán modificarse para adecuarlos al crecimiento de la demanda de transporte.

Los puentes son una parte importante del sistema de transporte del país y pueden ser puntos de estrangulamiento de la red si no están en condiciones adecuadas de servicio.

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 vivas.

El deterioro causado por los agentes naturales es común a todas las obras de ingeniería civil y es el resultado de un proceso mediante el cual la naturaleza trata de revertir el procedimiento artificial de elaboración de los materiales de construcción y llevarlos nuevamente a su estado original. De esta manera el concreto, piedra artificial formada por agregados pétreos unidos con cemento y agua, por efecto de los cambios de temperatura, el intemperismo y otros agentes, se agrieta, se desconcha y tiende a convertirse otra vez 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; por otra parte, el mismo desarrollo económico se ha reflejado en un notable incremento del parque vehicular. En los últimos 35 años el número de habitantes y la longitud de la red se han triplicado, en tanto que el número de vehículos se ha multiplicado por veinticinco.

Una gran parte de nuestros puentes fueron calculados para la carga AASHTO H-15 con un peso total de 13.6 ton. en tanto que el camión tipo

T3-S3 autorizado por el reglamento de operación de caminos tiene un peso legal de 46 ton. y frecuentemente un peso ilegal hasta de 75 ton. Esta situación explica algunos de los daños en las estructuras de pavimentos y puentes 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 la aplicación de esas cargas repetidamente. Sin embargo, atendiendo a la naturaleza dinámica de las cargas vivas, deberá estudiarse con más detalle el problema de capacidad estructural, tomando en cuenta las características del propio vehículo como son el tipo de suspensión, distribución de la masa, etc. así como las propiedades dinámicas del puente.

Otro aspecto importante de tomar en cuenta es lo que se refiere a la insuficiencia hidráulica y al estado de la cimentación desde el punto de vista de socavación, ya que estos problemas son las principales causas de colapsos de puentes.

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

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

- **Escasez de recursos.** La crisis económica en que estuvo inmerso nuestro país durante la década de los ochentas motivó un considerable descenso del gasto público y una desafortunada minimización de recursos disponibles para la conservación. Por el contrario, la crisis económica pudo

considerarse motivo para conservar con mayor esmero la infraestructura existente, que, de destruirse, sería difícil de restituir por la propia escasez de recursos.

- **Preferencia a la estructura térrea.** Los limitados recursos asignados a la conservación de la red, se han canalizado en el pasado fundamentalmente a la atención de la estructura térrea (terracerías y pavimentos), debido a que los materiales que la conforman son más vulnerables que los predominantes en los puentes, lo que motiva daños más extensos, más notorios y más frecuentes. Los materiales de los puentes, son ciertamente más durables, pero no son eternos y su falta de conservación puede destruirlos, ocasionando cuantiosas pérdidas económicas e interrupciones totales del tránsito.

- **Impopularidad de la conservación.** El crecimiento demográfico, el acceso de grupos cada vez mayores a mejores niveles de vida y la urbanización creciente, generan una gran demanda de diversas obras nuevas de infraestructura, ante las cuales la conservación de las obras existentes resulta una tarea poco atractiva para la sociedad y sus dirigentes y queda, por lo tanto, en desventaja en la competencia por la asignación de recursos.

- **Carencia de cultura de conservación.** En una sociedad subdesarrollada existe poca conciencia sobre la necesidad de conservar las obras tanto públicas como privadas. Podría decirse que el índice del desarrollo social de una nación se obtiene en función de la proporción de recursos asignados a la conservación respecto al gasto total en construcción.

Aunque por su longitud los puentes representan una porción pequeña de la red, constituyen eslabones vitales que garantizan la continuidad del funcionamiento de toda ella. Su colapso ocasiona frecuentemente pérdidas de vidas y cuantiosos daños económicos, tanto por la destrucción de la obra como por la interrupción o demora de la operación. Su reconstrucción plantea a menudo complejos problemas de ingeniería. Constituyen además obras que cautivan la atención del público, por lo que su falla ocasiona un detrimento en la credibilidad o en el prestigio de las entidades responsables. Por estas razones, conservarlos es una necesidad esencial.

2. Antecedentes

En los más de 40,000 km de la red federal de carreteras existen aproximadamente 5,000 puentes con una longitud del orden de 200 km, que presentan una inversión superior a los 8,000 millones de nuevos pesos. De acuerdo con los resultados de numerosos estudios realizados en todo el mundo, un nivel mínimo recomendable de inversión para la conservación de estructuras viales es el 2% de la inversión inicial. Lo que conduce a definir un presupuesto anual de 160 millones de nuevos pesos como el mínimo necesario para la conservación de esas obras. Desafortunadamente, durante muchos años por las razones 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. Obviamente, los presupuestos anuales para estas acciones, al incluir tareas de reparación y reforzamiento, son mucho mayores que la cifra arriba señalada, que se refiere únicamente a acciones preventivas y no correctivas.

Es oportuno mencionar que el problema planteado no es exclusivo de México, sino que existe en numerosos países, quizás en todos, y con mayor agudeza en los países más desarrollados que tienen infraestructuras 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 destinará a acciones preventivas de mantenimiento y dos tercios a la rehabilitación o reemplazo del 25% de estas obras.

A pesar de que la construcción y administración institucional de puentes carreteros en México empieza en 1925 con la fundación de la Comisión Nacional de Caminos, fue en 1982 cuando se iniciaron acciones administrativas que consideran el problema global de la conservación de puentes. Antes de esa fecha sólo se emprendían acciones dispersas diferidas a casos puntuales, que en su mayor

colapsados por socavación durante los temporales y que sólo raras veces constituían verdaderas acciones preventivas de conservación, como la renovación de la pintura de estructuras metálicas.

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

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

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

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

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

3. Sistema de administración de puentes

En una publicación reciente del Banco Mundial (1) destinada a servir como guía para la implantación de sistemas de administración de puentes en países en desarrollo, se define a un sistema de este tipo como, "*un conjunto de elementos administrativos y organizacionales, normas y procedimientos implantados por una institución para organizar, realizar y supervisar todas las actividades relacionadas con los puentes a su cargo después de la puesta en servicio de éstos*".

Los objetivos generales del sistema son los siguientes:

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

Por lo que se refiere a los puentes carreteros de la red federal, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes cuenta con todos los elementos administrativos y organizacionales que permiten la pronta implantación del sistema propuesto a través de la estructura existente en los Centros SCT y en las Dependencias Centrales, requiriéndose únicamente el fortalecimiento de algunos recursos específicos necesarios para la operación del sistema (figura 3.1). A continuación se describen algunas necesidades en cuanto a normas y procedimientos a establecer.

3.1. Organización central

Dentro del sistema propuesto se requiere que la toma de decisiones sobre las acciones de conservación de los puentes tenga lugar en una organización central que deberá además supervisar la ejecución de los trabajos. Estas tareas no pueden estar a cargo de la organización de campo, porque deben realizarse considerándose la operación global de la red y no únicamente las circunstancias particulares de cada caso. Para los puentes de la red federal de

carreteras esta organización será en primera instancia el centro SCT en cada estado y en segunda, las dependencias centrales.

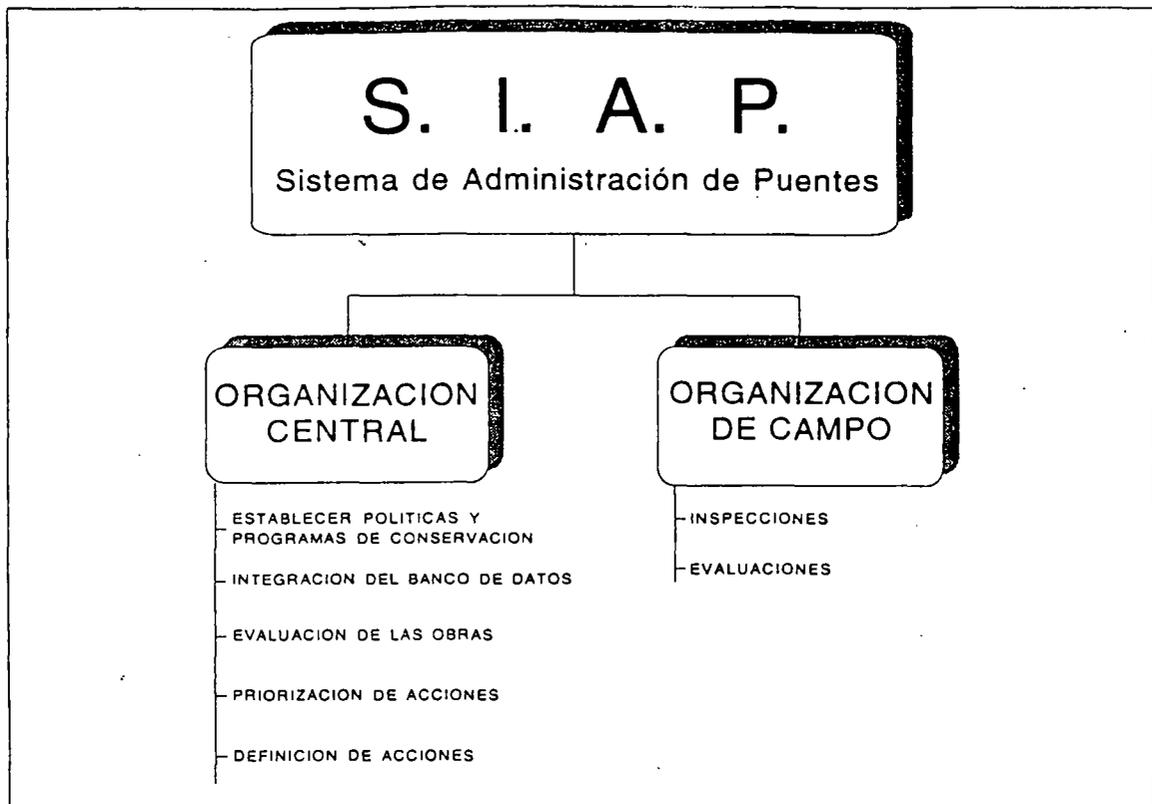


FIGURA 3.1.- Organización institucional propuesta por el SIAP.

Las actividades centralizadas dentro del sistema propuesto son las siguientes:

- Establecer políticas y programas de conservación.
- Integración del banco de datos.
- Evaluación de las obras.
- Definición de acciones.
- Priorización de acciones.

La organización central será la responsable de integrar un expediente para cada puente conteniendo los siguientes documentos:

- Estudios previos: topográficos, hidráulicos, geotécnicos, de ingeniería de tránsito, etc.
- Memorias de cálculo y planos estructurales.
- Datos de construcción: contratos, modificaciones al proyecto, control de calidad, etc.
- Reportes de accidentes.
- Datos sobre reparaciones o reforzamientos, incluyendo costos.

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

3.2. Organización de campo

Dentro del sistema se requieren organismos que realicen directamente las tareas de campo. En el caso de la red federal de carreteras, los organismos responsables deben ser las Residencias de Construcción de Puentes, auxiliadas en lo conducente por las Unidades Generales de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones. Las tareas a realizar por estas dependencias dentro del sistema son las siguientes:

- Inspecciones.
- Evaluaciones.

3.3. Inspecciones

Mediante un programa de inspecciones sistemáticas se obtendrán los datos necesarios para la detección y evaluación de daños, así como para la toma de decisiones sobre mantenimiento, reparación, refuerzo o sustitución de los puentes.

En las inspecciones deberán considerarse únicamente los daños graves, tales como :

- Socavación,
- Grietas y asentamientos en la subestructura,
- Daños en dispositivos de apoyo,
- Grietas en la superestructura,
- Flechas, desplomes y hundimientos,
- Golpes,
- Daños en juntas de dilatación,
- Corrosión.

Dentro de este sistema se sugiere que se realicen dos tipos de inspecciones; una de evaluación y la otra detallada.

3.3.1. Inspección de evaluación

Debe realizarse por personal especializado en puentes y adiestrado 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 de evaluación, el jefe de la brigada procederá a una calificación 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 práctica se recomienda que la superestructura, subestructura, superficie de rodamiento y cimentación (socavación), se califiquen en alguno de los niveles mostrados en la tabla 3.1, se deberá asignar una calificación a cada concepto, es decir una sola calificación para la subestructura, otra para la superestructura, otra para la superficie de rodamiento y otra para la cimentación.

Para la ejecución de estas inspecciones se recomienda utilizar las siguientes publicaciones de apoyo:

- Catálogo de deterioros, el cual servirá para ayudar en la calificación del puente.
- Formatos para la inspección del puente, el cual estará de acuerdo con el sistema de cómputo y servirá para proporcionar fichas de captura.
- Guía para la Inspección y Conservación de Puentes. Esta es una publicación que tiene la SCT, que es traducción de una publicación de la AASHTO.

En el apéndice A se muestra el formato para este tipo de inspección.

| NIVEL | DESCRIPCION |
|-------|-----------------------------|
| 5 | CONDICION EXCELENTE |
| 4 | CONDICION BUENA |
| 3 | CONDICION ACEPTABLE |
| 2 | CONDICION REGULAR |
| 1 | CONDICION MALA O DEFECTUOSA |
| 0 | CONDICION DE FALLA |

TABLA 3.1.- Niveles para la calificación de puentes.

3.3.2. Inspección detallada

Debe realizarse en aquellos puentes que hayan tenido una calificación inferior a 3 durante la inspección de evaluación. 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 contarse con equipos que permitan el acceso a todas las partes del puente y la medición cuantitativa de las respuestas de la estructura con precisión suficiente.

Entre las actividades a realizar se incluyen el levantamiento geométrico de la estructura, la determinación de la naturaleza y extensión de los daños y la realización de diversos estudios que permitan determinar la causa y mecanismo de propagación de los daños; para lo cual es necesario utilizar equipos desarrollados por la tecnología mundial para la observación de obras. Dada la extensión y complejidad de estos trabajos y el alto grado de responsabilidad profesional que implican, es recomendable que se realicen con el apoyo de empresas especializadas de consultoría, contratadas para este efecto. En la figura 3.2 se muestra un resumen de la metodología propuesta por el SIAP para llevar a cabo las inspecciones.

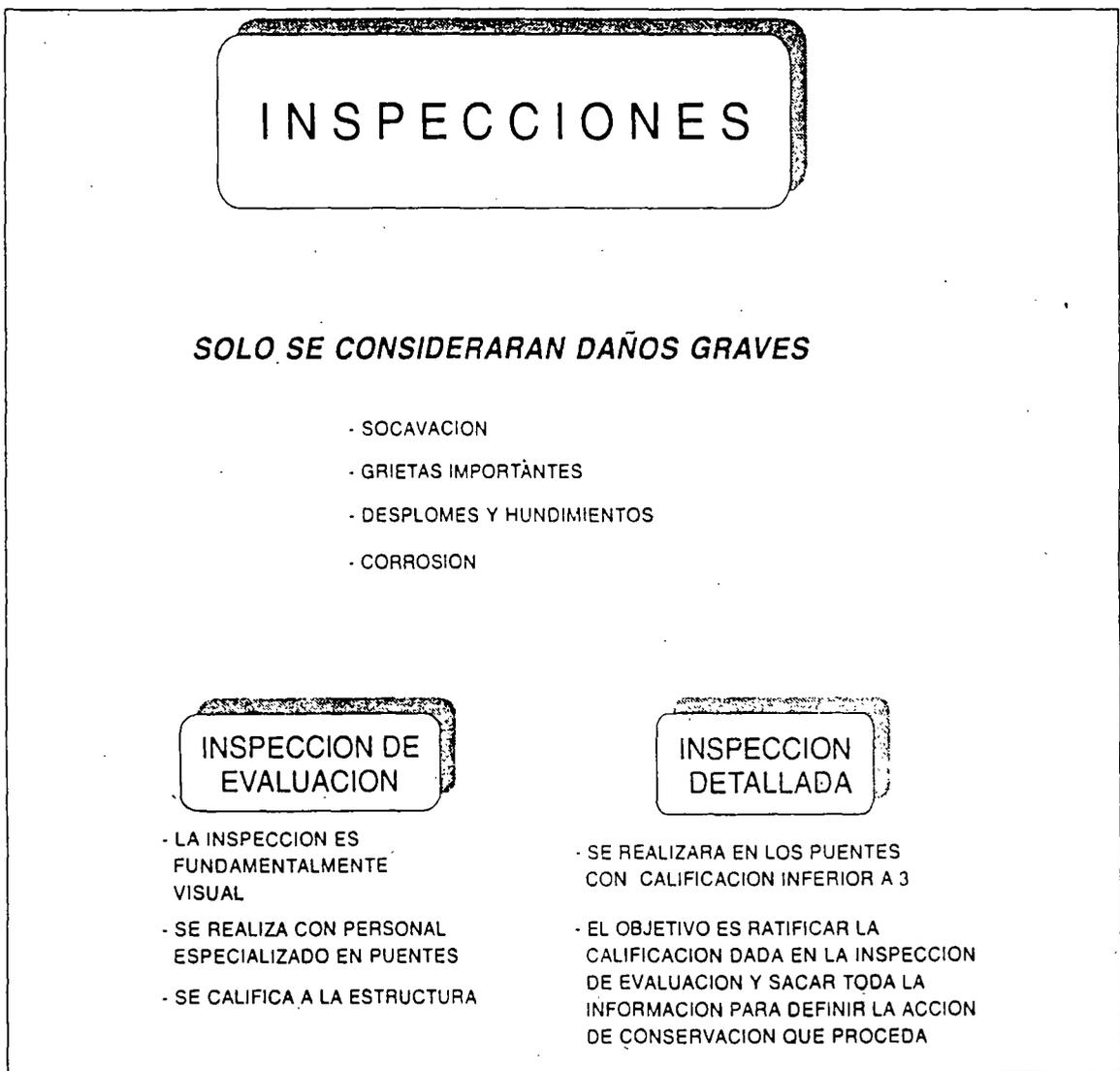


FIGURA 3.2.- Organización institucional de las inspecciones.

3.4. Inventario

El inventario debe incluir exclusivamente datos de carácter casi permanente, útiles para tomar decisiones básicas y no para decisiones de ingeniería. Deben separarse de la forma del inventario las cuestiones referentes a la detección y evaluación de daños.

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

En el capítulo 4 se hace una descripción detallada de los datos que forman el inventario y en el apéndice A se muestra el formato de campo correspondiente.

3.5. Evaluación

La evaluación del puente debe incluir dos aspectos; por un lado, evaluar sus características resistentes actuales y previsibles en un futuro próximo y, por otro, que señale cuales son sus características funcionales, destacando el tipo de trazo en que está inscrito el puente, su ancho de calzada, su gálibo y su sección hidráulica entre otros.

Estas propiedades de resistente y de funcionalidad, deben compararse con las características mínimas aceptables o deseables que debe tener un puente para que cumpla su función dentro de la red vial. Los valores mínimos deseables y aceptables se definen en el punto 3.6. de este trabajo.

Para obtener la capacidad resistente de un puente existen dos procedimientos; el primero, consistente en la elaboración de un análisis estructural utilizando un modelo lo más apegado a la geometría del puente. Un problema que se presenta en este procedimiento es la determinación de los parámetros de rigidez y resistencia para el nivel de deterioro que tenga el puente. El segundo procedimiento consiste en

obtener las características dinámicas (modos de vibración, amortiguamiento y frecuencias) reales a partir de la medición de vibraciones. Estas técnicas se están utilizando cada vez más, ya que constituyen un procedimiento más confiable de evaluación estructural y, además, los procedimientos y equipos necesarios son cada vez más sencillos.

En este sistema se deja abierta la posibilidad de que en el futuro la capacidad resistente se obtenga mediante medición de vibraciones; por ahora este aspecto sólo se manejará mediante una calificación de la condición estructural que se otorgue a las diferentes partes del puente.

En lo que se refiere a la evaluación de los aspectos funcionales, ésta se hará comparando los datos actuales de ancho y gálibos con los definidos como mínimos deseables o aceptables en los niveles de servicio. En las figuras 3.3 y 3.4 se presenta esquemáticamente la manera en que el SIAP lleva a cabo las evaluaciones de los puentes.

En la figura 3.3 se describen los dos aspectos ya mencionados para evaluar los puentes incluidos en el SIAP, éstos son: características resistentes y características funcionales. El SIAP considera en los aspectos de resistencia, la capacidad de carga y la socavación y, en los aspectos funcionales, el trazo, el ancho de calzada, los gálibos y la sección hidráulica.

En la figura 3.4, se muestra la comparación que realiza el SIAP, entre las características reales y las deseables. para obtener el nivel de deficiencia del puente, el cual junto con los aspectos financieros servirá para realizara trabajos de priorización de las acciones de conservación.

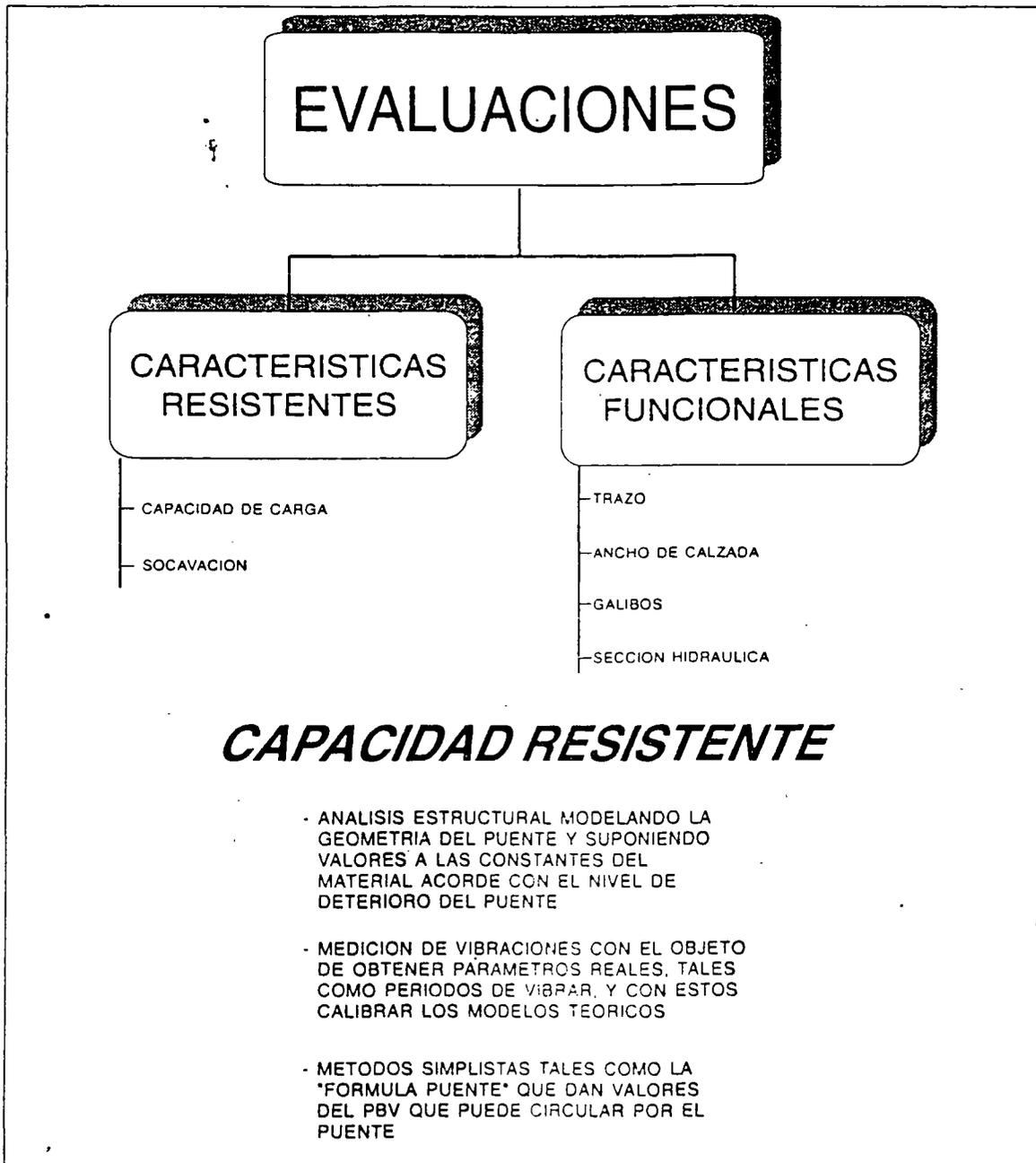


FIGURA 3.3.- Sistema de evaluación de los puentes propuesta en el SIAP.

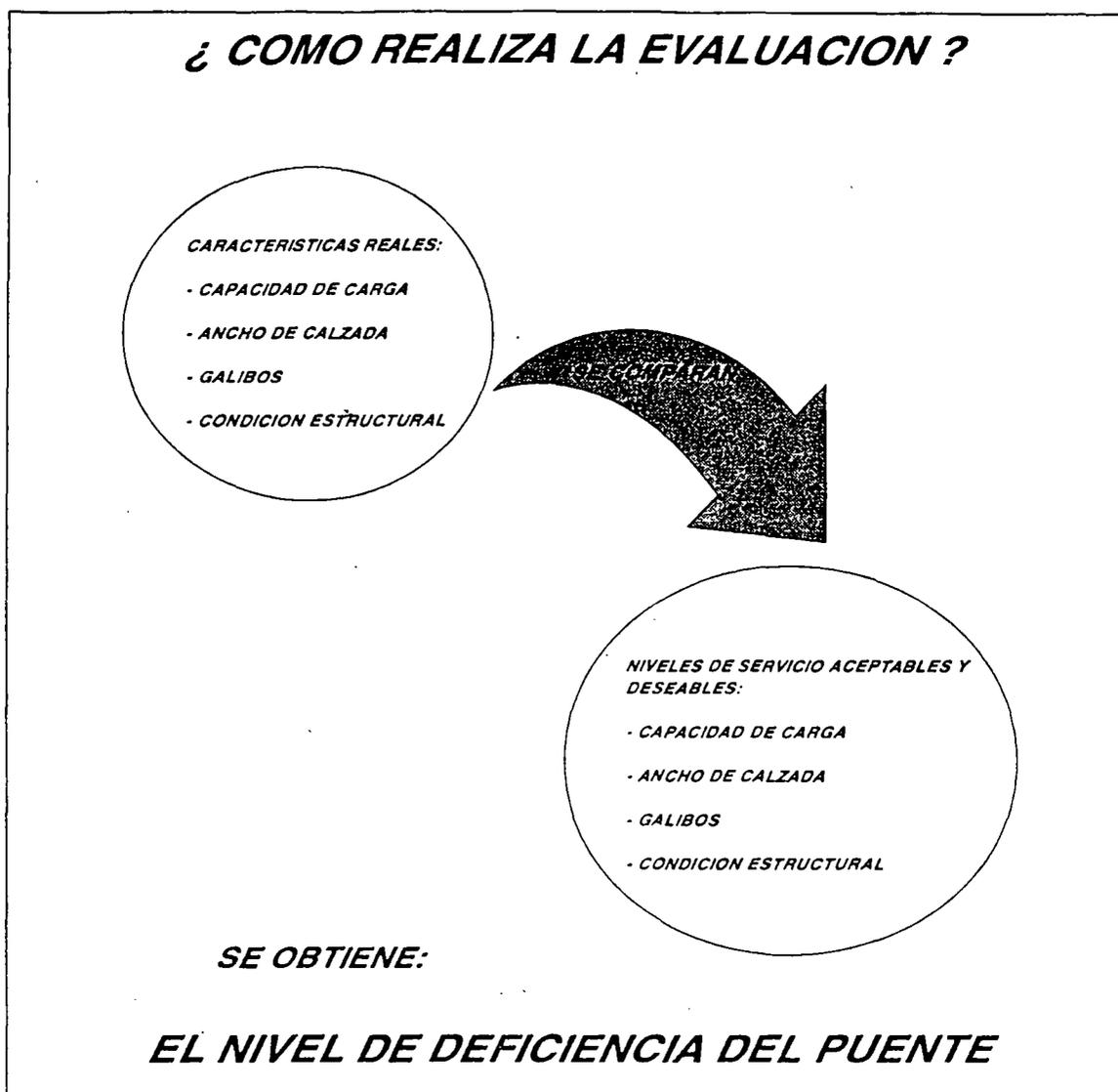


FIGURA 3.4.- Esquema general de evaluación de los puentes en el SIAP.

3.6. Niveles de Servicio

Como ya se mencionó, los niveles de servicio constituyen el marco de referencia para poder establecer si un puente tiene las características funcionales y de resistencia adecuadas para la operación del transporte dentro del sistema vial.

Los niveles de servicio son definidos para la capacidad de carga, el ancho del puente y los gálibos.

3.6.1 Nivel de servicio para la capacidad de carga

Por capacidad de carga se entiende como la máxima carga a la que el puente puede ser sometido sin afectarlo estructuralmente. En este sistema se utilizará el peso total del vehículo de diseño a menos que se calcule otro valor utilizando algún procedimiento más refinado.

Para definir los niveles de servicio para la capacidad de carga, es necesario establecer el peso de los vehículos que circulan por la red carretera. En el reglamento reciente sobre pesos y dimensiones, el peso bruto vehicular permitido se da en función del daño a pavimentos y a puentes, y con base en éstos y en los estudios sobre pesos y dimensiones que realiza este Instituto, se definieron los valores aceptable y deseable para el sistema. Los valores propuestos se muestran en la tabla 3.2.

La clasificación de las carreteras utilizada es la siguiente:

Carretera A.- Son aquellas que por sus características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados por el reglamento de pesos y dimensiones de la SCT.

Carretera B.- Son aquellas que conforman la red primaria y que atendiendo a sus características geométricas y estructurales presta un servicio de comunicación interestatal, además de vincular el tránsito con la red de carreteras tipo A.

Carretera C.- Red secundaria; son carreteras que atendiendo a sus características geométricas y estructurales principalmente prestan servicio dentro del ámbito estatal con longitudes medias, estableciendo conexiones con la red primaria.

Carretera D.- Red alimentadora; son carreteras que atendiendo a sus características geométricas y estructurales

principalmente prestan servicio dentro del ámbito municipal con longitudes relativamente cortas, estableciendo conexiones con la red secundaria.

| NIVEL DE SERVICIO PARA LA CAPACIDAD DE CARGA | | |
|--|------------------------|----------|
| Clasificación de la carretera | Capacidad en toneladas | |
| | Aceptable | Deseable |
| A | 69.52 | 77.51 |
| B | 69.52 | 77.51 |
| C | 46.03 | 46.03 |
| D | 41.54 | 41.54 |

TABLA 3.2.- Nivel de servicio para la capacidad de carga de puentes.

3.6.2 Nivel de servicio para el ancho del puente

En este sistema el ancho del puente corresponde al ancho libre para que los vehículos circulen sin obstáculos. Los niveles de servicio deseados para el ancho del puente se muestran en las tablas 3.3 y 3.4.

3.6.3 Nivel de servicio para el gálibo de puentes

El gálibo vertical de puentes corresponde a la altura libre para que los vehículos circulen. En un puente se pueden presentar dos tipos de gálibos que llamaremos gálibo superior y gálibo inferior. El gálibo superior corresponde a impedimentos para circular que estén por arriba del puente como pueden ser la cuerda superior en puentes a base de armaduras o bien algún tipo de señalamiento. El gálibo inferior y el gálibo inferior cuando el puente es cruzado por debajo por una ruta. El nivel de servicio para los gálibos superior e inferior en puentes se muestra en la tabla 3.5.

| NIVEL DE SERVICIO PARA EL ANCHO DE PUENTES DE DOS CARRILES | | | |
|---|------------------------|-----------------|----------|
| Clasificación funcional del camino | Rangos de Volumen TPDA | Ancho en metros | |
| | | Aceptable | Deseable |
| A | TPDA ≤ 3,000 | 9.00 | 10.00 |
| | 3000 - 5000 | 10.00 | 11.00 |
| | > 5000 | 12.00 | 13.50 |
| B | TPDA ≤ 1500 | 9.00 | 10.00 |
| | 1500 - 3000 | 8.00 | 9.00 |
| C y D | TPDA ≤ 50 | 4.00 | 5.00 |
| | 50 - 1500 | 4.00 | 5.00 |

TABLA 3.3.- Nivel de servicio para el ancho de puentes de dos carriles.

| NIVEL DE SERVICIO PARA EL ANCHO DE PUENTES CON MAS DE DOS CARRILES | | | | | |
|---|-------------|-----------------|-------|----------|-------|
| Tipo de carretera | TPDA | Ancho en metros | | | |
| | | Aceptable | | Deseable | |
| | | carril | acot. | carril | acot. |
| A | TPDA ≤ 3000 | 4.50 | 0.50 | 4.50 | 1.50 |
| | 3000 - 5000 | 4.50 | 1.50 | 5.00 | 1.50 |
| | TPDA > 5000 | 5.00 | 1.50 | 5.70 | 2.50 |

TABLA 3.4.- Nivel de servicio para el ancho de puentes de más de dos carriles.

| NIVEL DE SERVICIO PARA EL GALIBO DE PUENTES | | |
|---|------------------|----------|
| Clasificación del camino | Gálibo en metros | |
| | Aceptable | Deseable |
| A | 5.40 | 5.60 |
| B | 5.00 | 5.20 |
| C y D | 4.40 | 4.80 |

TABLA 3.5.- Nivel de servicio para el gálibo en puentes.

3.7. Criterios de Priorización

Un criterio de priorización es un procedimiento en el cual se toman en cuenta aspectos funcionales y estructurales para establecer prioridades de acción en la conservación de los puentes.

El criterio de priorización propuesto para este sistema, está basado en los trabajos desarrollados por la Federal Highway Administration y algunos departamentos de transporte en los Estados Unidos de Norteamérica, pero se adecúa a las necesidades de los puentes en México.

Para el sistema de priorización se establece una calificación a la que llamaremos el nivel de deficiencia del puente (ND), el cual se mide de 0 a 100, donde cien es para puentes en perfecto estado y cero para aquellos puentes que requieren acciones urgentes de conservación. Se califican cuatro aspectos: capacidad de carga (CC), ancho del puente (AP), gálibos (G) y la condición estructural del puente (CE). La calificación se obtiene con la siguiente fórmula:

$$ND = 100 - (CC + AP + G + CE)$$

A continuación se presenta el procedimiento para calcular cada una de las variables de la fórmula anterior.

3.7.1. Deficiencia en la capacidad de carga (CC).

La fórmula para calcular el nivel de deficiencia correspondiente a la capacidad de carga, se define como:

$$CC = 40 \left[1 - \frac{1}{5} (NC - CR)(0.6K_1 + 0.4K_2) \right] \leq 40$$

$$K_1 = \frac{(TPDA)^{0.30}}{12}$$

$$K_2 = \left(\frac{LD}{20} \right) \left(\frac{TPDA}{5000} \right)$$

Donde:

- NC, es el nivel de servicio para la capacidad de carga definido en la tabla 3.2, en ton.
- CR, capacidad de carga del puente en ton. Si no se cuenta con un valor más preciso se podrá usar el correspondiente al peso total del vehículo utilizado en el proyecto.
- TPDA, tránsito promedio diario anual.
- LD, distancia que un vehículo tendría que recorrer en caso de falla del puente, en Km.

Esta fórmula presupone que el costo del transporte se incrementa linealmente con la deficiencia en la capacidad de carga del puente; además se introdujo un término no lineal que toma en cuenta el deterioro del puente por el paso de vehículos con exceso de carga. En la figura 3.5

se muestra una gráfica de CC para diferentes valores de deficiencia en capacidad de carga (NC - CR) considerando una longitud de desvío de 20 kms. En la gráfica se puede apreciar que entre mayor sea la deficiencia en capacidad de carga y mayor el tráfico será menor el valor de CC.

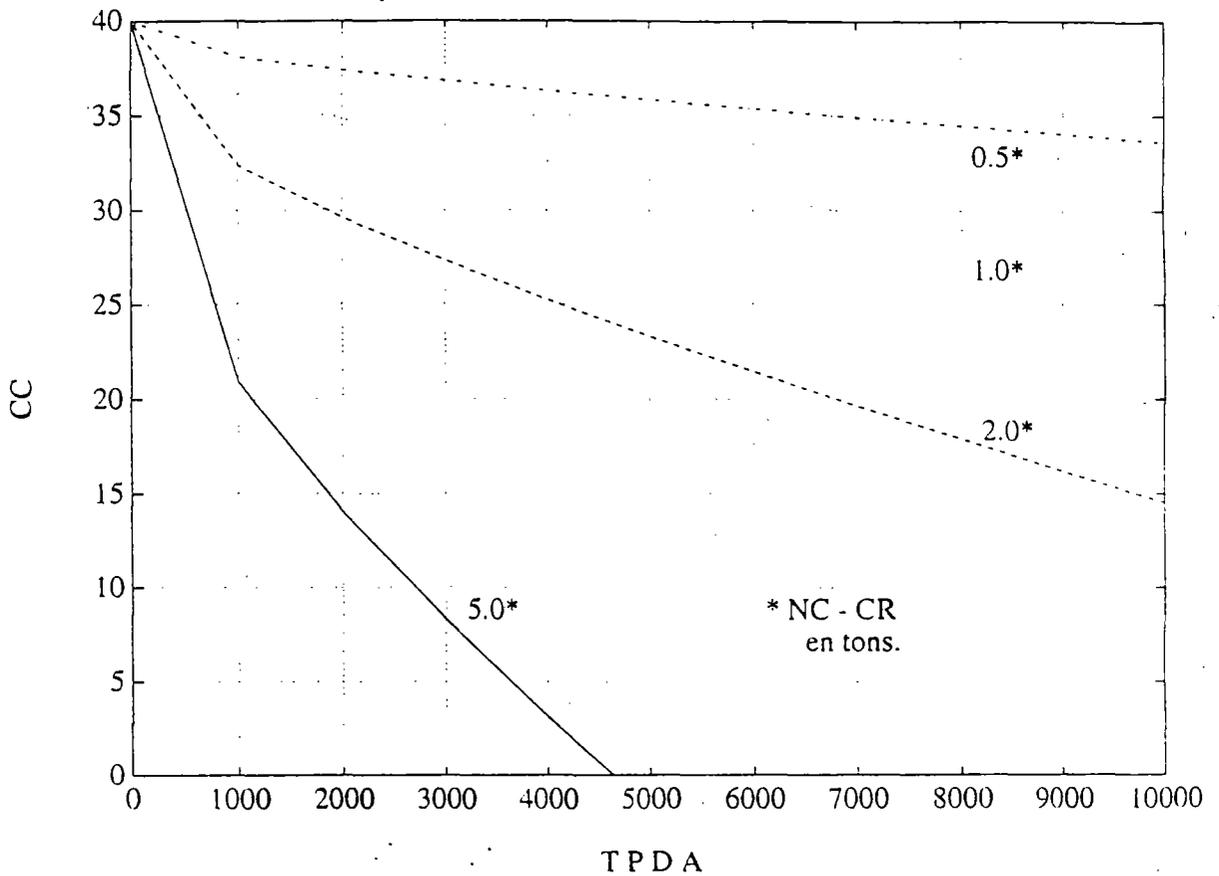


FIGURA 3.5.- Gráfica de CC contra TPDA para diferentes valores de NC-CR.

3.7.2 Deficiencia por el ancho del puente (AP)

La fórmula para el cálculo de la deficiencia por el ancho del puente es la siguiente:

$$AP = 10 \left(1 - (AD - AR) \left(\frac{TPDA}{5000} \right) \right) \leq 10$$

Donde :

AD, ancho total deseado del puente, en metros.

AR, ancho real del puente, en metros.

TPDA, tránsito promedio diario anual.

La deficiencia por el ancho del puente está en función del TPDA. La función es lineal y en ella se considera que el número de accidentes y los costos se incrementan linealmente con el TPDA y la deficiencia en el ancho del puente. En la figura 3.6 se muestra una gráfica de esta ecuación para diferentes valores de (AD - AR) en la que se puede observar igual que en el caso anterior que entre mayor sea el nivel de deficiencia menor será el valor de AP y por lo tanto peor la calificación del puente.

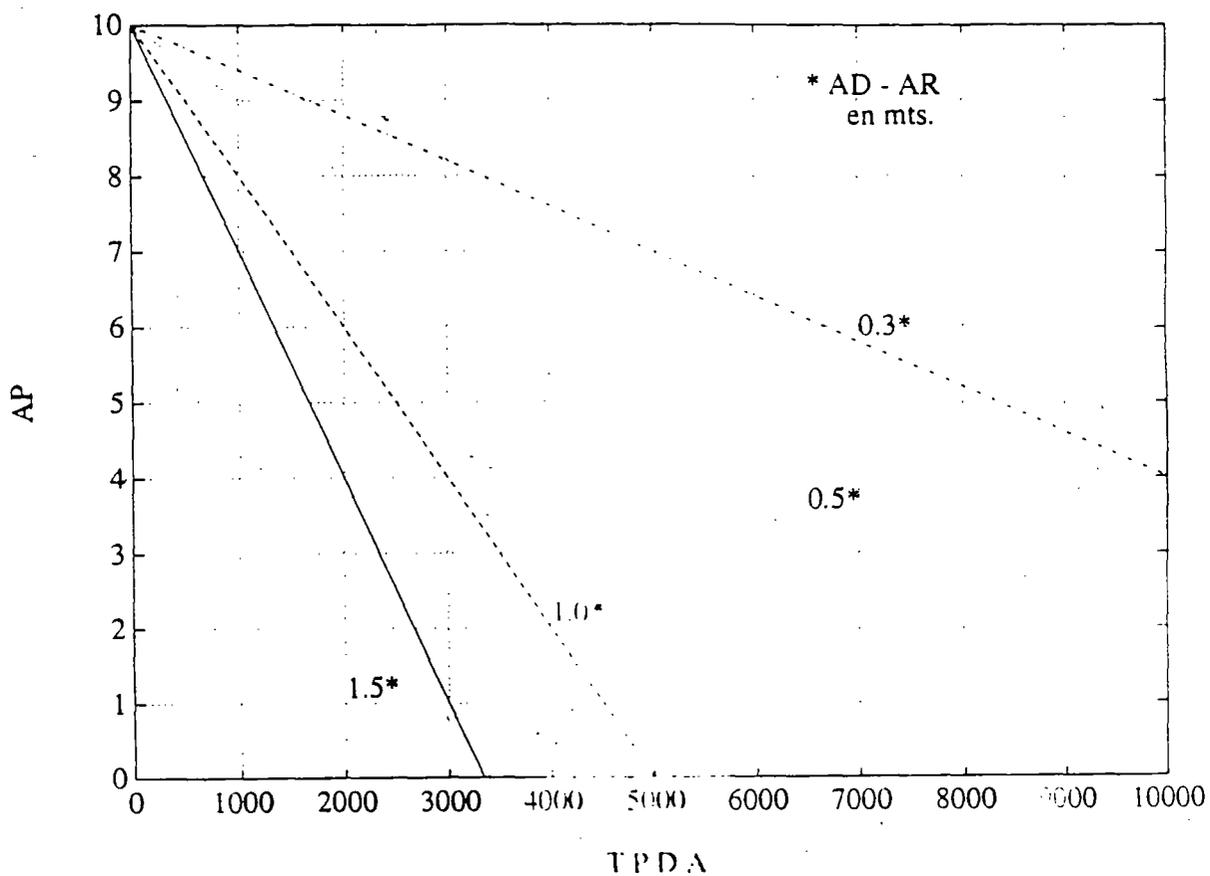


FIGURA 3.6.- Gráfica de AP contra TPDA para diferentes valores de AD-AR.

3.7.3 Deficiencia por gálibos (G)

La fórmula para el cálculo de la deficiencia por gálibo esta dada por:

$$G = (GI + GS) \leq 10$$

$$GI = 10 \left(1 - \left(\frac{GID - GIR}{0.6} \right) \left(\frac{TDPA}{5000} \right) \right)$$

$$GS = 10 \left(1 - \left(\frac{GSD - GSR}{0.6} \right) \left(\frac{TDPA}{5000} \right) \right)$$

Donde :

- GID, gálibo inferior deseado, en metros.
- GIR, gálibo inferior existente, en metros.
- GSD, gálibo superior deseado, en metros.
- GSR, gálibo superior existente, en metros.
- GI, deficiencia en el gálibo inferior.
- GS, deficiencia en el gálibo superior.
- TPDA, tránsito promedio diario anual.

La fórmula para GI está graficada en la figura 3.7 para distintos valores de (GIR - GID) y como se puede ver, es lineal, asumiendo que los costos de los usuarios asociados con los gálibos se incrementan linealmente con el TPDA.

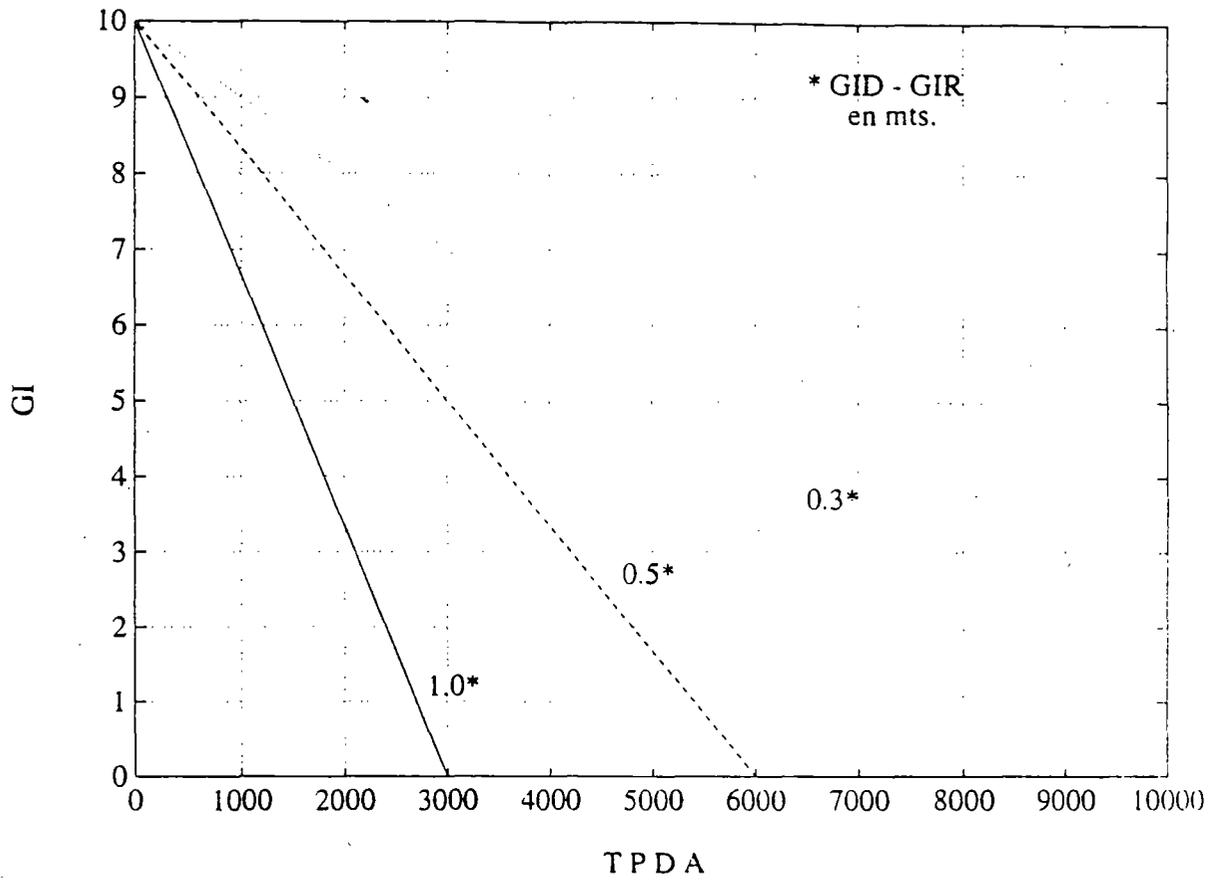


FIGURA 3.7.- Gráfica de GI contra TPDA para diferentes valores de GID-GIR.

3.7.4 Deficiencia en la condición estructural (Ce).

Para calcular la deficiencia en la condición estructural, se utilizan las siguientes fórmulas:

$$CE = 0 \quad \text{para} \quad ICE \leq 1$$

$$CE = \frac{40}{3} (ICE - 1) \quad \text{para} \quad 1 < ICE < 4$$

$$CE = 40 \quad \text{para} \quad ICE > 4$$

$$ICE = \frac{2 (ICSUB) + (ICSUP) + ICR + 3 (SOC)}{8}$$

Donde:

- ICE, Índice de la condición de la estructura.
- ICSUB, Índice de la condición estructural de la subestructura, tal como se define en la tabla 3.1.
- ICSUP, Índice de la condición estructural de la superestructura, tal como se define en la tabla 3.1.
- ICR, Índice de la condición de la superficie de rodamiento, tal como se define en la tabla 3.1.
- SOC, Índice de la condición de la socavación.

En la figura 3.8 se presenta la gráfica de CE contra IC.

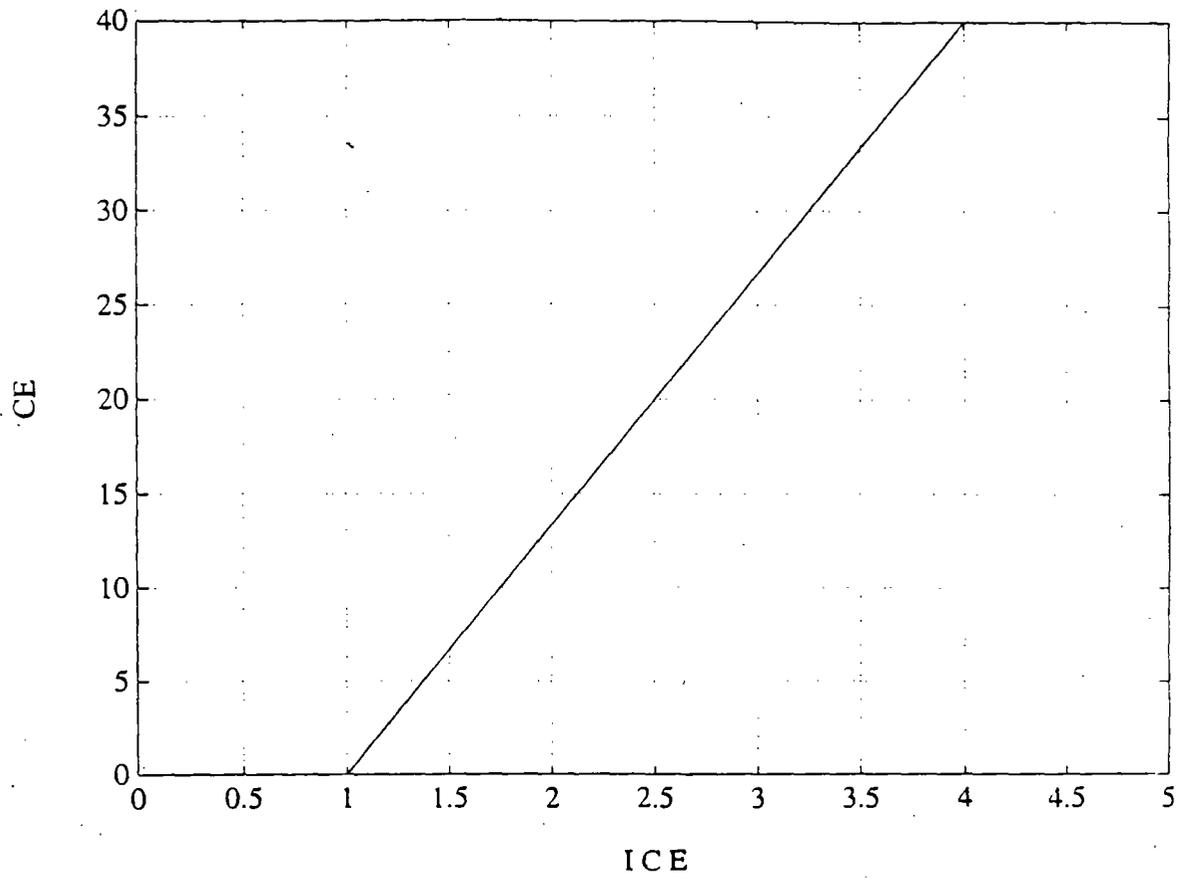


FIGURA 3.8.- Gráfica de CE contra ICE.

3.8. Índices de priorización

Los índices para realizar la priorización son los mostrados en la tabla 3.6. Con el primer índice se maneja un ordenamiento de los puentes en función del costo normalizado al tráfico promedio diario anual con la idea de comparar costos de conservación incluyendo los volúmenes de tráfico. El resto de los índices son reportes ordenados en función de la calificación obtenida por cada puente en la variable indicada.

| INDICE | VARIABLES | ORDEN DEL REPORTE |
|--------|---------------|-------------------|
| 1 | COSTO TPDA | menor a mayor |
| 2 | ND | menor a mayor |
| 3 | CC | menor a mayor |
| 4 | AP | menor a mayor |
| 5 | G | menor a mayor |
| 6 | CE | menor a mayor |

ND = Nivel de deficiencia

AP = Deficiencia en ancho del puente

CC = Deficiencia en capacidad de carga

G = Deficiencia en gálibos

CE = Condición estructural

TABLA 3.6.- Índices de Priorización.

3.9. Definición de acciones

Como resultado del análisis de los datos de la inspección de evaluación, el sistema asignará a cada puente alguna o algunas de las siguientes acciones:

- Inspección de evaluación a corto plazo (máximo 12 meses).
- Inspección de evaluación a mediano plazo (máximo 2 años).
- Inspección de evaluación a largo plazo (máximo 3 años).
- Inspección detallada.
- Acciones de mantenimiento menor.
- Acciones de mantenimiento mayor.
- Acciones de reparación en dos niveles: mayor y menor.
- Acciones de modernización bajo dos aspectos: ampliación y aumento de su capacidad de carga.
- Acciones de sustitución.
- Acciones normativas como: limitación de peso, reducción de la velocidad, colocación de señales de seguridad, colocación de señales que indiquen gálibos, cierre del puente.

Algunas de las acciones anteriores se definen como:

Mantenimiento menor.- Se refiere a las acciones que corrigen anomalías que no han causado todavía daños, pero que si persisten pueden llegar a causarlo. El deshierbe y la limpieza son acciones típicas de mantenimiento menor.

Mantenimiento mayor.- Se refiere a acciones que corrigen daños que todavía no tienen carácter estructural, pero que si se dejan progresar pueden llegar a causarlo. La renovación de la pintura de estructuras metálicas realizada cuando ya se ha caído parcialmente, pero antes de que la corrosión merme la resistencia de los elementos expuestos, es un ejemplo de trabajo de mantenimiento mayor.

Reparación.- Acciones que corrigen daños estructurales, pero que se limitan a recuperar la capacidad original. Como ejemplos pueden

presentarse la inyección de grietas con resinas epóxicas en estructuras de concreto dañadas y la reposición de áreas perdidas por corrosión mediante el añadido de cubreplacas soldadas en perfiles metálicos.

Modernización.- Abarca las acciones que modifican la estructura de un puente con el objeto de incrementar su capacidad original. Estas acciones pueden realizarse sobre una estructura con o sin daños. Las acciones se designan de reforzamiento si se aumenta la capacidad estructural. Esto puede lograrse con algunos métodos como el colado de sobreespesores en los elementos de concreto, mediante la introducción de preesfuerzo exterior o por el añadido de placas soldadas.

Ha sido frecuente el incremento de la capacidad vial mediante el ensanchamiento de la calzada, para lo cual se ha recurrido a sistemas estructurales diversos. También se han adaptado puentes antiguos a las necesidades del tránsito moderno, corrigiendo su alineamiento horizontal o vertical con la aplicación de gatos hidráulicos; con estos mismos aparatos se ha elevado la rasante de algunos puentes para incrementar su capacidad hidráulica.

Substitución.- Cuando se juzga que el estado de deterioro de una estructura es tan avanzado que resulta económicamente poco factible repararla o modernizarla, es necesario sustituirla. La substitución puede ser parcial o total. Muy a menudo ha resultado conveniente desmantelar o demoler una superestructura obsoleta y aprovechar la subestructura existente para el apoyo de una superestructura nueva de características adecuadas a los requerimientos actuales del tránsito.

En el caso de substitución total se plantea el problema de qué hacer con la obra desechada.

Se tienen tres opciones:

- Abandono.
- Demolición.
- Cambio de uso.

La primera es la que con mayor frecuencia se sigue, por comodidad, pero no siempre es la indicada. Si la obra desechada es una ruina que amenaza la seguridad pública o la estabilidad de otras construcciones, debe demolerse y sus escombros retirarse del sitio. Si por otra parte, el

puente substituido es de valor histórico o artístico debe considerársele parte del patrimonio de la nación y se le debe conservar. Para facilitar esta tarea, ha resultado conveniente un cambio de uso de la obra antigua, por ejemplo, la conversión de puente vehicular a puente peatonal.

La definición del tipo de acción y del nivel de atención que debe darse resulta obvia en algunos casos, pero en otros se plantean varias alternativas viables por lo que es necesario apoyarse en criterios económicos o de otro tipo para su selección.

3.10. Análisis económico

El análisis económico para este sistema se refiere exclusivamente al cálculo del costo de cada acción de conservación para de esta manera tener una idea del presupuesto anual necesario. El análisis de tipo económico-financiero no se considera necesario, ya que la planeación bajo este aspecto debe ser hecha desde la perspectiva de la carretera completa, en otras palabras, si la carretera México-Laredo se considera prioritaria, todos los puentes sobre esta vía tendrán que tener un nivel de servicio adecuado.

En la tabla 3.7 se muestran, de manera muy general, los conceptos que se toman en cuenta para establecer los costos de cada una de las acciones de conservación.

Los precios unitarios que se utilizan para el cálculo de los costos de las acciones de conservación para cada puente podrán ser actualizados en función de las siguientes variables

- Precio del cemento
- Precio del acero
- Salario mínimo en el D.F.
- Precio de la gasolina
- Distancia a un centro importante de abasto.
- Paridad con el dólar

| PARTE DEL PUENTE | TIPO | ACCIONES DE CONSERVACION |
|--------------------------|--|---|
| Superficie de rodamiento | Concreto hidráulico Mezcla asfáltica | Reparación menor Reparación mayor Reconstrucción |
| Superestructura | Losas de concreto Losa nervada Sistema a base de trabes y losa Vigas presforzadas Sistema de piso ortotrópico Sección cajón | Mantenimiento menor Mantenimiento mayor Reparación menor Reparación mayor Reconstrucción total Ampliación Reforzamiento |
| Subestructura | Pilas de mampostería Pilas de concreto Pilas de acero | Mantenimiento menor Mantenimiento mayor Reparación menor Reparación mayor Reconstrucción total Ampliación Reforzamiento |
| Estribos | Mampostería Concreto Tabique | Mantenimiento menor Mantenimiento mayor Reparación menor Reparación mayor Reconstrucción total Ampliación Reforzamiento |
| Cimentación | Zapatas Pilotes Cilindros | Ampliación de zapatas Repiloteo Reconstrucción total |

TABLA 3.7.- Conceptos para análisis de precios unitarios

4. Sistema de Cómputo

El SIAP (Sistema de Administración de Puentes) es un sistema de cómputo desarrollado en ambiente de computadora personal, el cual se desarrollo modularmente, lo cual permite incorporarle mejoras futuras como por ejemplo, un módulo para el manejo en un ambiente de sistemas de información geografico (SIG). Los objetivos del sistema son:

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

El sistema cuenta con una interfase para ligarse con el Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP) lo que permite traer o llevar información de un sistema a otro. El funcionamiento del SIAP se muestra en la figura 4.1.

4.1. Base de datos del SIAP

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

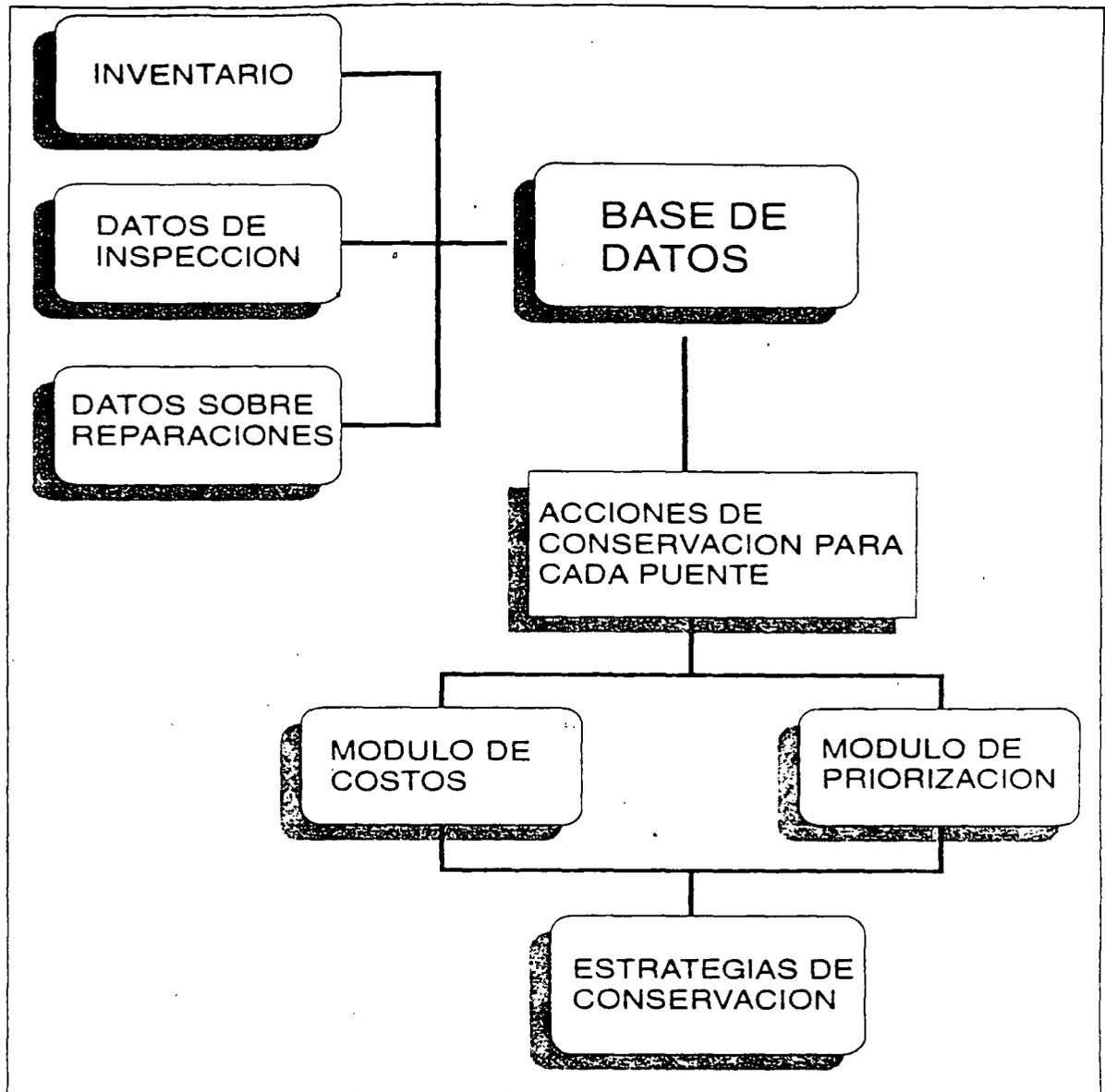


FIGURA 4.1.- Esquema general del SIAP.

La base de datos del sistema está organizada de la siguiente manera:

INVENTARIO

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

INSPECCIONES DE CAMPO

- G) Datos de la inspección de evaluación.
- H) Datos sobre la condición.
- I) Datos de pruebas especiales.

4.2 Datos Generales

Los datos generales corresponden a la ubicación de la estructura que incluyen los códigos referentes al estado federativo; la localidad; el número del puente; el año de construcción y reconstrucción, si es que se ha dado; quién lo construyó, etc. En otras palabras, son datos que describen, de manera general, ciertas características permanentes de la estructura.

A continuación se definen cada uno de los elementos que conforman los diversos datos.

1.- CODIGO ESTATAL (5 Dígitos)

Se registra el código estatal, el cual formará parte del número de inventario que genera el sistema. Este campo estará formado por cinco dígitos que corresponden a la abreviatura del estado, como se muestra a continuación:

| NOMBRE DEL ESTADO | CODIGO |
|---------------------|--------|
| AGUASCALIENTES | 00AGS |
| BAJA CALIFORNIA | 000BC |
| BAJA CALIFORNIA SUR | 00BCS |
| CAMPECHE | 0CAMP |
| COAHUILA | 0COAH |
| COLIMA | 00COL |
| CHIAPAS | 0CHIS |
| CHIHUAHUA | 0CHIH |
| DISTRITO FEDERAL | 000DF |
| DURANGO | 00DGO |
| GUANAJUATO | 00GTO |

| | |
|-----------------|-------|
| GUERRERO | 00GRO |
| HIDALGO | 00HGO |
| JALISCO | 00JAL |
| MEXICO | 00MEX |
| MICHOACAN | 0MICH |
| MORELOS | 00MOR |
| NAYARIT | 00NAY |
| NUEVO LEON | 000NL |
| OAXACA | 00OAX |
| PUEBLA | 00PUE |
| QUERETARO | 00QRO |
| QUINTANA ROO | 000QR |
| SAN LUIS POTOSI | 00SLP |
| SINALOA | 00SIN |
| SONORA | 00SON |
| TABASCO | 00TAB |
| TAMAULIPAS | TAMPS |
| TLAXCALA | 0TLAX |
| VERACRUZ | 00VER |
| YUCATAN | 00YUC |
| ZACATECAS | 00ZAC |

2.- NOMBRE DE LA LOCALIDAD

(80 Dígitos)

En este apartado se registrará el nombre de la localidad o nombre que se le da al sitio específico en donde se encuentra ubicada la estructura. Este código se formará por las letras de dicho nombre y en caso de que este abarque más de 80 dígitos se colocará sólo su abreviatura.

3.- LOCALIZACION DE LA CARRETERA

En esta parte se registran los datos de la carretera que pasa sobre el puente, el origen y el destino de la carretera, el origen y el destino del tramo y el número de carretera. Estos campos permiten ligar al Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP) con este sistema.

3a.- ORIGEN DE LA CARRETERA (40 Dígitos)

En este campo se registra el nombre de la localidad que da origen a la carretera.

3b.- DESTINO DE LA CARRETERA (40 Dígitos)

Se registra el nombre de la localidad del destino de la carretera.

3c.- ORIGEN DEL TRAMO (40 Dígitos)

Se anota el nombre de la localidad que da origen al tramo correspondiente.

3d.- DESTINO DEL TRAMO (40 Dígitos)

En este campo se anota el nombre de la localidad del destino correspondiente a este tramo.

3e.- NUMERO DE LA CARRETERA (5 Dígitos)

En este campo se anota el número de la carretera de acuerdo a la numeración usada por la SCT.

3f.- TIPO DE RUTA (1 Dígito)

Este dígito debe corresponder a uno de los siguientes términos:

- 1.- Carretera Federal
- 2.- Autopista
- 3.- Carretera Estatal
- 4.- Camino Rural
- 5.- Calle Urbana
- 6.- Ferrocarril
- 7.- Otra

3g.- NIVEL DE SERVICIO

(1 Dígito)

En este campo se identifica el nivel de servicio para el camino o ruta, utilizando uno de los siguientes códigos:

- 1.- Troncal
- 2.- Alimentador
- 3.- Rural
- 4.- Ninguno de los de arriba

4.- NUMERO DEL PUENTE

(7 Dígitos)

El número de los puentes existentes en México se forma con cinco dígitos de acuerdo a la numeración existente, o bien, si no existe, se hará de acuerdo a algún criterio que convenga a la SCT. Este número debe ser único en cada puente y formará parte del número de inventario que dará el sistema.

5.- NOMBRE DEL PUENTE

(80 Dígitos)

En este apartado se indicará el nombre del puente, por lo que dicho código, estará establecido por las letras que conforman al nombre. Será conveniente manejar exclusivamente sólo un nombre para cada puente.

6.- AÑO DE CONSTRUCCION

(5 Dígitos)

En la formación de este código se utilizarán cinco dígitos para registrar el año de construcción; en caso de que no se tenga disponible el dato se puede anotar uno que se aproxime al año en que se terminó la construcción.

7.- NOMBRE DEL CONSTRUCTOR (80 Dígitos)

Es importante tener el nombre de la compañía o dependencia que realizó la construcción del puente ya que el constructor puede proporcionar mayor información si se requiere. Se registrará el nombre del constructor principal.

8.- HISTORIAL DE REPARACIONES

En esta parte se anota el año, el nombre de la compañía constructora y el tipo de reparación realizada. Se registrarán las últimas cinco reparaciones realizadas.

8a.- AÑO (4 Dígitos)

En este campo se registra el año de terminación de la reparación.

8b.- CONSTRUCTORA (80 Dígitos)

Se anota el nombre de la compañía constructora o dependencia que haya realizado la reparación.

8c.- TIPO DE REPARACION (1 Dígito)

Se anota el tipo de reparación realizada de acuerdo a lo siguiente:

- 1.- Mantenimiento menor
- 2.- Mantenimiento mayor
- 3.- Reparación menor
- 4.- Reparación mayor
- 5.- Reconstrucción
- 6.- Ampliación
- 7.- Reforzamiento

9.- COORDENADAS GEOGRAFICAS.

Estas deben ubicarse al centro de la estructura.

9a.- LATITUD (6 Dígitos)

Se anotará compuesta de grados, minutos y décimas de minutos.

9b.- LONGITUD (6 Dígitos)

Se registrará en grados, minutos y décimas de minutos.

10.- KILOMETRAJE AL CENTRO DEL PUENTE (10 Dígitos)

Este será ubicado de acuerdo al sentido del cadenamiento y al centro del puente. El campo estará formado por el número de kilómetros más el número de metros.

11.- ORIGEN DEL CADENAMIENTO (80 Dígitos)

Se registra el nombre de la localidad que da origen al cadenamiento.

12.- SIGNIFICADO HISTÓRICO (1 Dígito)

En este campo se especificará si el puente tiene o no un significado histórico. El significado histórico de un puente puede ser un ejemplo particular o único de la historia de la ingeniería; el cruce mismo puede ser significativo; el puente puede estar asociado con la historia del área.

13.- DATOS DE LAS RUTAS BAJO EL PUENTE

Ruta bajo el puente se refiere a la carretera o cualquier otra vía que pasa por debajo del puente. Se definirán máximo tres rutas, si existen más, se elegirán las más importantes.

13a.- TIPO DE RUTA (1 Dígito)

Este dígito corresponderá a uno de los siguientes términos:

- 1.- Carretera Federal
- 2.- Autopista
- 3.- Carretera Estatal
- 4.- Camino Rural
- 5.- Calle Urbana
- 6.- Ferrocarril
- 7.- Otra

13b.- NIVEL DE SERVICIO (1 Dígito)

En la tercera posición, se identifica el nivel de servicio para el camino o ruta, utilizando uno de los siguientes códigos:

- 1.- Troncal
- 2.- Alimentador
- 3.- Rural
- 4.- Ninguno de los de arriba

4.3. Datos geométricos

En esta parte se registran los datos del diseño geométrico de la estructura. Los elementos a identificar serán los siguientes:

14.- ACCESOS

En este campo se dará la información concerniente a los anchos en metros de los accesos al puente.

14a.- DIMENSIONES DE LA SECCION A LA ENTRADA DEL PUENTE

| | | |
|--------|------------------------------|-------------|
| 14a1.- | Ancho de corona en metros | (5 Dígitos) |
| 14a2.- | Ancho de carpeta en metros | (5 Dígitos) |
| 14a3.- | Ancho del camellón en metros | (5 Dígitos) |

14b.- DIMENSIONES DE LA SECCION A LA SALIDA DEL PUENTE

| | | |
|--------|------------------------------|-------------|
| 14b1.- | Ancho de corona en metros | (5 Dígitos) |
| 14b2.- | Ancho de carpeta en metros | (5 Dígitos) |
| 14b3.- | Ancho del camellón en metros | (5 Dígitos) |

15.- LONGITUD DEL PUENTE (5 Dígitos)

Esta medida se define como la longitud en metros de la superficie de rodamiento soportada por la estructura del puente. (Ver figura 4.2).

16.- LONGITUD DEL MAXIMO CLARO (5 Dígitos)

En este campo se registra, en metros, la longitud del claro mayor. Esta distancia es a ejes de columnas o pilas.

17.- ANCHO TOTAL DE LA SUPERESTRUCTURA (8 Dígitos)

En este campo se registra, en metros, el ancho total de la superestructura. (Ver figura 4.3).

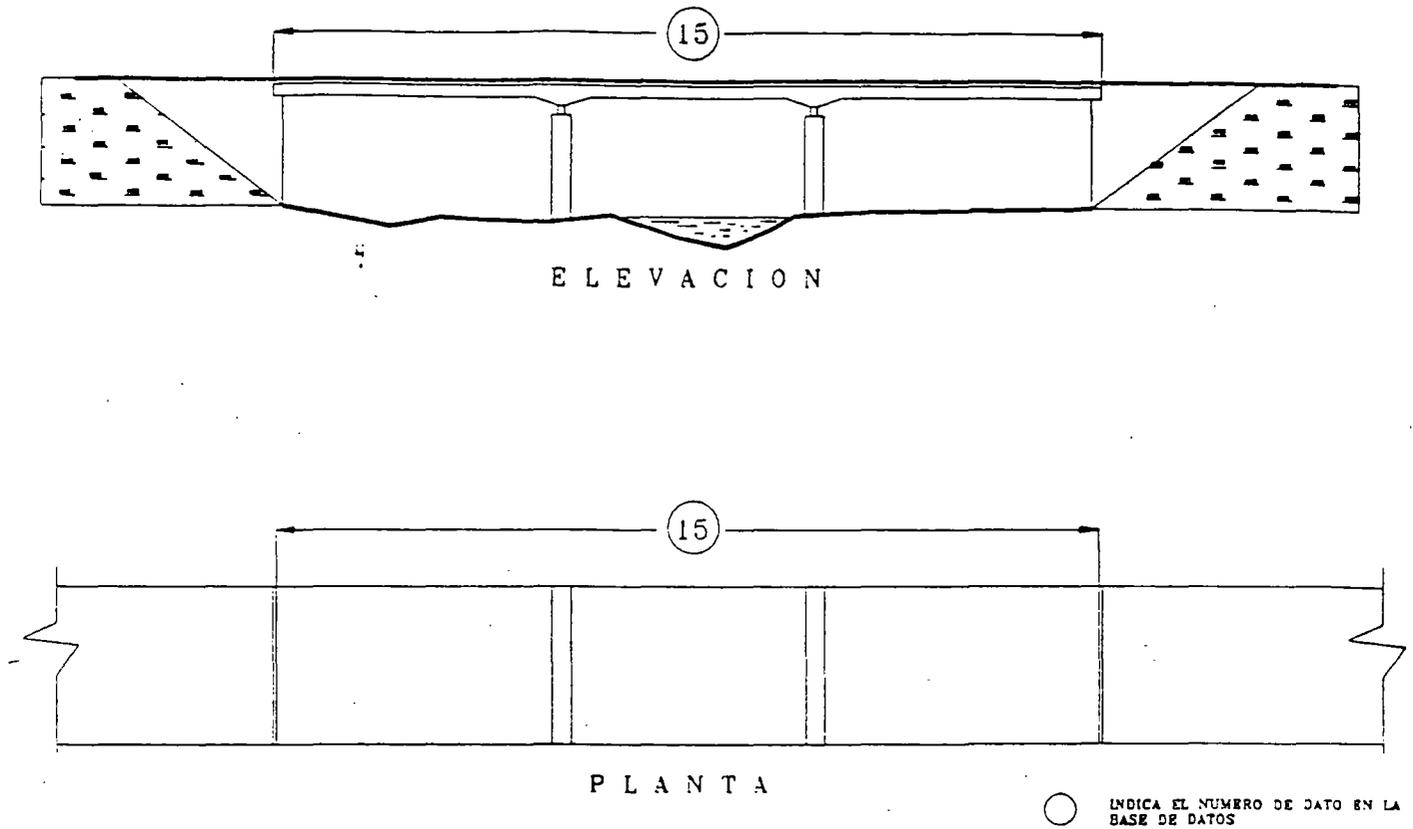


FIGURA 4.2.- Longitud del puente.

18.- ANCHO DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO (4 Dígitos)

En esta parte se registra, en metros, el ancho de la superficie de rodamiento del puente. (Ver figura 4.3).

19.- ANGULO DE ESVAIAJE (2 Dígitos)

El ángulo de esviaje se define de acuerdo con la figura 4.4. Para puentes que no sean esviados se deberá registrar un ángulo de 0° . Cuando la estructura está en una curva, o si el ángulo de esviaje varía por la misma razón, puede ser registrado el promedio de los ángulos. El código queda representado con dos dígitos. (Ver figura 4.4).

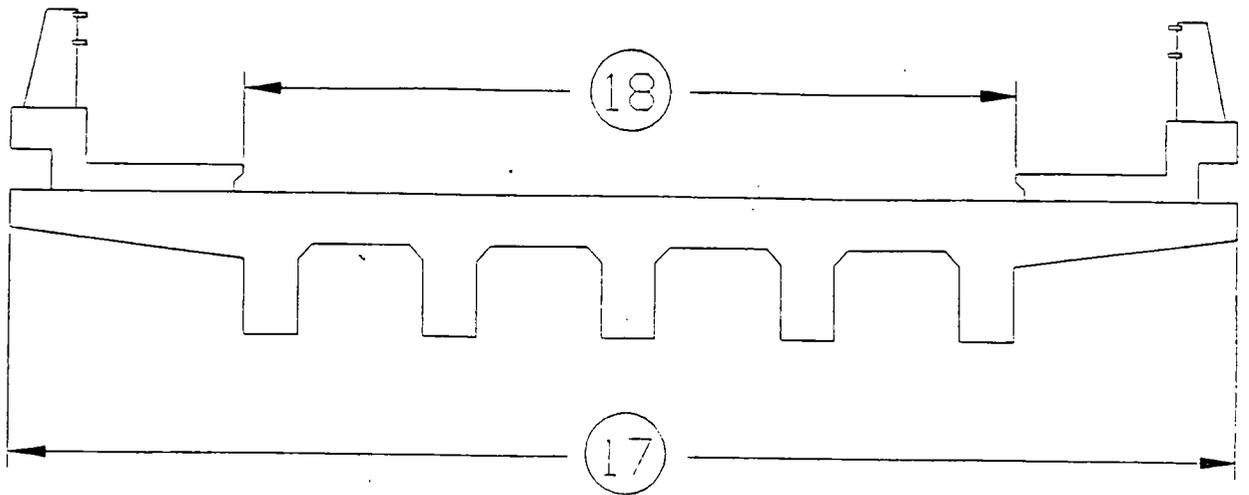


FIGURA 4.3.- Anchos de la superestructura.

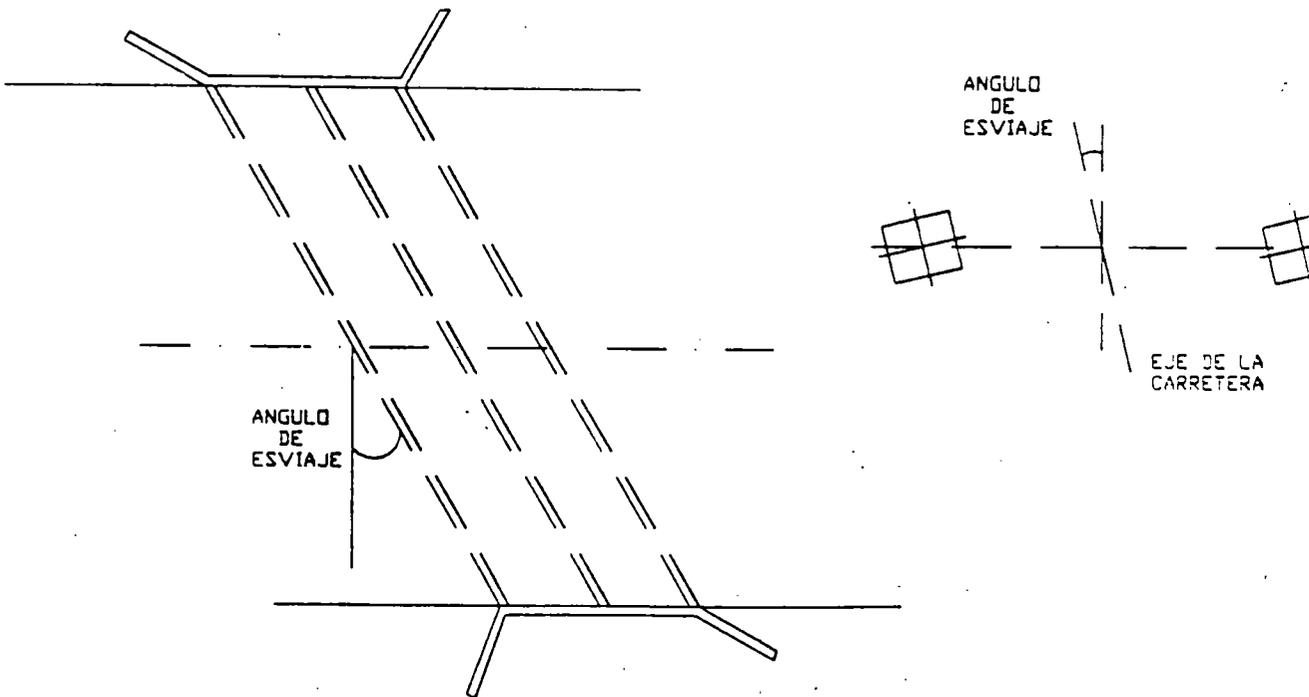


FIGURA 4.4.- Definición del ángulo de esviaje.

20.- TRAZO GEOMETRICO

En este campo se registra si el puente está en curva horizontal o vertical.

20a.- ALINEAMIENTO VERTICAL (1 Dígito)

- 1.- Tangente
- 2.- Curva en cresta
- 3.- Curva en columpio

20b.- ALINEAMIENTO HORIZONTAL (1 Dígito)

- 1.- Tangente
- 2.- Curva

21.- GALIBO VERTICAL SOBRE EL PUENTE (4 Dígitos)

La información que se registra en este apartado es el gálibo mínimo vertical que existe sobre el puente. Este galibo se puede deber al contraventeo superior en el caso de puentes de acero superiores, o bien a cualquier impedimento que exista. Cuatro dígitos representan la medida expresada en metros.

22.- GALIBO VERTICAL BAJO EL PUENTE (4 Dígitos)

En este campo se anotará el galibo inferior del puente, en metros. (Ver figura 4.5).

23.- GALIBO HORIZONTAL BAJO EL PUENTE (4 Dígitos)

En este campo se registrará la medida del galibo horizontal, expresada en metros. (Ver figura 4.5).

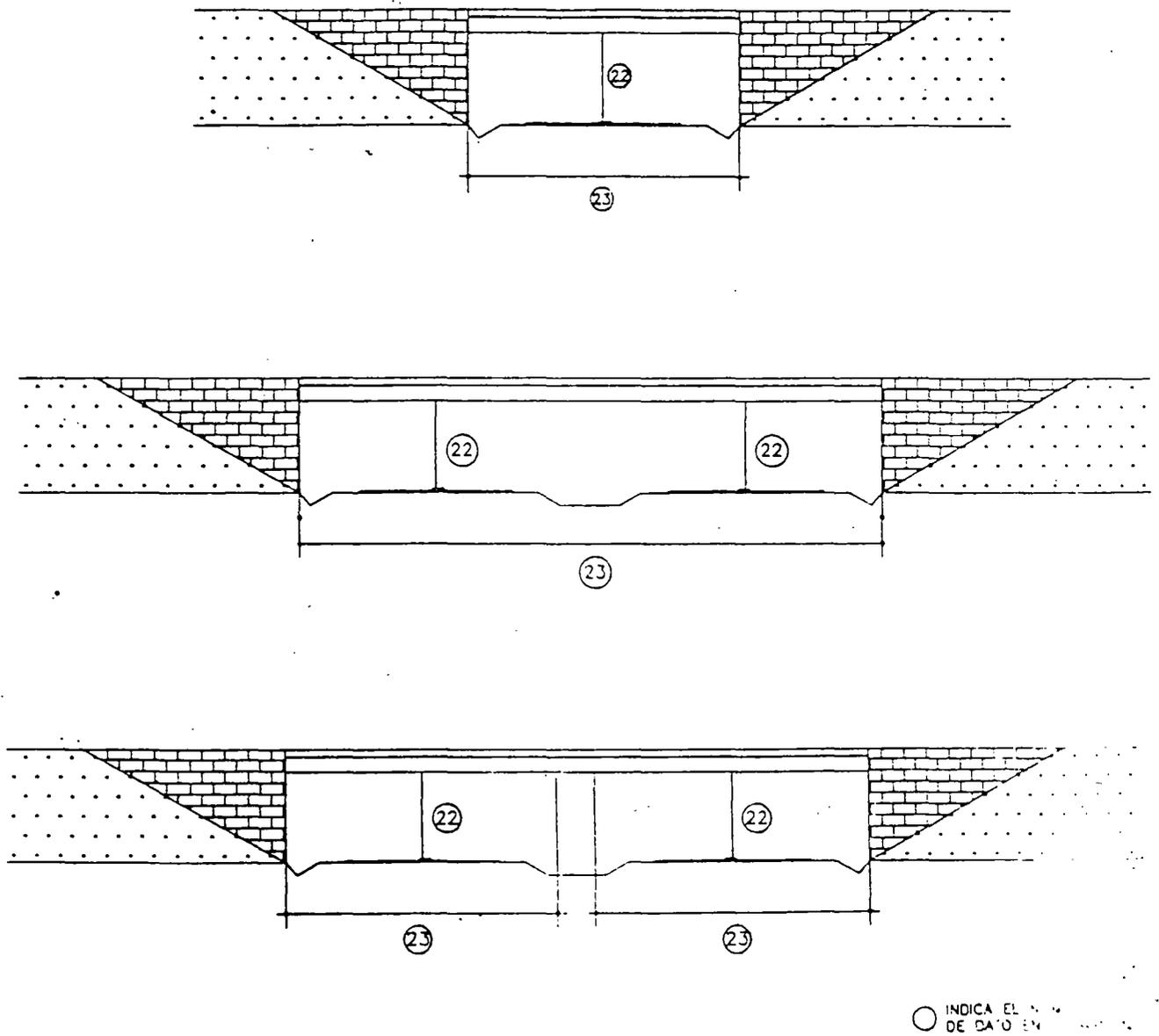


FIGURA 4.5.- Definición de gálibos.

4.4. Datos sobre la estructura

En esta parte se suministrará a la base de datos la información concerniente al tipo de estructura, al material empleado, al sistema de piso, el número de claros, el tipo de cimentación, la carga de diseño, etc., es decir, la información relacionada con el proyecto estructural.

24.- TIPO DE PUENTE

Este inciso se compone de un campo en el que se define el tipo de puente.

24a.- TIPO DE PUENTE (1 Dígito)

- 1.- Losa simplemente apoyada
- 2.- Superestructura isostática
- 3.- Superestructura continua
- 4.- Pórtico o marco rígido
- 5.- Armaduras
- 6.- Arco
- 7.- Colgante
- 8.- Atirantado
- 9.- Otro

25.- NUMERO DE CLAROS (3 Dígitos)

En este campo, se registra el número de claros con que cuenta la estructura.

26.- TIPO DE SUPERESTRUCTURA

Este inciso se compone de dos campos, el tipo de superestructura y el tipo de material.

26a.- TIPO DE SUPERESTRUCTURA

(1 Dígito)

- 1.- Losa plana
- 2.- Losa nervada
- 3.- Sistema a base de traveses y losa
- 4.- Vigas presforzadas
- 5.- Sistema de piso a base de armaduras horizontales
- 6.- Sección tipo cajón
- 7.- Otro

26b.- TIPO DE MATERIAL

(1 Dígito)

- 1.- Concreto reforzado
- 2.- Concreto presforzado
- 3.- Acero soldado
- 4.- Acero remachado
- 5.- Mampostería
- 6.- Mixto concreto reforzado y acero
- 7.- Mixto concreto presforzado y acero
- 8.- Otro

27.- TIPO DE SISTEMA DE PISO

(1 Dígito)

El sistema de piso proporciona la capacidad portante del sistema de cubierta. En este campo se registra el tipo de sistema de piso usado. Para esto se escogerá uno de los siguientes:

- 1.- Losa de concreto
- 2.- Concreto precolado
- 3.- Concreto presforzado transversalmente
- 4.- Placas de acero

- 5.- Rejilla
- 6.- Ortotrópico
- 7.- Otro

28.- TIPO DE SUPERFICIE DE RODAMIENTO (1 Dígito)

La superficie de rodamiento se refiere al piso para el tránsito de los vehículos que se coloca sobre la cara superior de la losa estructural. En este campo se registra el tipo de material utilizado en la superficie de rodamiento. Se escogerá uno de los siguientes:

- 1.- Concreto Hidráulico
- 2.- Mezcla Asfáltica
- 3.- Otros

29.- APOYOS EXTREMOS

En este campo se registra el tipo de apoyo en los extremos, el material con que está construido el cuerpo y también el de la corona.

29a.- Tipo de Apoyo (1 Dígito)

Este dígito debe de ser uno de los siguientes:

- 1.- Estribos
- 2.- Enterrados
- 3.- Con aleros
- 4.- En "U"
- 5.- Otro

29b.- Material del cuerpo (1 Dígito)

A este campo corresponde cualquiera de los números señalados a continuación:

- 1.- Mampostería
- 2.- Concreto
- 3.- Ladrillo
- 4.- Otros

29c.- Material de la Corona (1 Dígito)

A este campo corresponde uno de los siguientes:

- 1.- Concreto
- 2.- Inexistente

30.- APOYOS INTERMEDIOS

Las pilas son los apoyos intermedios y se clasifican según su tipo de remate, material del cuerpo y material del remate.

30a.- Tipo de Cuerpo (1 Dígito)

Este dígito debe de ser uno de los siguientes:

- 1.- Tradicional
- 2.- Rectangular
- 3.- Cilíndrico
- 4.- Sección constante
- 5.- Sección variable
- 6.- Otro tipo (describirlo)

30b.- Extremo final o remate (1 Dígito)

- 1.- Corona
- 2.- Cabezal en voladizo
- 3.- Otro tipo (describirlo)

30c.- Material del cuerpo (1 Dígito)

Este dígito indica el material del cuerpo.

- 1.- Mampostería
- 2.- Concreto

30d.- Material de la corona o cabezal (1 Dígito)

- 1.- Concreto
- 0.- Inexistente

31.- CIMENTACION (1 Dígito)

En este campo se señala el tipo de cimentación del puente y debe de ser alguno de los siguientes:

- 1.- Zapatas
- 2.- Pilas
- 3.- Pilotes
- 4.- Cilindros
- 5.- Mixta
- 6.- Desconocida
- 7.- Otro

32.- CARGA DE DISEÑO (1 Dígito)

En este campo se define la carga viva con que la estructura fue diseñada:

- 1.- H-10
- 2.- H-15
- 3.- HS-15
- 4.- H-20
- 5.- HS-20
- 6.- T3-S3
- 7.- T3-S2-R4
- 8.- Otro

33.- DISPOSITIVOS DE APOYO

En este campo se define el tipo de dispositivo de apoyo, tal como se muestra a continuación:

33a.- Dispositivo Móvil (1 Dígito)

- 1.- Mecedora de acero
- 2.- Mecedora de concreto
- 3.- Rodillos metálicos
- 4.- Neopreno
- 5.- Neopreno con acero y teflón
- 6.- Otro

33b.- Dispositivo Fijo (1 Dígito)

- 1.- Acero
- 2.- Plomo
- 3.- Neopreno
- 4.- Articulación
- 5.- Otro

34.- JUNTAS DE DILATACION (1 Dígito)

En este campo se define el tipo de junta de dilatación.

- 1.- Compriband
- 2.- Sikaflex
- 3.- Asfalto
- 4.- Neopreno
- 5.- Tapajunta de acero
- 6.- Lámina de cobre
- 7.- Inexistente
- 8.- Otro

4.5. Datos de operación

En este campo se registran los datos referentes a la operación de la estructura; es decir: el tráfico promedio diario; la distancia de desvío en caso de que el paso sea cerrado; si el puente está o no cerrado al tráfico y el tipo de administración.

35.- TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (6 Dígitos)

En este campo se registra el tráfico promedio diario.

36.- AÑO DEL TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (4 Dígitos)

Es de importancia registrar el año en que se estimó el tráfico promedio diario.

37.- LIMITACIONES DE TRAFICO

En este campo se anota si existe o no alguna limitación de tráfico.

38.- LONGITUD DE DESVIO EN CASO DE DAÑO (3 Dígitos)

En este campo se registra la distancia en kilómetros que se tenga que recorrer para encontrar otro paso, en caso de que el puente tenga que ser cerrado por daño o reparación.

39.- TIPO DE ADMINISTRACION (1 Dígito)

En este campo se especifica el tipo de administración con el que opera el puente.

- 1.- Cuota
- 2.- Libre.
- 3.- Consecionada.

4.6. Datos de la inspección de evaluación

Se almacenan los datos relacionados sobre los deterioros más sobresalientes en los diferentes elementos del puente. Los deterioros considerados son principalmente agrietamientos importantes, socavación, corrosión, desplomes y estado de los apoyos. También se anotará la fecha en que se realizó la última inspección, así como un reporte indicando la necesidad o no, de hacer alguna inspección más detallada o algún estudio especial.

40.- HUNDIMIENTOS (1 Dígito)

En este campo se registra si existe algún tipo de hundimiento. Como se trata de una inspección visual, se manejará una escala sencilla para la evaluación del daño, por lo que se deberá escoger alguno de los siguientes:

- 1.- Ligero
- 2.- Moderado
- 3.- Grave
- 4.- No se aprecia

41.- DESPLOMES (1 Dígito)

Igual que el punto anterior.

42.- FLECHAS (1 Dígito)

Igual que el punto anterior.

43.- SOCAVACION (1 Dígito)

Se registra en este campo el nivel de socavación que tiene el puente.

- 1.- Ligera
- 2.- Moderada
- 3.- Grave
- 4.- No se aprecia

44.- CAUCE DEL RIO (1 Dígito)

En este campo se define si existe alguna clase de obstrucción al cauce del río.
Se escogerá alguno de los siguientes valores:

- 1.- Obstruido ligeramente
- 2.- Obstruido moderadamente
- 3.- Obstrucción grave
- 4.- Sin obstrucción

45.- .CORROSION

(1 Dígito)

En este campo se registra cuál es la situación general del puente en cuanto a corrosión. Se escogerá alguno de los siguientes:

- 1.- Ligera
- 2.- Moderada
- 3.- Grave
- 4.- No se aprecia

46.- SEÑALAMIENTO QUE INDIQUE GALIBOS

(1 Dígito)

En este apartado se registra si existe señalamiento adecuado o no en relación a información sobre gálibos.

47.- SEÑALAMIENTO DE SEGURIDAD

(1 Dígito)

En este campo se registra si existe señalamiento adecuado o no en relación a la seguridad. Este señalamiento se refiere a la velocidad de los vehículos sobre el puente, si existe o no reducción en los carriles, etc.

48.- CONDICION DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO

(1 Dígito)

En este campo se registra la condición de la superficie de rodamiento. Se escoge alguno de los siguientes:

- 1.- Buena
- 2.- Regular
- 3.- Mala

49.- AGRIETAMIENTO DE LA SUPERFICIE

49a.- AGRIETAMIENTO EN ZONAS DE APOYO (1 Dígito)
(GRIETAS POR CORTANTE)

En este campo se registra si existe en algún elemento de soporte de la superestructura un agrietamiento importante. Se elegirá alguno de los siguientes:

- 1.- Ligero
- 2.- Moderado
- 3.- Grave
- 4.- No se aprecia

49b.- AGRIETAMIENTO AL CENTRO DEL CLARO (1 Dígito)
(GRIETAS POR FLEXION)

Se registra en este campo el agrietamiento en la zona central de los elementos de soporte de la superestructura. Se elegirá alguno de los siguientes:

- 1.- Ligero
- 2.- Moderado
- 3.- Grave
- 4.- No se aprecia

50.- JUNTAS DE EXPANSION (1 Dígito)

En este campo se registra el estado de las juntas de expansión. Se elige alguno de los siguientes:

- 1.- Buen estado
- 2.- Mal estado
- 3.- No existen

51.- DISPOSITIVOS DE APOYO

(1 Dígito)

En esta parte se registra el estado de los dispositivos de apoyo de acuerdo a lo siguiente:

- 1.- Buen estado
- 2.- Mal estado
- 3.- No existen

52.- DAÑO POR IMPACTO VEHICULAR POR DEFICIENCIA
EN GALIBO

(1 Dígito)

En esta parte se almacenan datos sobre el daño que en la superestructura provocan los vehículos por gálibo deficiente.

- 1.- Ligero
- 2.- Moderado
- 3.- Grave
- 4.- No se aprecia

53.- DRENAJE

(1 Dígito)

En este campo se registra el estado del drenaje de la superestructura.

- 1.- Bueno
- 2.- Regular
- 3.- Malo
- 4.- No existe

54.- DESCONCHAMIENTO EN LA SUPERESTRUCTURA (1 Dígito)

Se registra si existen desprendimientos importantes en el concreto, los cuales puedan desencadenar problemas tales como corrosión en el acero de refuerzo.

- 1.- Ligero
- 2.- Moderado
- 3.- Grave
- 4.- No se aprecia

55.- AGRIETAMIENTO EN APOYOS INTERMEDIOS (1 Dígito)

En este campo se almacena la información sobre el agrietamiento en los apoyos intermedios. Se escoge alguno de los siguientes:

- 1.- Ligero
- 2.- Moderado
- 3.- Grave
- 4.- No se aprecia

56.- AGRIETAMIENTO EN APOYOS EXTREMOS (1 Dígito)

En esta parte se registra el agrietamiento en la zona de apoyos extremos. Se escoge alguno de los siguientes:

- 1.- Ligero
- 2.- Moderado
- 3.- Grave
- 4.- No se aprecia

57.- DESCONCHAMIENTO EN PILAS O ESTRIBOS (1 Dígito)

Se registra si existen desprendimientos importantes en el concreto, los cuales puedan desencadenar problemas tales como corrosión en el acero de refuerzo.

- 1.- Ligero
- 2.- Moderado
- 3.- Grave
- 4.- No se aprecia

58.- PINTURA ANTICORROSIVA EN PUENTES DE ACERO (1 Dígito)

En este apartado se registra el estado de la pintura; es decir, el grado de protección que aún proporciona a la estructura. Se indicará mediante uno de los siguientes incisos:

- 1.- Adecuada
- 2.- Faltante
- 3.- Defectuosa

59.- CORROSION EN PUENTES DE ACERO (1 Dígito)

Se señala el grado de corrosión que presenta la estructura en general.

- 1.- Ligero
- 2.- Moderado
- 3.- Grave
- 4.- No se aprecia

60.- ELEMENTOS ROTOS EN PUENTES DE ACERO (1 Dígito)

Mediante un dígito se indica si existen elementos rotos o no:

- 1.- Sí
- 2.- No

61.- ELEMENTOS FALTANTES EN PUENTES DE ACERO (1 Dígito)

Se denota mediante un dígito la falta de elementos en la estructura:

- 1.- Sí
- 2.- No

62.- DUCTOS O CABLES EXPUESTOS EN PUENTES DE CONCRETO PRESFORZADO (1 Dígito)

Este apartado expresará con un dígito el estado de exposición de ductos o cables:

- 1.- Sí
- 2.- No

63.- ANCLAJE DE PREESFUERZO EN PUENTES DE CONCRETO PREESFORZADO (1 Dígito)

Igual que en el anterior apartado, se indica si existen o no anclajes sueltos:

- 1.- Sí
- 2.- No

4.7. Datos sobre la condición del puente

En esta parte se almacena la información referente a la calificación dada en la inspección de evaluación. Las calificaciones que se dan a cada parte del puente (superficie de rodamiento, superestructura, subestructura y el estado de socavación), son las indicadas en la tabla 3.1.

64.- CALIFICACION GENERAL DEL PUENTE

64a.- SUPERFICIE DE RODAMIENTO (1 Dígito)

La calificación se indica mediante un dígito el cual puede ser uno de los siguientes:

- 5.- Condición excelente
- 4.- Condición buena
- 3.- Condición aceptable
- 2.- Condición regular
- 1.- Condición mala o defectuosa
- 0.- Condición de falla

64b.- SUPERESTRUCTURA (1 Dígito)

Igual que el apartado anterior.

64c.- SUBESTRUCTURA (1 Dígito)

Igual que el apartado anterior.

64d.- SOCAVACION (1 Dígito)

Igual que el apartado anterior.

65.- RECOMENDACIONES GENERALES

A juicio del jefe de brigada se darán recomendaciones generales respecto a:

65a.- INSPECCIONES (1 Dígito)

- 1.- Inspección de evaluación a corto plazo
(máximo 12 meses)
- 2.- Inspección de evaluación a mediano plazo
(máximo 2 años)
- 3.- Inspección de evaluación a largo plazo
(máximo 3 años)
- 4.- Inspección detallada
- 5.- Otro (Indicar en comentarios)

65b.- SUPERFICIE DE RODAMIENTO (1 Dígito)

- 1.- Mantenimiento menor
- 2.- Mantenimiento mayor
- 3.- Reparación
- 4.- Substitución
- 5.- Pruebas especiales
- 6.- Otro

65c.- SUPERESTRUCTURA (1 Dígito)

Igual que el apartado anterior.

65d.- SUBESTRUCTURA

(1 Dígito)

Igual que el apartado anterior.

4.8. Datos de pruebas especiales

En esta parte se almacenan los resultados obtenidos de pruebas especiales, tales como pruebas de carga, pruebas dinámicas, etc.

5. Conclusiones

Se plantea la necesidad de implantar un sistema de administración de puentes, (SIAP), para poder establecer un procedimiento sistemático de evaluación y reconocimiento de los requerimientos en los puentes, así como el de establecer una serie de actividades administrativas encaminadas a normalizar el proceso general de conservación.

El sistema de administración de puentes es la integración de un conjunto de órganos administrativos, normas y procedimientos que tienen por objeto planear, ejecutar y supervisar las acciones de atención a los puentes de una red, después de su puesta en servicio tomando en cuenta la operación integral del sistema carretero y sus efectos en la vida económica de una región o de un país.

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

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

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

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

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

En resumen, la implantación en México de un sistema de administración de puentes se hace necesaria, además de que dicha implantación no requiere de grandes desembolsos económicos ni de una gran infraestructura, debido principalmente a los elementos ya existentes dentro de los organismos dedicados a la administración de puentes y que la instauración deberá ser llevada en etapas, iniciando la primera de ellas, en la red federal de carreteras, extendiéndose más adelante a las demás carreteras de la red en coordinación con los gobiernos de cada estado.

6. Bibliografía

- 1.- Demarre, Michel. "A Basic Guide for Bridge Management "The World Bank. Policy Planning and Research Staff. Infrastructure and Urban Development Department. Report INU28, September 1988.
- 2.- Galindo Solórzano, Amílcar. "Criterios para la Evaluación de la Capacidad de Puentes Existentes". Cd. de México, 10 de Agosto de 1989.
- 3.- Galindo Solórzano, Amílcar. "Conservación de Puentes. Curso Internacional de Conservación de Carreteras". Instituto Mexicano del Transporte. San Fandila, Qro., México. Septiembre de 1991.
- 4.- Jiang Yi and Sinha C., Kumares. " Dynamic Optimization Model for Bridge Management System ". Transportation Research Record 1211; 1989, p.p. 92 - 100.
- 5.- O'Connor, S., Daniel and Hyman, W. A. " Bridge Management System. Demostration Proyect No. 71 " Washington DC : U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. October 1989.
- 6.- Fuentes Zenón, Arturo. "El pensamiento Sistémico; Caracterización y Principales Corrientes". Cuadernos de Planeación y Sistemas, No. 3. Seminario y Taller de Metodología. Departamento de Ingeniería de Sistemas, División de Estudios de Posgrado. Facultad de Ingeniería, U. N. A. M., 1990.
- 7.- Fuentes Zenón, Arturo. " El Enfoque de Sistemas en la Solución de Problemas; La Elaboración del Modelo Conceptual ". Cuadernos de Planeación y Sistemas, No. 4. Seminario y Taller de Metodología. Departamento de Ingeniería de Sistemas, División de Posgrado. Facultad de Ingeniería, U. N. A. M., Mayo de 1991.
- 8.- Ackoff Russell, L. " Un Concepto de Planeación de Empresas ". Editorial LIMUSA, Décima Reimpresión, 1987.
- 9.- Fuentes Zenón, A. y Sánchez Guerrero, G. " Metodología de la Planeación Normativa". Cuadernos de Planeación y Sistemas, No. 3. Seminario y Taller de Metodología, Departamento de Ingeniería de

de Sistemas, División de Estudios de Posgrado. Facultad de Ingeniería, U. N. A. M., 3ª Edición; Mayo 1991.

- 10.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. " Manual para Inspección y Conservación de Puentes, Tomo II "Subsecretaría de Infraestructura. Dirección General de Servicios Técnicos. México, D. F. 1980.
- 11.- Galindo S., Amílcar y Barousse Moreno, M. " Sistema de Administración de Puentes ". Instituto Mexicano del Transporte. San Fandila, Qro., México. Octubre 1991.
- 12.- Johnston W., David and Zia, Paul. " Levels of Service System for Bridge Evaluation ". Transportation Research Record 962; p.p. 1 - 8, 1984.
- 13.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Dirección General de Autotransporte Federal (DGAF). " Capítulo XI del Reglamento del Capítulo de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación que trata del Peso y otras Características de los Vehículos". Primera Edición. Editada e Impresa por la DGAF de la SCT. 1981.
- 14.- Fanous Fouad, Greimann, L., Petermeier, D. and Yuan, Zhongsheng. Interim Report. " Bridge Management System for the States of Iowa, Nebraska, Kansas and Missouri ". Midwest Transportation Center. Mayo. 1990.
- 15.- Jiang Yi and Sinha C., Kumares. " Bridge Service Life Prediction Model Using the Markov Chain". Transportation Research Record 1223; 1989.
- 16.- Textos de la Dirección General de Carreteras - MOPU. " Inspecciones Principales de Puentes de Carretera ". España, Marzo 1988.

- 17.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Subsecretaría de Infraestructura. Dirección General de Servicios Técnicos. " Formato para Inspección de Puentes y Pasos a Desnivel "; 1985
- 18.- Shirolé M. A. Arunprakash. " Management of Bridge Maintenance, Repair and Rehabilitation - a City Perspective ". Transportation Research Record 962. p.p 9 - 13; 1984.
- 19.- Narasimhan Ravi, Cruise F., James, Strautman P. Andre, and Argialas P., Demetri. " Computerized Data Base Management and Analysis System for Field-Collected Scour Data ". Transportation Research Record 1279. p.p. 95 - 102; 1990.
- 20.- Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridge. Washington, D.C. U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1988.
- 21.- Bridge Management Work Group. " The Pennsylvania Bridge Management System ", Final Report, Harrisburg, PA: Pennsylvania Department of Transportation Bureau of Bridge and Roadway Technology, 1987.
- 22.- James W. Ray, Stukhart George, García-Díaz Alberto, Bligh Roger and Sobanjo John. " Analytical Approach to the Development of a Bridge Management System ". Transportation Research Record 1290, Volumen II. Paper presented at the Third Bridge Engineering Conference. March 10 - 13 1991; Denver, Colorado. USA.
- 23.- Shirolé M. A., Winkler J. W., and Hill J. J. " Bridge Management Systems - State of the Art ". Transportation Research Record 1290, Volumen II. Papers Presented at the Third Bridge Engineering Conference. March 10 - 13 1991; Denver, Colorado. USA.
- 24.- Babaei Khossrow . " Development of a Bridge Deck Management System for the Washington State Department of Transportation ". Final Report. Washington State Transportation Center, University of Washington Seattle March 1988.

- 25.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. " La Construcción de Puentes en México ". 1985.
- 26.- Secretaría de Obras Públicas. Dirección General de Proyectos y Laboratorios. Departamento Técnico. Sección de Especificaciones. " Especificaciones de Puentes para Caminos". México, D. F. Diciembre de 1960.
- 27.- Cárdenas de la Peña Enrique. "Puente Coatzacoalcos II" Secretaría de Comunicaciones y Transportes. 1986
- 28.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. " Anuario Estadístico 1989 ". Diciembre de 1990.
- 29.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. " Manual Estadístico del Sector Transporte ". Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, Méx. 1989.
- 30.- Petróleos Mexicanos. " Atlas de Carreteras y Ciudades Turísticas ". Subdirección Técnica Administrativa. Gerencia de Información y Relaciones Públicas. 1988.
- 31.- Mendoza A. y Cadena R. A. " Estudio de Pesos y Dimensiones ". Instituto Mexicano del Transporte'. Reporte en elaboración. 1991
- 32.- Asociación Técnica de Carreteras. " Conservación, Rehabilitación y Gestión de Puentes ". I Simposio Nacional. Madrid, España; 18 al 20 de junio de 1991.
- 33.- Zavaleta Trujeque, Alonso " Sistema de Administración de Puentes ". Tesis de Maestría en Transporte UNAM. Instituto Mexicano del Transporte. 1992.

Apendice A

FORMATO DE INVENTARIO

Jefe de brigada _____

Fecha /__/_/___/___/
d m a

Número de puente(4) _____

Nombre del puente(5) _____

Estado Federativo(1) _____

Nombre de la localidad(2) _____

DATOS DE LA CARRETERA

RUTA SOBRE EL PUENTE

Origen(3a) _____ Destino(3b) _____

Origen tramo(3c) _____ Destino tramo(3d) _____

Kilometraje al centro del puente(10) _____ Número de la carretera(3e) _____

Origen del cadenamiento(11) _____

Coordenadas geográficas al centro del puente Latitud(9a) _____ Longitud(9a) _____

Tipo de ruta(3f) _____ Nivel de servicio(3g) _____

RUTAS BAJO EL PUENTE

1.- Tipo de ruta(13a) _____ Nivel de servicio(13b) _____

2.- Tipo de ruta _____ Nivel de servicio _____

3.- Tipo de ruta _____ Nivel de servicio _____

TIPO DE RUTA

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1.- Carretera Federal | 6.- Ferrocarril |
| 2.- Autopista | 7.- Vía Pluvial, río |
| 3.- Carretera Estatal | 8.- Barranca |
| 4.- Camino Rural | 9.- Otro |
| 5.- Calle Urbana | |

NIVEL DE SERVICIO

- 1.- Troncal
- 2.- Alimentador
- 3.- Rural
- 4.- Otro

DATOS GENERALES DEL PUENTE

Año de construcción(6) _____ Significado histórico(12) Sí _____

No _____

Nombre del constructor(7) _____

Limitaciones de tráfico(37) Sí _____ Tráfico promedio diario anual(35) _____

No _____ Año(36) _____

Longitud de desvío(38) _____ (Km) Tipo de administración(39) _____

1.- Cuota 2.- Libre

Historial de reparaciones

AÑO(8a)

CONSTRUCTOR(8b)

TIPO DE REPARACION(8c)

| | | |
|-------|-------|-------|
| _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | _____ |

Tipo de reparación:

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| 1.- Mantenimiento menor | 5.- Reconstrucción |
| 2.- Mantenimiento mayor | 6.- Ampliación |
| 3.- Reparación menor | 7.- Reforzamiento |
| 4.- Reparación mayor | |

DATOS GEOMETRICOS

Longitud del puente(14) _____ metros

Longitud del máximo claro(15) _____ metros

Ancho total de la superestructura(16) _____ metros

Ancho de la superficie de rodamiento(17) _____ metros

Angulo de esviaje (según km creciente)(19) _____ grados

Trazo geométrico Planta(20a) _____ Elevación(20b) _____

- 1.- Tangente
2.- Curva

Gálibo vertical sobre el puente(21) _____ metros

Gálibo vertical bajo el puente(22) _____ metros

Gálibo horizontal bajo el puente(23) _____ metros

Sección de la carretera:

Entrada

Salida

Corona(14a1) _____ (mts)

Corona(14b1) _____ (mts)

Carpeta(14a2) _____ (mts)

Carpeta(14b2) _____ (mts)

Camellón(14a3) _____ (mts)

Camellón(14b3) _____ (mts)

DATOS ESTRUCTURALES

Tipo de puente(24) _____

Número de claros(25) _____

TIPO DE PUENTE

- | | |
|--------------------------------|----------------|
| 1.- Losa simplemente apoyada | 6.- Arco |
| 2.- Superestructura isostática | 7.- Colgante |
| 3.- Superestructura continua | 8.- Atirantado |
| 4.- Pórtico o marco rígido | 9.- Otro |
| 5.- Armaduras | |

Tipo de superficie de rodamiento(28) _____

- 1.- Concreto hidráulico 2.- Mezcla asfáltica 3.- Otro

Tipo de superestructura(26a) _____

- 1.- Losa
- 2.- Losa nervada
- 3.- Sistema a base de trabes y losas
- 4.- Vigas preesforzadas
- 5.- Sistema de piso a base de armaduras horizontales
- 6.- Sección tipo cajón.

Material(26b) _____

- 1.- Concreto reforzado
- 2.- Concreto presforzado
- 3.- Acero soldado
- 4.- Acero remachado
- 5.- Mampostería
- 6.- Mixto concreto reforzado y acero
- 7.- Mixto concreto presforzado y acero
- 8.- Otro

Tipo de sistema de piso(27) _____

- 1.- Losa de concreto
- 2.- Concreto precolado
- 3.- Concreto preesforzado transversalmente
- 4.- Placas de acero
- 5.- Rejilla
- 6.- Ortotróico
- 7.- Otro

APOYOS EXTREMOS**Tipo(29a)** _____

- 1.- Estribos
- 2.- Enterrados
- 3.- Aleros
- 4.- en "U"
- 5.- Otro

Material del cuerpo(29b) _____

- 1.- Concreto
- 2.- Inexistente
- 3.- Otro

Material de la corona(29c) _____

- 1.- Mampostería
- 2.- Concreto
- 3.- Ladnlo
- 4.- Otro

APOYOS INTERMEDIOS**Tipo(30a)** _____

- 1.- Tradicional
- 2.- Rectangular
- 3.- Cilíndrico
- 4.- Sección constante
- 5.- Sección variable
- 6.- Otro

Remate(30b) _____

- 1.- Corona
- 2.- Cabezal en voladizo
- 3.- otro

Material del cuerpo(30c) _____

- 1.- Mampostería
- 2.- Concreto
- 3.- otro

Material de la corona(30d) _____

- 1.- Concreto
- 2.- Inexistente

Cimentación(31) _____

- 1.- Zapatas
- 2.- Pilotes
- 3.- Cilindros
- 4.- Mixta
- 5.- otro

Carga de diseño(32) _____

- 1.- H-10
- 2.- H-15
- 3.- HS-15
- 4.- H-20
- 5.- HS-20
- 6.- T3-S3
- 7.- T3-S2-R4
- 8.- Otro

DISPOSITIVOS DE APOYO**Tipo de apoyo móvil(33a)** _____

- 1.- Mecedora de acero
- 2.- Mecedora de concreto
- 3.- Rodillos metálicos
- 4.- Neopreno
- 5.- Neopreno con acero y teflón
- 6.- Otro

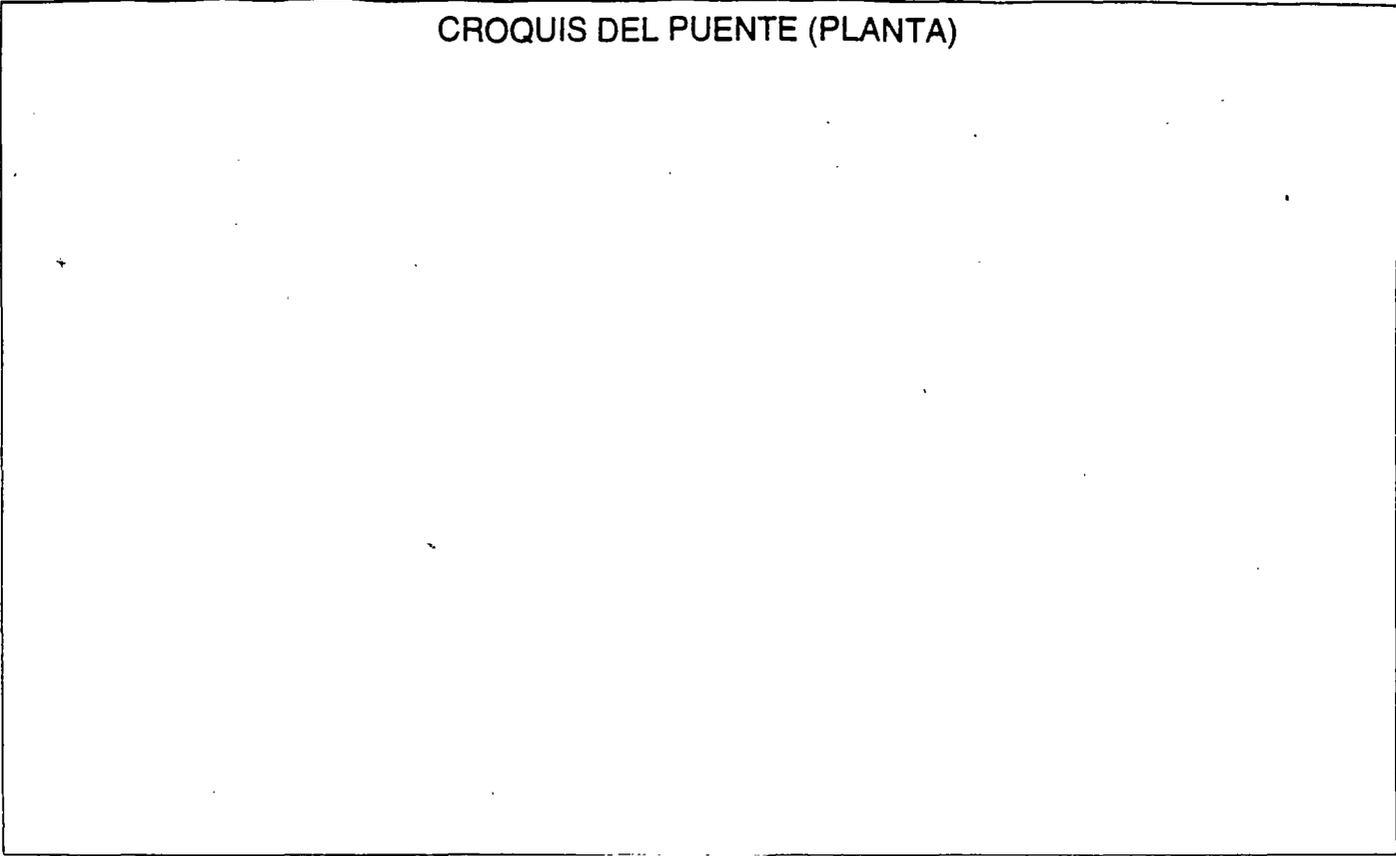
Tipo de apoyo fijo(33b) _____

- 1.- Acero
- 2.- Plomo
- 3.- Neopreno
- 4.- Articulación
- 5.- Otro

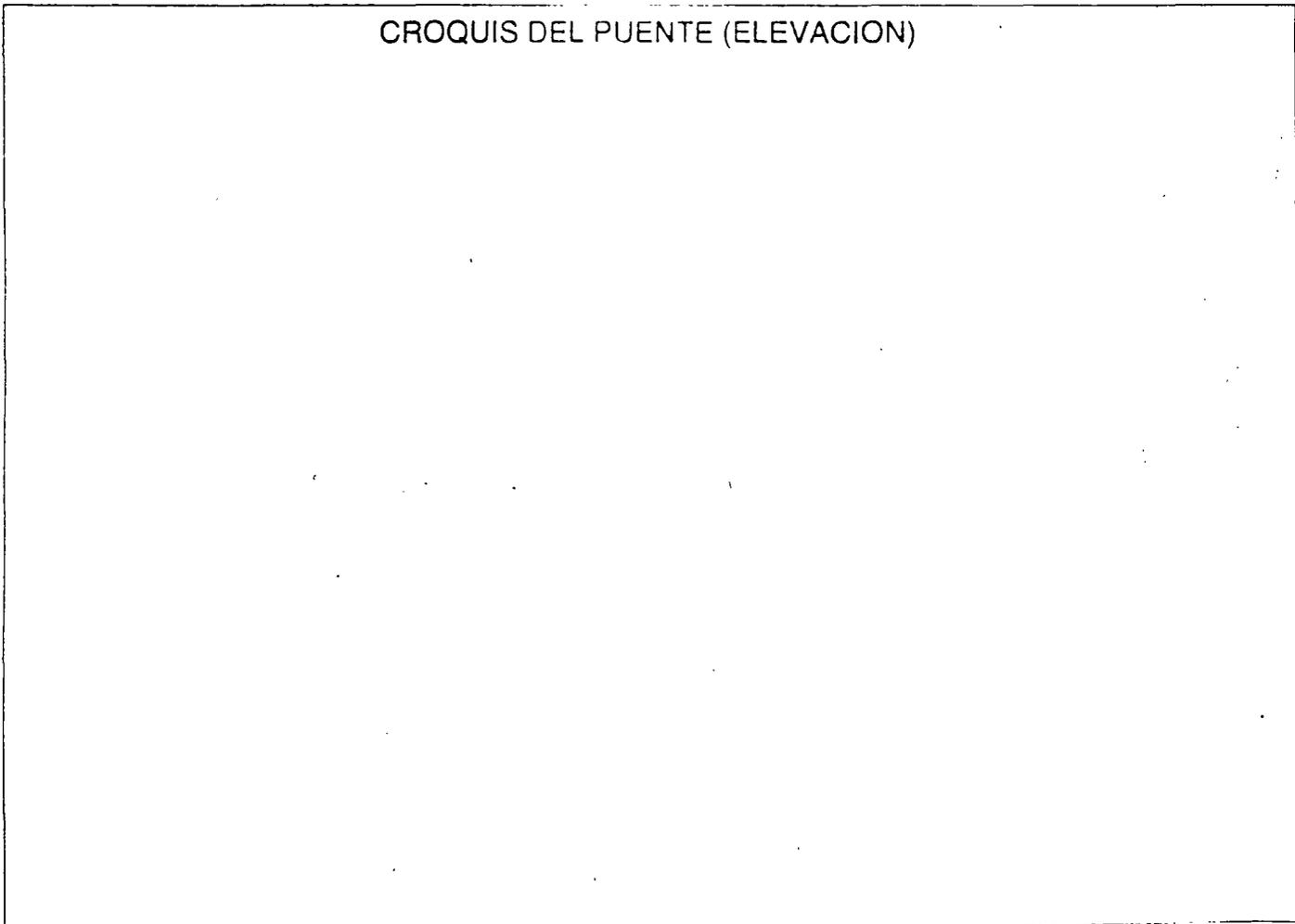
Junta de dilatación(34) _____

- 1.- Compriband
- 2.- Sika flex
- 3.- Asfalto
- 4.- Neopreno
- 5.- Tapajunta de acero
- 6.- Lámina de cobre
- 7.- Inexistente
- 8.- Otro

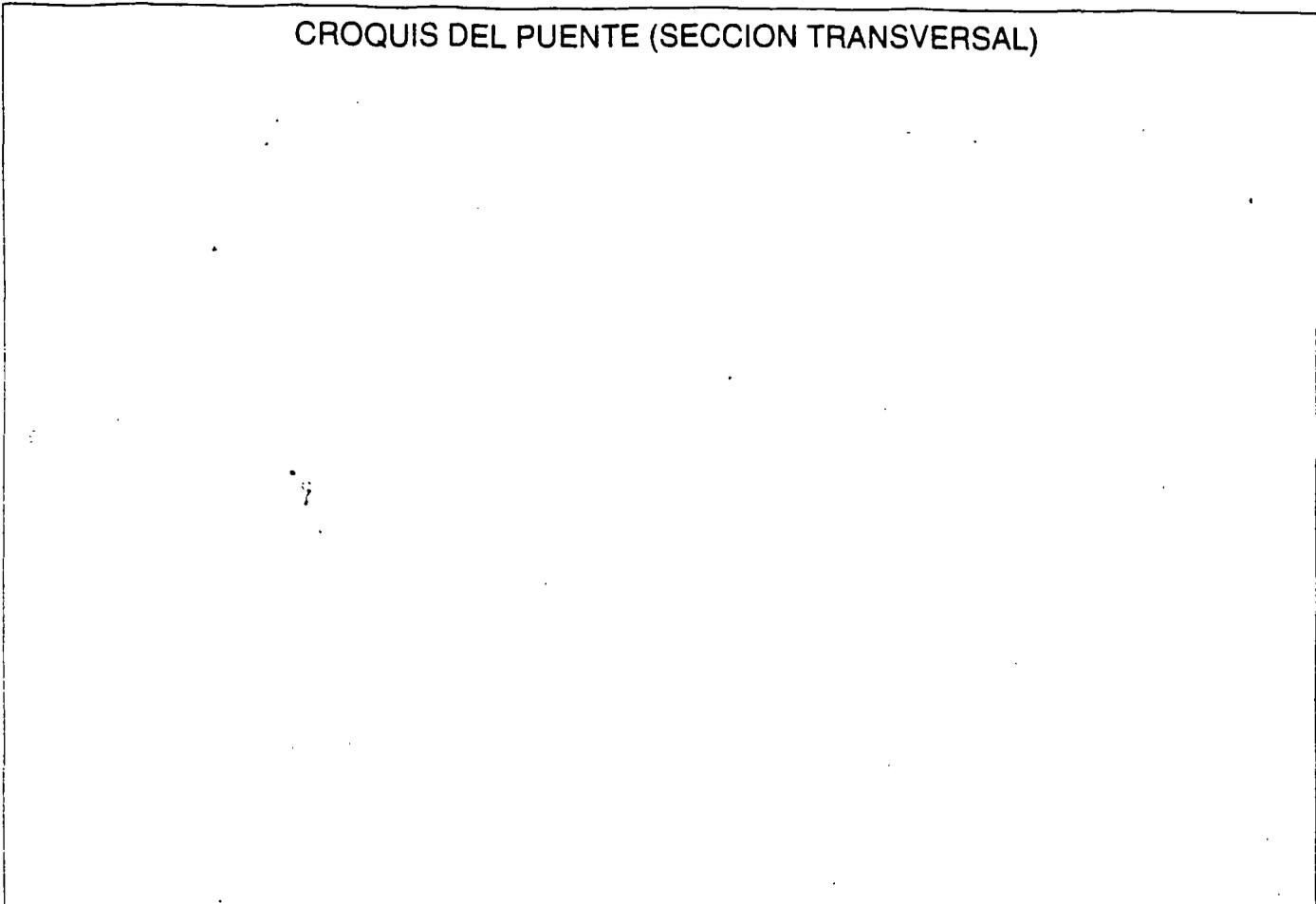
CROQUIS DEL PUENTE (PLANTA)



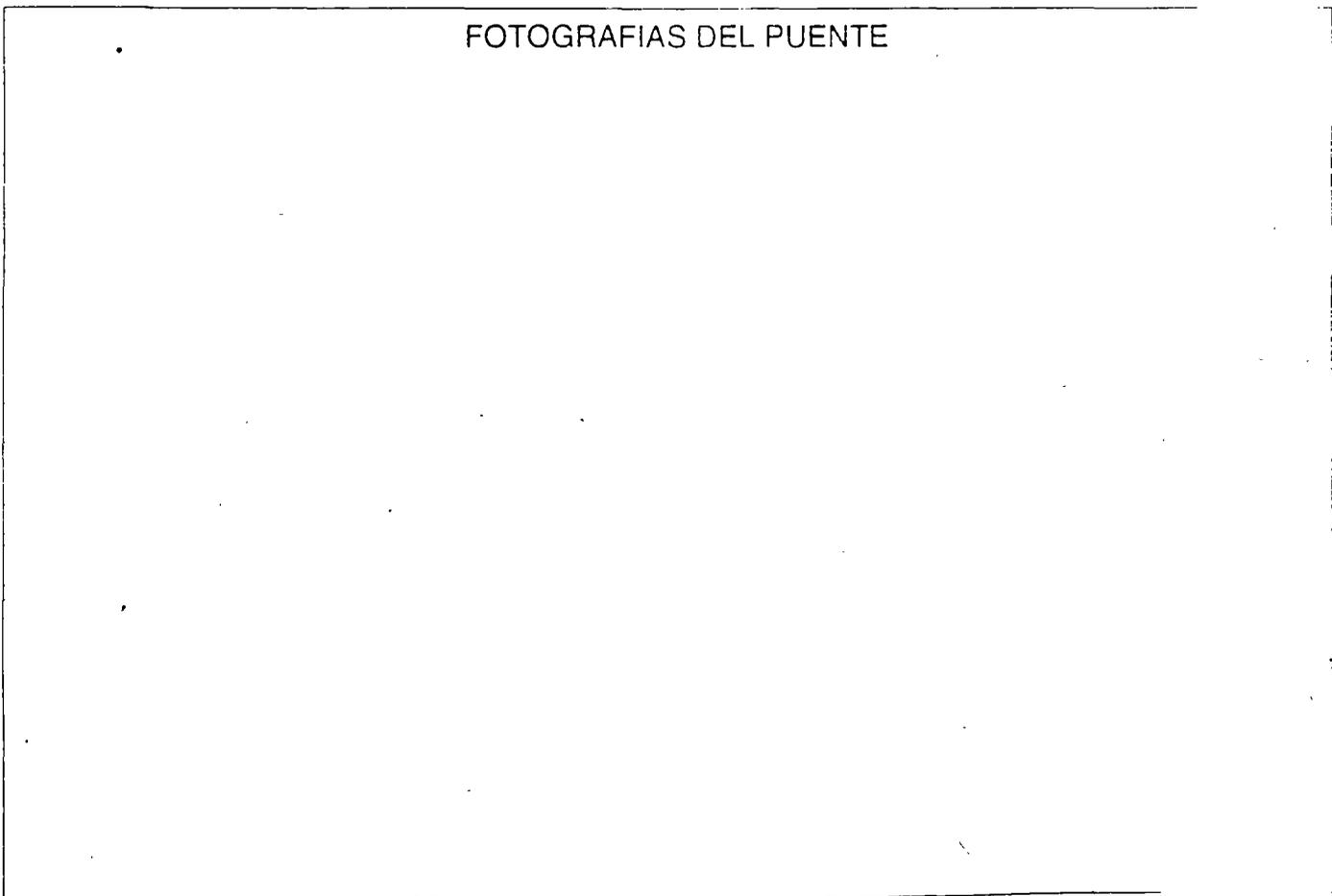
CROQUIS DEL PUENTE (ELEVACION)



CROQUIS DEL PUENTE (SECCION TRANSVERSAL)



FOTOGRAFIAS DEL PUENTE



FORMATO DE INSPECCION DE EVALUACION

Jefe de brigada _____

Fecha /__/_/___/
d m a

Número de puente(4) _____

Nombre del puente(5) _____

Estado Federativo(1) _____

Nombre de la localidad(2) _____

CONDICION GENERAL DEL PUENTE

Hundimientos(40) _____ Desplomes(41) _____ Flechas(42) _____
1.- Ligeros 2.- Moderados 3.- Graves 4.- No se aprecian

Socavación(43) _____ Corrosión(45) _____
1.- Ligeros 2.- Moderados 3.- Graves 4.- No se aprecian

Cauce del río(44) _____
1.- Obstruido totalmente 3.- Sin obstrucción
2.- Obstruido parcialmente 4.- No existe
3.- Obstruido en parte

Señalamiento que indique gálibos(46) _____ Señalamiento de seguridad(47) _____
1.- Si existe 2.- No existe

Comentarios _____

SUPERFICIE DE RODAMIENTO

Condición(48) _____
1.- Buena 2.- Regular 3.- Mala

Comentarios _____

SUPERESTRUCTURA

Agrietamiento en zona de apoyos (grietas de cortante)(49a) _____

1.- Ligeros 2.- Moderados

Agrietamiento al centro del claro (grietas de flexión)(49b) _____

3.- Graves 4.- No se aprecian

Juntas de expansión(50) _____

1.- Buen estado 2.- Mal estado 3.- No existen

Dispositivos de apoyo(51) _____

1.- Buen estado 2.- Mal estado 3.- No existen

Daño por impacto vehicular por deficiencia en gálibo(52) _____

1.- Ligeros 2.- Moderados 3.- Graves 4.- No se aprecian

Drenaje(53) _____

1.- Buen funcionamiento 2.- Regular 3.- Mal 4.- No existe

Desconchamientos en la superestructura(54) _____

1.- Ligeros 2.- Moderados 3.- Graves 4.- No se aprecian

Comentarios _____

SUBESTRUCTURA

Agrietamiento en pilas(55) _____

1.- Ligeros 2.- Moderados

Agrietamiento en estribos(56) _____

3.- Graves 4.- No se aprecian

Desconchamientos en pilas o estribos(57) _____

1.- Ligeros 2.- Moderados 3.- Graves 4.- No se aprecian

Comentarios _____

CALIFICACION GENERAL DEL PUENTE

Superficie de Rodamiento(64a) _____

Superestructura(64b) _____

Subestructura(64c) _____

Socavación(64d) _____

CALIFICACION

- 5.- Condición excelente
- 4.- Condición buena
- 3.- Condición aceptable
- 2.- Condición regular
- 1.- Condición sena
- 0.- Condición de falla

Comentarios _____

RECOMENDACIONES GENERALES

Inspecciones(65a) _____

- 1.- Evaluación a corto plazo (máximo 12 meses)
- 2.- Evaluación a mediano plazo (máximo 2 años)
- 3.- Evaluación a largo plazo (máximo 3 años)

Superficie de Rodamiento(65b) _____

Superestructura(65c) _____

- 1.- Mantenimiento menor
- 2.- Mantenimiento mayor
- 3.- Reparación

Subestructura(65d) _____

- 1.- Sustitución
- 2.- Obras especiales
- 3.- Otro

Comentarios _____

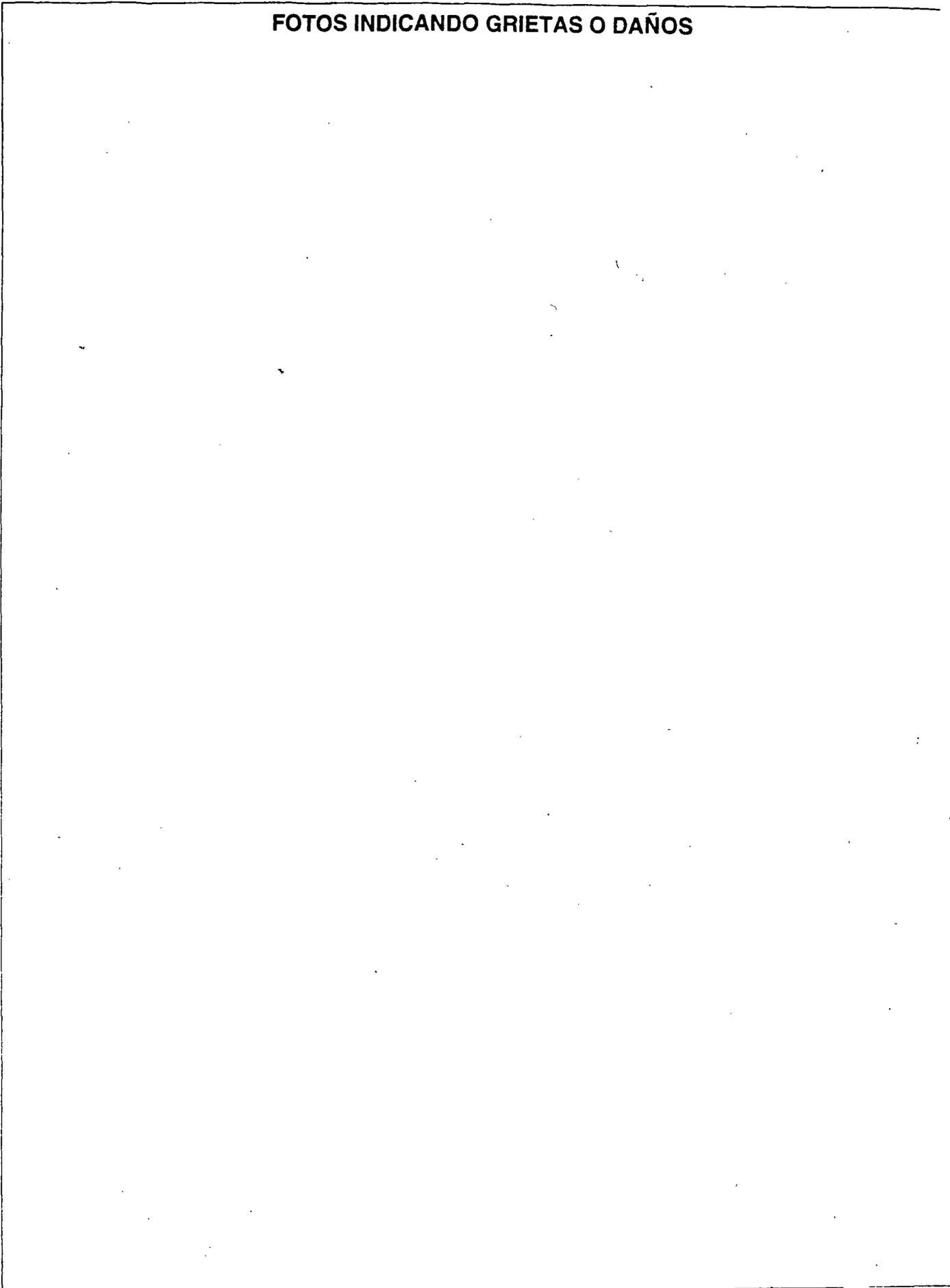
Cualquier respuesta no conocida déjese en blanco

Los números entre parentesis es el número de ítem del manual

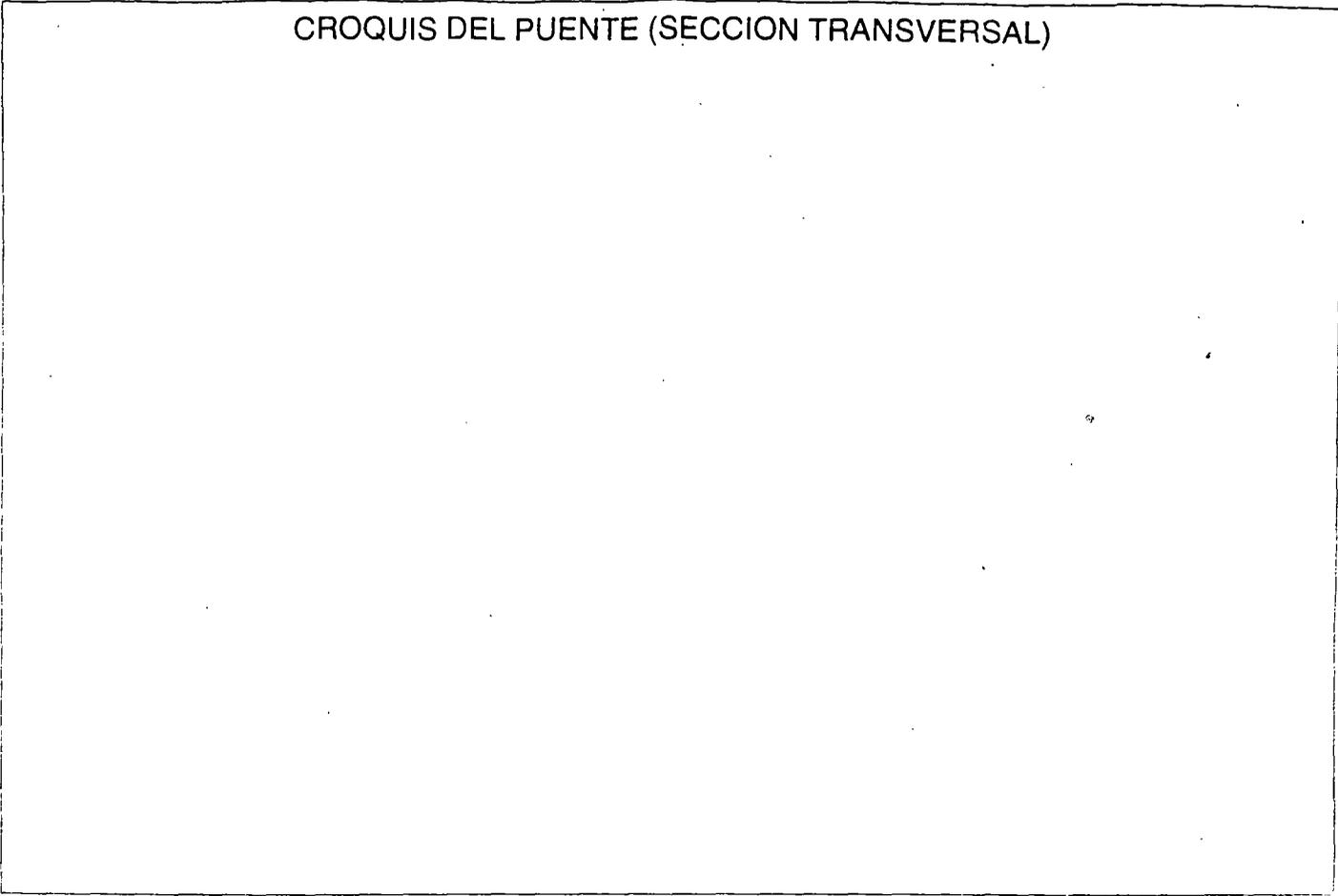
CROQUIS INDICANDO GRIETAS O DAÑOS

7

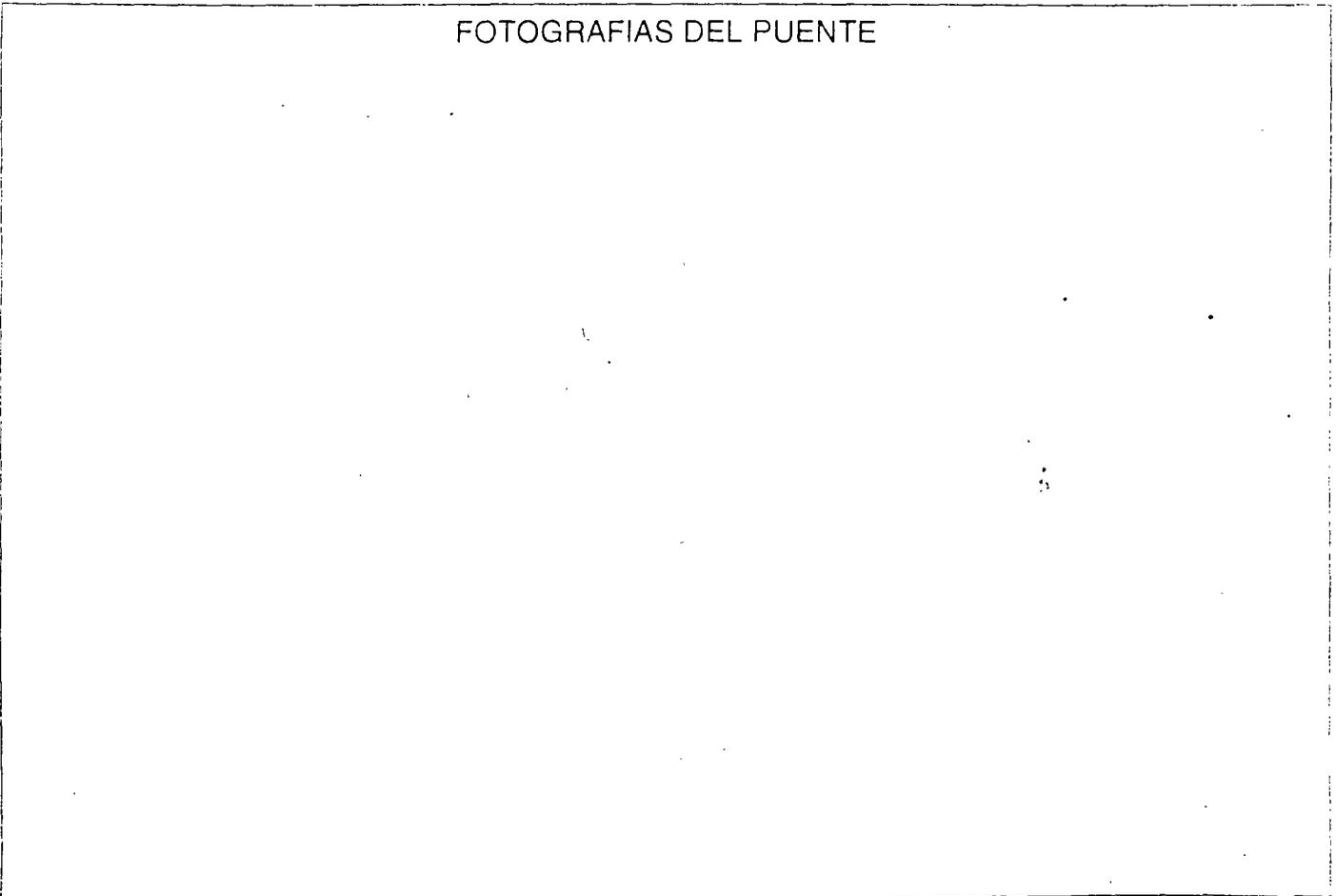
FOTOS INDICANDO GRIETAS O DAÑOS



CROQUIS DEL PUENTE (SECCION TRANSVERSAL)



FOTOGRAFIAS DEL PUENTE



FORMATO DE INSPECCION DE EVALUACION

Jefe de brigada _____

Fecha /__/_/___/
d m a

Número de puente(4) _____

Nombre del puente(5) _____

Estado Federativo(1) _____

Nombre de la localidad(2) _____

CONDICION GENERAL DEL PUENTE

Hundimientos(40) _____ Desplomes(41) _____ Flechas(42) _____

1.- Ligeros 2.- Moderados 3.- Graves 4.- No se aprecian

Socavación(43) _____ Corrosión(45) _____

1.- Ligeros 2.- Moderados 3.- Graves 4.- No se aprecian

Cauce del río(44) _____

1 - Obstruido ligeramente 3 - Sin obstrucción
2 - Obstruido moderadamente 4 - No existe
3 - Obstruido de grave

Señalamiento que indique gálibos(46) _____ Señalamiento de seguridad(47) _____

1.- Si existe 2.- No existe

Comentarios _____

SUPERFICIE DE RODAMIENTO

Condición(48) _____

1.- Buena 2.- Regular 3.- Mala

Comentarios _____

SUPERESTRUCTURA

Agrietamiento en zona de apoyos (grietas de cortante)(49a) _____

1.- Ligeros 2.- Moderados 3.- Graves 4.- No se aprecian

Agrietamiento al centro del claro (grietas de flexión)(49b) _____

Juntas de expansión(50) _____

1.- Buen estado 2.- Mal estado 3.- No existen

Dispositivos de apoyo(51) _____

1.- Buen estado 2.- Mal estado 3.- No existen

Daño por impacto vehicular por deficiencia en gálibo(52) _____

1.- Ligeros 2.- Moderados 3.- Graves 4.- No se aprecian

Drenaje(53) _____

1.- Buen funcionamiento 2.- Regular 3.- Mal funcionamiento

Desconchamientos en la superestructura(54) _____

1.- Ligeros 2.- Moderados 3.- Graves 4.- No se aprecian

Comentarios _____

SUBESTRUCTURA

Agrietamiento en pilas(55) _____

1.- Ligeros 2.- Moderados 3.- Graves 4.- No se aprecian

Agrietamiento en estribos(56) _____

Desconchamientos en pilas o estribos(57) _____

1.- Ligeros 2.- Moderados 3.- Graves 4.- No se aprecian

Comentarios _____

CALIFICACION GENERAL DEL PUENTE

Superficie de Rodamiento(64a) _____

Superestructura(64b) _____

Subestructura(64c) _____

Socavación(64d) _____

CALIFICACION

- 5.- Condición excelente
- 4.- Condición buena
- 3.- Condición aceptable
- 2.- Condición regular
- 1.- Condición seria
- 0.- Condición de falla

Comentarios _____

RECOMENDACIONES GENERALES

Inspecciones(65a) _____

- | | |
|--|---------------|
| 1.- Evaluación a corto plazo (máximo 12 meses) | 4.- Detallada |
| 2.- Evaluación a mediano plazo (máximo 2 años) | 5.- Otro |
| 3.- Evaluación a largo plazo (máximo 3 años) | |

Superficie de Rodamiento(65b) _____

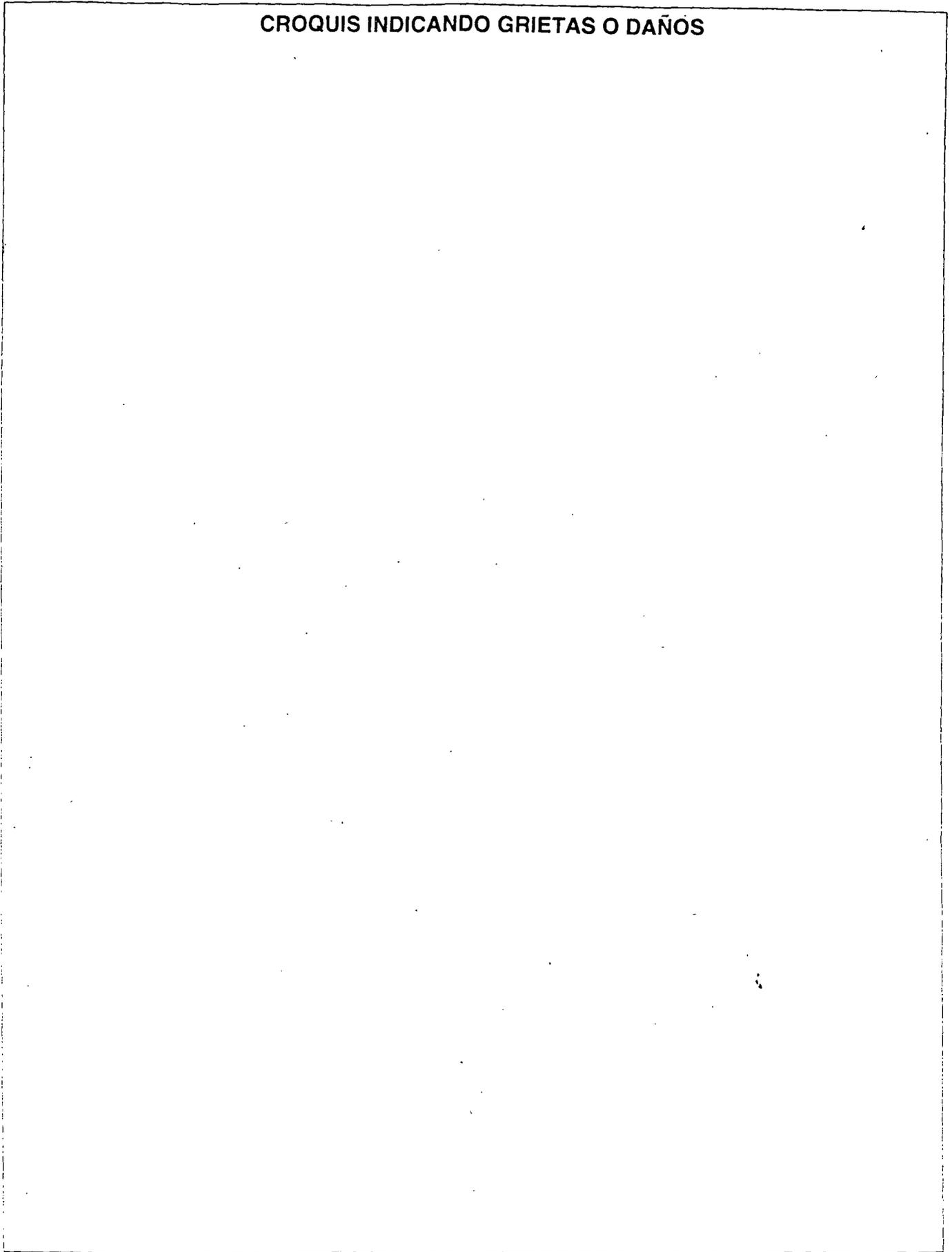
Superestructura(65c) _____

Subestructura(65d) _____

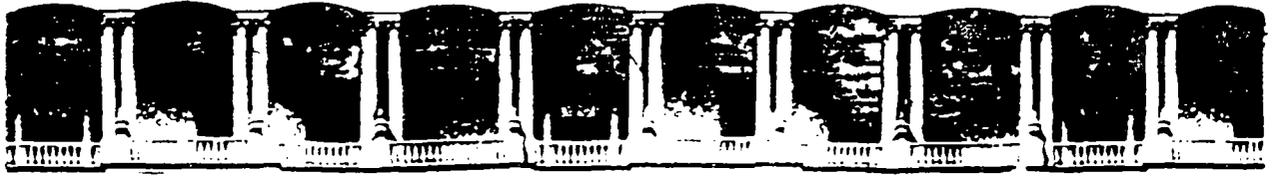
- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 1.- Mantenimiento menor | 4.- Substitución |
| 2.- Mantenimiento mayor | 5.- Pruebas especiales |
| 3.- Reparación | 6.- Otro |

Comentarios _____

CROQUIS INDICANDO GRIETAS O DAÑOS



FOTOS INDICANDO GRIETAS O DAÑOS



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSO ABIERTO

**INSPECCION, MANTENIMIENTO Y REHABILITACION
DE PUENTES.**

DEL 23 AL 27 DE SEPTIEMBRE

PROGRAMA ACADEMICO

**MÉXICO, D.F.
PALACIO DE MINERIA
1996**

PROGRAMA:

Lunes 23

- | | |
|---------------|---|
| 9:00 A 9:30 | Inauguración Ing. Daniel Díaz Díaz Director General del I.M.T. |
| 9:30 A 10:30 | Visión general de los puentes en los Estados Unidos Ing. Glenn A. Waher. |
| 10:30 A 10:45 | RECESO |
| 10:45 A 12:15 | Técnicas de evaluación global de puentes Ing. Glenn A. Washer |
| 12:15 A 12:30 | RECESO |
| 12:30 A 14:00 | Evaluación de estructuras de acero. Ing. Glenn A. Washer |
| 14:00 A 15:00 | COMIDA |
| 15:00 A 16:00 | Situación General de los puentes en México Ing. Amílcar Galindo Solórzano |
| 16:00 A 16:15 | RECESO |
| 16:15 A 18:00 | Sistemas de Administración de Puentes (SIAP) Ing. Miguel Arturo Barousse Moreno |

Martes 24

| | |
|---------------|---|
| 9:00 A 10:30 | Evaluación de Estructuras de Concreto Ing. Glenn A. Washer |
| 10:30 A 10:45 | RECESO |
| 10:45 A 12:15 | Evaluación de la capacidad de Carga de Puentes Ing. Glenn A. Washer |
| 12:15 A 12:30 | RECESO |
| 12:30 A 14:00 | Conclusiones del Ing. Washer Ing. Glenn A. Washer |
| 14:00 A 15:00 | COMIDA |
| 15:00 A 16:30 | Sistema de Puentes de México (SIPUMEX) Ing. Ruben Frías Aldaraca |
| 16:30 A 16:45 | RECESO |
| 16.45 A 18:00 | Medología para inspecciones rutinarias y principales Ing. Luis Luna Rosas. |

Miércoles 25

- 9:00 A 10:00 **Conservación de puentes en Autopistas Concesionadas**
Ing. Francisco Rodarte Lazo
- 10:00 A 11:00 **Inspección de Puentes Atirantados**
Arq. Victor Hoyos Parrao
- 11:00 A 11:15 **RECESO**
- 11:15 A 12:15 **Metodología para inspecciones especiales**
Ing. Alejandro Calva Salazar
- 12:15 A 12:30 **RECESO**
- 12:30 A 14:00 **Evaluación de Puentes para el paso de cargas extraordinarias**
Ing. Alberto Fregoso Vázquez
- 14:00 A 15:00 **COMIDA**
- 15:00 A 16:30 **Tipología de puentes y componentes estructurales**
Ing. Francisco Aguilar Rodríguez
- 16:30 A 16:45 **RECESO**
- 16:45 A 18:15 **Tipología de daños en puentes**
Ing. Adolfo Sánchez Sánchez

Jueves 26

- 9:00 A 10:30 **Guía para la evaluación de daños por corrosión y fatiga en estructuras metálicas.**
Ing. Carlos King Revelo
- 10:30 A 10:45 **RECESO**
- 10:45 A 12:15 **Técnicas no destructivas para la evaluación de materiales estructurales**
Ing. Jorgen Holst
- 12:15 A 12:30 **RECESO**
- 12:30 A 14:00 **Evaluación de daños por corrosión en puentes costeros**
Dr. Juan José Carpio Pérez
- 14:00 A 15:00 **COMIDA**
- 15:00 a 16:30 **Evaluación de puentes mediante pruebas dinámicas**
Fis. Francisco J. Carreon Viramontes
- 16:30 A 16:45 **RECESO**
- 16:45 A 18:15 **Evaluación y Reparación de daños por Socavación**
Ing. Gabriel Atala Barrero

Viernes 27

- 9:00 A 10:30 **Reparación de Subestructuras**
Ing. Ignacio Enrique Hernández Quinto
- 10:30 A 10:45 **RECESO**
10:45 A 12:15 **Rehabilitación Sísmica de Puentes**
Ing. Oscar Ruíz Mendieta
- 12:15 A 12:30 **RECESO**
- 12:30 A 14:00 **Aplicación de Preesfuerzo externo en rehabilitación de Puentes**
Ing. Oscar Gelbwasser C.
- 14:00 A 15:00 **COMIDA**
- 15:00 A 16:15 **Rehabilitación de Puentes Federales de Cuota**
Ing. Juan Téllez Muñoz
- 16:15 A 16:30 **RECESO**
- 16:30 A 17:45 **Rehabilitación del Puente " Belisario Domínguez"**
Ing. Modesto Armijo Mejía
- 17:45 A 18:00 **CLAUSURA**

PROGRAMA DE LA PARTICIPACION DEL
Ing. Glenn A. Washer

PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS DE PUENTES EN LOS
ESTADOS UNIDOS.

- Visión general de los Puentes en los EE.UU.
 - Inventario Nacional de Puentes
 - Porcentaje de Puentes estructuralmente deficientes
 - Puentes Históricos
 - Necesidades de inspección de puentes en Estados Unidos

- Técnicas de evaluación global de puentes
 - Análisis Modal
 - Modelos calibrados de elemento finito
 - Vibración forzada
 - Identificación de Subestructuras por medio de técnicas modales

- Evaluación de Estructuras de Acero
 - Detección de Grietas
 - Medición de Grietas
 - Evaluación de fatiga acumulada
 - Sensores de sobrecarga positivos
 - Inspección visual remota
 - Monitores de emisión acústica

- Evaluación de Estructuras de Concreto
 - Técnica de eco-pulso
 - Velocidad de pulso
 - Termografía infra-roja de banda dual
 - Radar de penetración del suelo
 - Métodos magnéticos

- Evaluación de la capacidad de Puentes
 - Metodología
 - Medidas remotas de la deflexión
 - Instrumentación inalámbrica de puentes

- Conclusiones
 - Sistemas de Administración de Puentes
 - Desarrollo de especificaciones
 - Desarrollo de instrumentaciones futuras
 - Integración de NBE e inspección tradicional
 - Necesidades futuras de investigación



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

INSPECCION, MANTENIMIENTO
Y REHABILITACION DE PUENTES

SLAP, Un sistema para la administración de puentes

Del 23 al 27 de septiembre de 1996

ING. MIGUEL ARTURO BAROUSSE MORENO
PALACIO DE MINERIA
1996

SIAP, UN SISTEMA PARA LA ADMINISTRACIÓN DE PUENTES

Miguel Barousse Moreno

Instituto Mexicano del Transporte
Apartado Postal # 1098
Querétaro, Qro. 76000
(42) 169777 Fax (42) 169671

RESUMEN

En este trabajo se destaca la importancia que tiene la conservación de los puentes para prevenir comportamientos estructurales inadecuados que puedan provocar colapsos. Para la realización de las tareas de conservación se estima necesario la implantación de un sistema de administración de puentes. En este artículo se presenta algunos aspectos de un sistema desarrollado por el Instituto Mexicano del Transporte y el cual puede constituir una herramienta importante en las tareas de conservación de los puentes.

Este sistema propone un esquema de organización institucional y proporciona un programa de cómputo con el cual se puede manejar de manera organizada toda la información que se va generando sobre los puentes.

ANTECEDENTES

En los 40,000 km. de la red federal de carreteras, existen aproximadamente 5,000 puentes con una longitud de 200 km., los cuales representan un elemento de vital importancia para el funcionamiento de las redes viales. 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.

Una gran parte de los puentes mexicanos fueron diseñados para soportar la carga AASHTO H-15 con un peso total de 13.7 ton., en tanto que un vehículo T3-S3, autorizado por el reglamento de pesos y dimensiones tiene un peso de 47 ton. y frecuentemente se encuentran sobrecargados hasta con 75 ton.

Esta situación explica los daños en las estructuras de pavimentos y puentes, causados por el incremento de las sollicitaciones mecánicas y la frecuencia en la aplicación de las cargas, debido a un aumento en la actividad económica del país.

En 1982, se levantó un inventario de los puentes de la red federal que incluye una evaluación de sus condiciones. Este documento constituyó un esfuerzo importante de la Dirección General de Construcción y Conservación. Posteriormente, se establecieron Residencias de Conservación de Puentes en la mayor parte de los estados y se llevaron a cabo numerosas obras de reparación y modernización de puentes. Similares esfuerzos han sido realizados en la última década por el organismo Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, por el Departamento del Distrito Federal y por la empresa Ferrocarriles Nacionales de México para atender los puentes a su cargo. Estas tareas fueron, en buena parte, impulsadas por la ocurrencia de algunos colapsos de puentes debidos, tanto a sobrecargas excesivas como al mal estado físico de las obras. Otro esfuerzo que no debe dejarse de mencionar lo constituye la instalación de un sistema de administración de puentes llamado SIPUMEX, el cual fue desarrollado por una empresa danesa, para la Dirección General de Construcción y Conservación de Obras Públicas.

INTRODUCCIÓN

Un sistema de administración se define como un conjunto de elementos administrativos y organizacionales, normas y procedimientos implantados por una institución para organizar, realizar y supervisar todas las actividades relacionadas con los puentes a su cargo después de la puesta en servicio de éstos.

El sistema propuesto tiene como objetivos generales:

- Garantizar la seguridad de los usuarios
- Proteger la inversión patrimonial
- Predecir con suficiente anticipación el monto de los recursos necesarios para la conservación de las obras
- Generar bases de datos con el inventario y la información de las inspecciones

INSPECCIONES

Mediante un programa de inspecciones sistemáticas se obtienen los datos necesarios para la detección y evaluación de daños, así como para la toma de decisiones sobre el mantenimiento, reparación, refuerzo o sustitución de los puentes.

En las inspecciones sólo se consideran daños graves:

- Socavación
- Agrietamiento importante
- Flechas y desplomes importantes
- Corrosión
- Daños en dispositivos de apoyo

Dentro de este sistema se sugieren dos tipos de inspecciones; una de evaluación y la otra especial.

Inspección de evaluación.- Debe realizarse por personal especializado en puentes y adiestrado para la identificación y evaluación de daños. La brigada debe contar con un equipo mínimo y la inspección será fundamentalmente visual. En esta inspección, el jefe de la brigada procede a dar una calificación a los principales elementos del puente (tabla 1), con las cuales el sistema calculará la calificación global del puente.

Inspección especial.- Debe realizarse en puentes que hayan tenido una calificación menor o igual a dos durante la inspección de evaluación. Esta inspección se realizará con el personal de más experiencia y preparación, el cual procede a ratificar o corregir las calificaciones establecidas en la inspección de evaluación.

EVALUACIÓN DEL PUENTE

En este sistema se obtienen dos calificaciones; una referente a la condición estructural, y la otra al estado funcional del puente. En ambas calificaciones se utiliza una escala de cero a cinco como se muestra en la tabla 1.

Calificación estructural.- El sistema tiene dos procedimientos para el cálculo de la calificación estructural, dependiendo de los datos de que se dispongan. El primer procedimiento utiliza exclusivamente las calificaciones dadas a las diferentes partes del puente, y el segundo requiere de la obtención en campo del primer modo de vibrar. A continuación se describen estos procedimientos.

Tabla 1. Escala de calificación del SIAP

| Situación del puente | Calificación |
|----------------------|--------------|
| Condición de falla | 0 |
| Condición mala | 1 |
| Condición regular | 2 |
| Condición aceptable | 3 |
| Condición buena | 4 |
| Condición excelente | 5 |

Método basado en las calificaciones dadas a las diferentes partes del puente.- Este consiste en hacer un promedio pesado de las calificaciones dadas a cada parte del puente. La ventaja de este procedimiento es ser sencillo, sin embargo su desventaja es que tiene un alto grado de subjetividad. La forma de obtener la calificación utilizando este procedimiento se describe a continuación:

Si la subestructura o la superestructura tienen una calificación igual o menor a 3, ésta se asignará como la calificación general del puente, de lo contrario se obtienen promedios pesados de la siguiente manera:

$$CSUB = (0.3)(CSOCA) + (0.2)(CCIM) + (0.25)(CAPO) + (0.25)(CPILAS)$$

donde:

CSUB, calificación subestructura
 CSOCA, calificación socavación
 CCIM, calificación cimentación
 CAPO, calificación apoyos
 CPILAS, calificación pilas

$$CSUP = (0.4)(CSIPISO) + (0.4)(CSIPORT) + (0.20)(CDISAPO) \quad (2)$$

donde:

CSUP, calificación superestructura
 CSIPISO, calificación sistema de piso
 CSIPORT, calificación sistema portante
 CDISAPO, calificación dispositivos de apoyo

$$CEP = (0.5)(CSUB) + (0.5)(CSUP) \quad (3)$$

donde:

CEP, calificación estructural del puente

Método basado en la medición del primer modo de vibrar.- En este procedimiento se requiere de la obtención del primer modo de vibrar del puente, el cual puede ser obtenido con relativa facilidad una vez que se cuente con el equipo necesario. Se obtienen dos calificaciones parciales; una referente a la rigidez y la otra asociada a la resistencia del puente. En ambos casos se requiere de la obtención del parámetro EI , el cual se obtiene una vez conocido el primer modo de vibrar del puente. A continuación se muestra como calcular este parámetro.

Para superestructuras isostáticas:

$$EI_{din} = \frac{4WL^3}{g\pi} \frac{1}{T^2} \quad (4)$$

donde:

EI_{din} , producto del módulo de elasticidad por el momento de inercia (prueba dinámica)
 W , peso total del puente
 L , claro de la superestructura
 T , período del primer modo de vibrar
 g , aceleración de la gravedad

Para superestructuras hiperestáticas:

$$EI_{din} = K \frac{4WL^3}{g\pi} \frac{1}{T^2} \quad (5)$$

donde K se obtiene de las gráficas mostradas en las figuras 1 y 2.

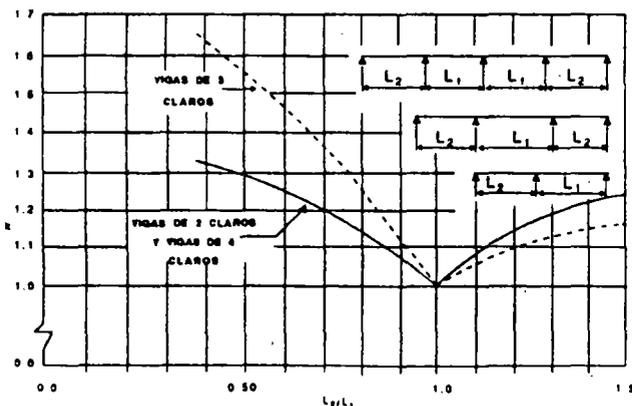


Figura 1.- Valor de la constante K para superestructuras de dos, tres y cuatro claros.

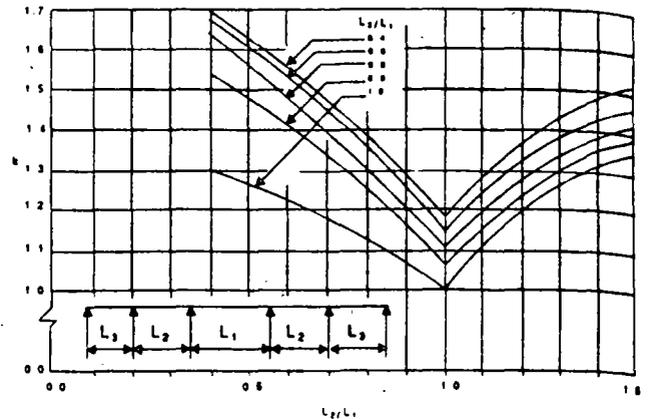


Figura 2.- Valor de la constante K para superestructuras de cinco claros.

Con los valores de EI conocidos se puede calcular el valor de la flecha, la cual se obtiene sumando la correspondiente al peso propio, más la que generaría un camión T3-S3. Para el caso de una superestructura continua menor de 40 m., la expresión para este cálculo es:

$$y = \frac{5}{384} \frac{WL^3}{EI} + \sum_{i=1}^6 P_i \frac{b_i(L^2 - b_i^2)^{3/2}}{9\sqrt{3}EI} \quad (6)$$

donde:

y , es la flecha máxima
 W , es el peso total del puente
 P_i , carga del camión T3-S3 por eje
 b_i , posición del eje de carga

Para otros claros y para superestructuras continuas, el SIAP calcula las flechas utilizando métodos más refinados de cálculo, y los criterios del AASHTO para definir el número de vehículos y carriles de carga.

El valor de la flecha se compara con el permisible y se obtiene la *calificación por rigidez* tal como se muestra en la tabla 2.

Para obtener la *calificación por resistencia* se obtiene el esfuerzo último de flexión utilizando para esto el valor medido de EI y los criterios del AASHTO, con un vehículo mexicano T3-S3; dependiendo del cociente entre el esfuerzo último aceptable y el esfuerzo último actuante se obtienen dos calificaciones, una para flexión y otra para cortante, tomándose la más desfavorable como la calificación por resistencia. Los valores para obtener esta calificación se muestran en la tabla 3.

Tabla 2.- Calificación asociada a la rigidez del puente

| Valores permisibles de flecha | Calificación (CR) |
|-------------------------------|-------------------|
| Menor a L/500 | 0 |
| Entre L/500 y L/600 | 1 |
| Entre L/600 y L/800 | 2 |
| Entre L/800 y L/1000 | 3 |
| Entre L/1000 y L/1200 | 4 |
| Mayor a L/1200 | 5 |

CR, calificación por rigidez
L, claro de la superestructura

Tabla 3.- Calificación asociada a la resistencia del puente

| Cociente entre el esfuerzo último permisible y el esfuerzo último actuante | Calificación (CF o CCO) |
|--|-------------------------|
| Menor o igual a 1.0 | 0 |
| Entre 1.2 y 1.4 | 1 |
| Entre 1.4 y 1.6 | 2 |
| Entre 1.6 y 1.8 | 3 |
| Entre 1.8 y 2.0 | 4 |
| Mayor o igual a 2.0 | 5 |

CF, calificación por flexión
CCO, calificación por cortante

Para obtener la calificación de los aspectos funcionales el sistema calcula primeramente los niveles de deficiencia para tres aspectos; gálibos, ancho de la superficie de rodamiento y equipamiento. Para realizar los cálculos de los niveles de deficiencia el sistema compara entre los valores reales y los valores deseables tomando en cuenta de manera lineal el tráfico de la carretera. Por ejemplo, para obtener el nivel de deficiencia del ancho del puente se utiliza la siguiente expresión:

$$NDAP = 10(AD - AR) \frac{TPDA}{5000} \leq 10 \quad (7)$$

donde:

NDAP, nivel de deficiencia por ancho del puente
AD, ancho deseable del puente en m.
AR, ancho real del puente en m.

Como ejemplo para ver el comportamiento de la ecuación (7), la figura 3 muestra una gráfica para algunos valores de (AD-AR)

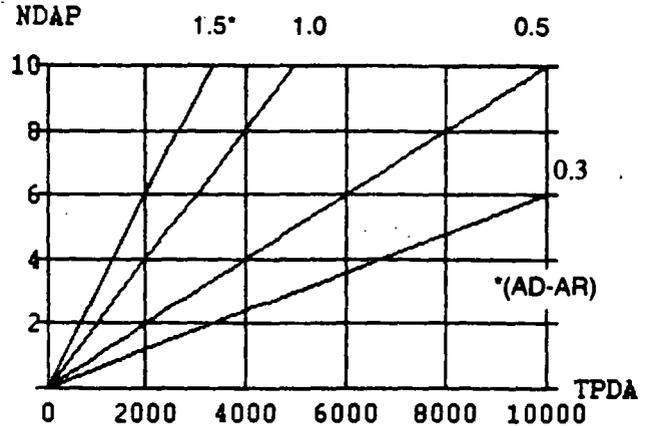


Figura 3.- Gráfica de NDAP contra TPDA para diferentes valores de (AD-AR)

Una vez que se obtiene el nivel de deficiencia por el ancho del puente se le asigna una calificación de acuerdo al criterio mostrado en la tabla 4.

Tabla 4.- Calificación por nivel de deterioro en el ancho puente

| Nivel de deterioro por ancho del puente | Calificación |
|---|--------------|
| Igual a 10 | 0 |
| Entre 8 y 10 | 1 |
| Entre 6 y 8 | 2 |
| Entre 4 y 6 | 3 |
| Entre 2 y 4 | 4 |
| Menos de 2 | 5 |

Para los otros niveles de deficiencia existen ecuaciones similares. Por último, se obtiene la calificación por funcionalidad promediando los tres aspectos funcionales antes mencionados.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CÓMPUTO

El SIAP está formado por un conjunto de bases de datos interrelacionadas que permiten un análisis de la información de manera sistemática. Las bases de datos que conforman al sistema son:

- Datos de inventario
- Datos de inspección de evaluación
- Datos de inspección especial
- Mediciones
- Fotografías de inventario
- Fotografías de deterioros
- Planos
- Mapas

A continuación se describe brevemente el contenido de estas bases de datos:

Datos de inventario.- Se almacena la información que cambia poco en el tiempo, como por ejemplo, nombre del puente, coordenadas geográficas, nombre de la dependencia encargada del mantenimiento, año de construcción, tránsito promedio diario, número de carriles. También se incluyen los datos geométricos del puente tales como la longitud, longitud del máximo claro. En esta base de datos se incluye también los datos estructurales como son tipo y material de la superestructura, tipo de cimentación, tipo de subestructura, carga de diseño, entre otros datos.

Datos de inspección de evaluación.- En esta base de datos se almacena la información que se levanta en las inspecciones de evaluación las cuales sirven para dar la calificación inicial del estado estructural del puente. Algunos de estos campos son: agrietamientos importantes, socavación, desplomes, estado de los apoyos, niveles de corrosión, etc.

Datos de inspección especial.- En esta base de datos se consigna el resultado de las inspecciones especiales, las cuales se realizan en los puentes que tengan una calificación inferior o igual a 2, en la inspección de evaluación. Aquí se guarda la descripción de la inspección, así como las calificaciones otorgadas.

Datos de mediciones especiales.- En ésta se guardan los resultados de mediciones realizadas al puente tales como pruebas de carga y mediciones de vibraciones.

Fotografías de inventario.- Se almacenan en esta base de datos, las fotografías que dan una descripción general del puente.

Fotografías de deterioros.- En esta base de datos se guardan fotografías de detalles las cuales harán resaltar los principales deterioros del puente.

El programa de cómputo esta realizado para computadoras personales en ambiente de windows.

LÍNEAS ACTUALES DE TRABAJO

Actualmente se le esta incorporando al SIAP un sistema que permita costear las diferentes acciones de conservación para poder predecir con suficiente anticipación los presupuestos necesarios para asignar a

estas tareas. La otra parte que se le esta desarrollando es un sistema de información geográfica que permita realizar un análisis de la información incluyendo aspectos georeferenciados.

CONCLUSIONES

El sistema propuesto constituye una herramienta útil para apoyar las labores de conservación de los puentes además de monitorear constantemente el estado estructural de los puentes con lo que se pueden predecir con anticipación fallas estructurales graves.

Otro punto que se considera importante es la facilidad de que los gobiernos estatales utilicen este sistema, sin la necesidad de pagar regalías por importación de tecnología, para la administración de sus redes, incluyendo las que en un futuro próximo recibirán por parte de la SCT.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo dado por Gabriel Ventura Suárez para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Gálindo, A., Barousse, M., 1994, "Sistema de Administración de Puentes (SIAP)", Publicación técnica no. 49, Instituto Mexicano del Transporte, México.
- Gálindo, A., Barousse, M., 1991, "Sistema de Administración de Puentes", Seminario Internacional de Puentes, Instituto Mexicano del Transporte, pp. 469-491, México.
- O'Connor, S.D., Hyman, W.A., 1989, "Bridge Management System. Demonstration Project No. 71", U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C., E.U.A.
- "Recording and Coding Guide for Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges", 1988, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C., E.U.A.
- Bakht, B., Jaeger, L., "Bridge Analysis Simplified", 1987, Mc Graw Hill, E.U.A.
- "American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO): Standard Specifications for Highways Bridges", 1993, Washington, D.C., E.U.A.
- "Ontario Highways Bridge Design Code (OHBDC)", 1992, 3de, Ministry of Transportation and Communications, Canadá.
- "Formato para Inspección de Puentes y Pasos a Desnivel", 1986, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.

¿QUE SE HACE EN MÉXICO PARA LA CONSERVACIÓN DE PUENTES?

- En México existen aproximadamente 6,000 puentes.
- En 1982 se levanta el primer inventario de puentes.
- Alrededor de 1983 se establecen residencias de conservación de puentes en los Centros SCT.
- En 1991 se inicia la implantación del SIPUMEX. SIPUMEX es un sistema de administración de puentes elaborado por una empresa danesa para la Dirección General de Construcción y Conservación de Obra Pública.
- Actualmente se está instalando el SIAP en las autopistas concesionadas. El número de puentes en éstas es de alrededor de 1200 puentes.
- También se está instalando el SIAP en las Unidades Generales de Servicios Técnicos.
- En el Instituto se estudian procedimientos para la inspección de puentes utilizando pruebas no destructivas y mediciones de vibraciones.
- Se diseñó un curso en coordinación con la Dirección General de Servicios Técnicos, para inspección de puentes el cual va ser impartido en la División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

OBJETIVOS DEL SIAP

OBJETIVO PRINCIPAL

- Predecir con anticipación problemas que afecten la seguridad y serviciabilidad de los puentes.

OTROS OBJETIVOS

- Generar una base de datos con el inventario de los puentes y la información de las inspecciones
- Optimizar la aplicación de los recursos disponibles
- Conjuntar la información de puentes para que sea accesible con facilidad y prontitud (planos, fotografías, memorias de cálculo, etc.)

COMPONENTES DEL SIAP

BASES DE DATOS RELACIONALES

- INVENTARIO
- INSPECCIONES RUTINARIAS
- INSPECCIONES ESPECIALES
- FOTOS DE INVENTARIO
- FOTOS DE DETERIOROS
- PLANOS*
- MAPAS*
- PELÍCULA*

CALIFICACIÓN DE PUENTES

- ESTRUCTURAL
- ASPECTOS FUNCIONALES

PLANEACIÓN Y PRIORIZACIÓN

- COSTOS*
- POLÍTICAS DE CONSERVACIÓN*

*Actividades en proceso

EVALUACIÓN DEL PUENTE

En este sistema se obtienen dos calificaciones; una referente a la condición estructural, y la otra al estado funcional del puente. En ambas calificaciones se utiliza una escala de cero a cinco.

Calificación estructural.- El sistema tiene dos procedimientos para el cálculo de la calificación estructural, dependiendo de los datos de que se dispongan. El primer procedimiento utiliza exclusivamente las calificaciones dadas a las diferentes partes del puente, y el segundo requiere de la obtención en campo del primer modo de vibrar.

Calificación del estado funcional del puente.- En esta parte el sistema califica los aspectos geométricos que afectan con la operación de las redes de transporte. Se califican dos aspectos; ancho del puente y gálibos.

MÉTODO BASADO EN LAS CALIFICACIONES DADAS A LAS DIFERENTES PARTES DEL PUENTE

Este consiste en hacer un promedio pesado de las calificaciones dadas a cada parte del puente. La ventaja de este procedimiento es ser sencillo, sin embargo su desventaja es que tiene un alto grado de subjetividad. La forma de obtener la calificación utilizando este procedimiento se describe a continuación:

Si la subestructura o la superestructura tienen una calificación igual o menor a 3, ésta se asignará como la calificación general del puente, de lo contrario se obtienen promedios pesados de la siguiente manera:

$$\mathbf{CSUB = (0.3)(CSOCA) + (0.2)(CCIM) + (0.25)(CAPO) + (0.25)(CPILAS)}$$

donde:

CSUB, calificación subestructura
CSOCA, calificación socavación
CCIM, calificación cimentación
CAPO, calificación apoyos
CPILAS, calificación pilas

$$\mathbf{CSUP = (0.4)(CSIPISO) + (0.4)(CSIPORT) + (0.20)(CDISAPO)}$$

donde:

CSUP, calificación superestructura
CSIPISO, calificación sistema de piso
CSIPORT, calificación sistema portante
CDISAPO, calificación dispositivos de apoyo

$$\mathbf{CEP = (0.5)(CSUB) + (0.5)(CSUP)}$$

donde:

CEP, calificación estructural del puente

MÉTODO BASADO EN LA MEDICIÓN DEL PRIMER MODO DE VIBRAR

En este procedimiento se requiere de la obtención del primer modo de vibrar del puente, el cual puede ser obtenido con relativa facilidad una vez que se cuente con el equipo necesario. Se obtienen dos calificaciones parciales; una referente a la rigidez y la otra asociada a la resistencia del puente. En ambos casos se requiere de la obtención del parámetro EI , el cual se obtiene una vez conocido el primer modo de vibrar del puente. A continuación se muestra como calcular este parámetro.

Para superestructuras isostáticas:

$$EI_{\text{din}} = \frac{4WL^3}{g\pi} \frac{1}{T^2}$$

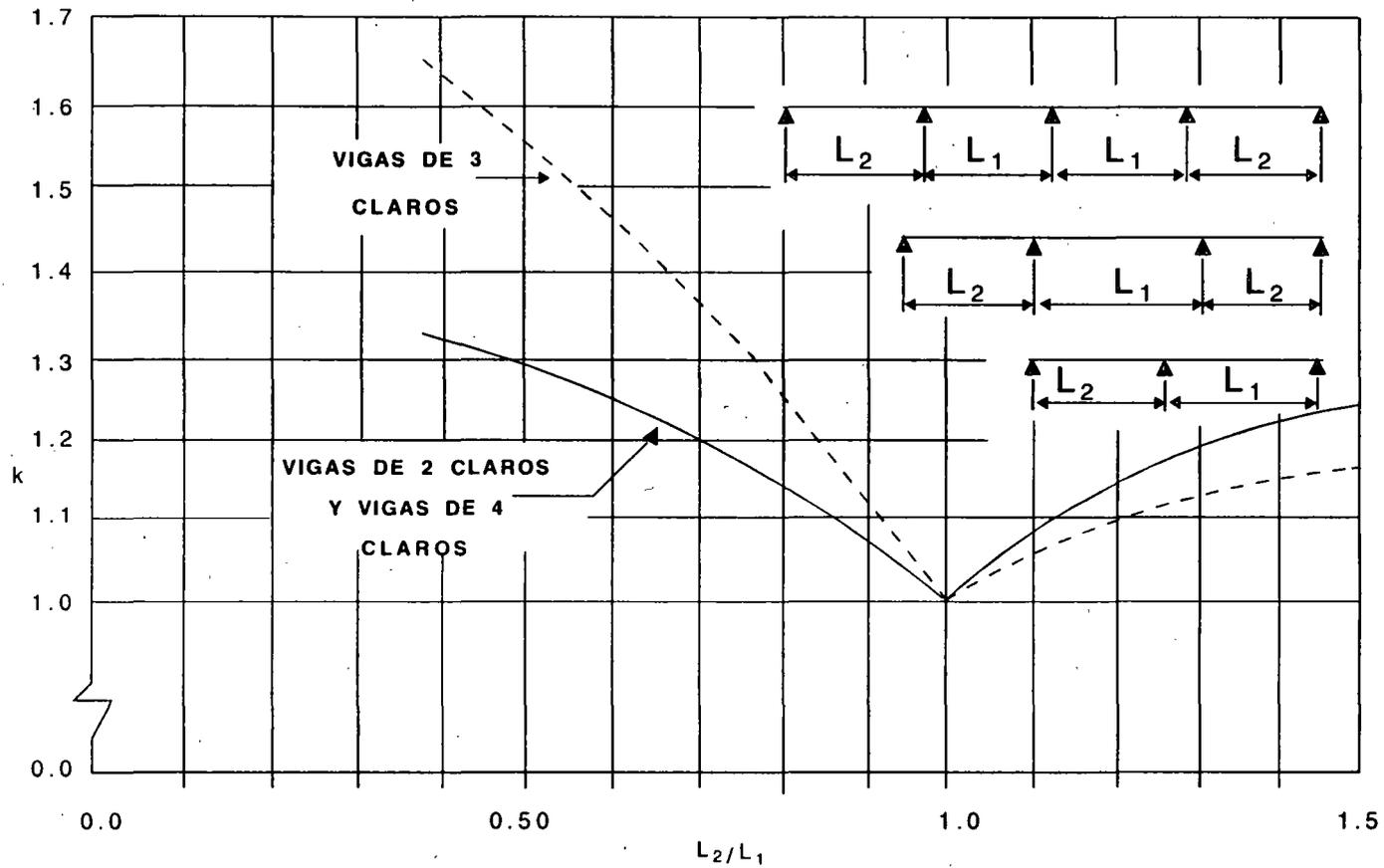
donde:

- EI_{din} , producto del módulo de elasticidad por el momento de inercia (prueba dinámica)
- W, peso total del puente
- L, claro de la superestructura
- T, período del primer modo de vibrar
- g, aceleración de la gravedad

Para superestructuras hiperestáticas:

$$EI_{\text{din}} = K \frac{4WL^3}{g\pi} \frac{1}{T^2}$$

donde K se obtiene de las siguientes gráficas.



Valor de la constante K para superestructuras de dos, tres y cuatro claros.

Con los valores de EI conocidos se puede calcular el valor de la flecha, la cual se obtiene sumando la correspondiente al peso propio, más la que generaría un camión T3-S3. Para el caso de una superestructura continua menor de 40 m., la expresión para este cálculo es:

$$y = \frac{5}{384} \frac{WL^3}{EI} + \sum_{i=1}^6 P_i \frac{b_i(L^2 - b_i^2)^{3/2}}{9\sqrt{3}EIL}$$

donde:

y , es la flecha máxima

W , es el peso total del puente

P_i , carga del camión T3-S3 por eje

b_i , posición del eje de carga

Para otros claros y para superestructuras continuas, el SIAP calcula las flechas utilizando métodos más refinados de cálculo, y los criterios del AASHTO para definir el número de vehículos y carriles de carga. El valor de la flecha se compara con el permisible y se obtiene la *calificación por rigidez*.

Para obtener la *calificación por resistencia* se obtiene el esfuerzo último de flexión utilizando para esto el valor medido de EI y los criterios del AASHTO, con un vehículo mexicano T3-S3; dependiendo del cociente entre el esfuerzo último aceptable y el esfuerzo último actuante se obtienen dos calificaciones, una para flexión y otra para cortante, tomándose la más desfavorable como la calificación por resistencia.

| Valores permisibles de flecha | Calificación (CR) |
|--------------------------------------|--------------------------|
| Menor a L/500 | 0 |
| Entre L/500 y L/600 | 1 |
| Entre L/600 y L/800 | 2 |
| Entre L/800 y L/1000 | 3 |
| Entre L/1000 y L/1200 | 4 |
| Mayor a L/1200 | 5 |

CR, calificación por rigidez

L, claro de la superestructura

| Cociente entre el esfuerzo último permisible y el esfuerzo último actuante | Calificación (CF o CCO) |
|---|--------------------------------|
| Menor o igual a 1.0 | 0 |
| Entre 1.2 y 1.4 | 1 |
| Entre 1.4 y 1.6 | 2 |
| Entre 1.6 y 1.8 | 3 |
| Entre 1.8 y 2.0 | 4 |
| Mayor o igual a 2.0 | 5 |

CF, calificación por flexión

CCO, calificación por cortante

CALIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS FUNCIONALES

El sistema calcula primeramente los niveles de deficiencia para los dos aspectos; gálibos y ancho de la superficie de rodamiento. Para realizar los cálculos de los niveles de deficiencia el sistema compara entre los valores reales y los valores deseables tomando en cuenta de manera lineal el tráfico de la carretera. Por ejemplo, para obtener el nivel de deficiencia del ancho del puente se utiliza la siguiente expresión:

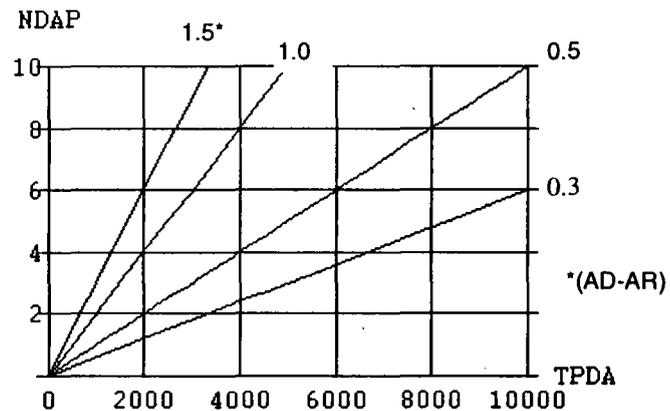
$$NDAP = 10(AD - AR) \frac{TPDA}{5000} \leq 10$$

donde:

NDAP, nivel de deficiencia por ancho del puente

AD, ancho deseable del puente en m.

AR, ancho real del puente en m.



Gráfica de NDAP contra TPDA para diferentes valores de (AD-AR)

| Nivel de deterioro por ancho del puente | Calificación |
|--|---------------------|
| Igual a 10 | 0 |
| Entre 8 y 10 | 1 |
| Entre 6 y 8 | 2 |
| Entre 4 y 6 | 3 |
| Entre 2 y 4 | 4 |
| Menos de 2 | 5 |

Para el gálibo se tienen ecuaciones similares. Por último, se obtiene la calificación por funcionalidad promediando las dos aspectos funcionales antes mencionados.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

INSPECCION, MANTENIMIENTO
Y REHABILITACION DE PUENTES

*Aplicación de presfuerzo externo en rehabilitación
de puentes de concreto reforzado*

Del 23 al 27 de septiembre de 1996

ING. OSCAR GELBWASER CZERNIKIER
PALACIO DE MINERIA
1996

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA U.N.A.M., CON EL PATROCINIO
DEL INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE.

CURSO DE INSPECCIÓN MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE
PUENTES.

APLICACIÓN DE PRESFUERZO EXTERNO EN REHABILITACIÓN DE
PUENTES DE CONCRETO REFORZADO.

ING. OSCAR GELBWASER CZERNIKIER

Septiembre 27, 1996.

APLICACIÓN DE PRESFUERZO EXTERNO EN REHABILITACIÓN DE PUENTES DE CONCRETO REFORZADO.

| <i>CONCEPTO</i> | <i>Pág.</i> |
|--|-------------|
| TRABAJOS DE CONSERVACIÓN | 1 |
| REPARACIÓN Y MODERNIZACIÓN DE PUENTES | 3 |
| ORÍGENES DE LOS PROBLEMAS | 3 |
| a) Vicios de proyectos | 3 |
| b) Vicios de construcción | 4 |
| c) Por variación de las cargas | 4 |
| d) intemperismo | 6 |
| SÍNTOMAS | 7 |
| a) Falta de capacidad en traveses por flexión. | 7 |
| b) Por cortante | 7 |
| c) Por flexión y cortante | 7 |
| d) Por torsión | 8 |
| e) Por retracción | 8 |
| f) Falla de esquina por el apoyo | 9 |
| g) Falla por posicionamiento inadecuado del refuerzo | 9 |
| h) Desprendimiento de diafragma | 10 |
| TÉCNICAS QUE SE EMPLEAN EN REPARACIÓN | 11 |
| a) Concreto lanzado | 11 |
| b) Placas de acero pegadas | 13 |
| c) Inyección de fisuras con resinas epóxicas | 15 |
| d) Presfuerzo exterior | 17 |
| REFORMAZAMIENTO DE TRAVE CON PRESFUERZO LONGITUDINAL | 20 |
| Revisión de secciones | 23 |
| ESTRIBOS VERTICALES PRESFORZADOS | 24 |
| criterio de revisión | 31 |
| CONTINUIDAD DE PUENTES | 34 |
| casos en que no es conveniente éste tipo de solución | 35 |

| | |
|--|----|
| CAMBIOS DE APOYOS | 36 |
| 1) Levantamiento por la trabe cuando hay espacio para el gato | 37 |
| 2) Levantamiento por la trabe, a partir de un bloque o estructura adicional. | 37 |
| 3) Levantamiento por el diafragma | 38 |
| 4) Cambio de apoyos en articulaciones intermedias (vigas Gerber) | 39 |
| a) Con estructura de levantamiento por encima | 39 |
| b) Con estructura de levantamiento por abajo | 39 |

TRABAJOS DE CONSERVACION:

Como consecuencia de las recomendaciones habidas al concluir la inspección detallada de una obra, puede surgir la necesidad de realizar trabajos de conservación o de modificación.

Los trabajos de conservación pueden ser, de mantenimiento o de rehabilitación.

Se denominan trabajos de mantenimiento a todos aquellos que tienen que ver con elementos no estructurales o de estructuración secundaria, debido al desgaste por uso o por el tiempo, como son:

- Cambio de carpeta
- Cambio de la junta de calzada
- Cambio de apoyos (cuando llegan al fin de su vida útil)
- Limpieza de los apoyos y juntas
- Limpieza de drenes
- Arreglos de la banquetta o barandal
- Reparaciones de la losa
- Pintura en barandales metálicos
- Trabajos en los terraplenes como:

Reconformación de taludes, desyerbe de los mismos, arreglo de las protecciones y de los lavaderos.

Los trabajos de rehabilitación se dividen a su vez en dos partes:

- Reparación y modernización.

La reparación de una obra, consiste en la recuperación de la capacidad original.

En cambio, la modernización de una obra, consiste en la ejecución de los trabajos tendientes a readecuar la estructura para aumentar su capacidad.

La rehabilitación, implica intervenir en los elementos estructurales principales, como son:

- Nervaduras
- Diafragmas
- Reparación generalizada de losas
- Aparatos de apoyos
- Cabezales de pilas
- Pilas
- Cimentaciones

Finalmente los trabajos de modificación son los que se requieren cuando se trata de ampliar el ancho de la calzada, para aumentar el número de carriles o rectificar su trazo.

La experiencia nos muestra que todo trabajo de rehabilitación requiere a fuerzas un estudio o proyecto previo. Estos podrán ser desde muy simples a complejos, según la naturaleza de los problemas.

Nosotros pensamos que no es válido realizar un trabajo de rehabilitación sin un proyecto, pues éste puede llegar a ser desde ineficiente, peligroso para la obra (en caso extremo o puede llevar a la destrucción parcial o total) o puede ser peligroso para el personal que interviene en los trabajos de obra.

REPARACION Y MODERNIZACION DE PUENTES.

La reparación y la modernización de puentes trata de la rehabilitación de los mismos, ya sea para devolverles su capacidad original o para aumentar este valor.

Antes de pensar en una reparación, es muy importante conocer los orígenes de los problemas, analizarlos, conocer los márgenes de incertidumbre; recién entonces se podrá proponer un proyecto adecuado. Esta es otra razón por la cual estimamos que es bien importante hacer reparaciones en base a proyectos específicos para cada obra.

ORIGENES DE LOS PROBLEMAS

Todo proyecto de reparación necesita empezar por identificar las causas de los problemas que le dan origen, por ello pasaremos revista a estos:

a) Vicios de proyectos, son de dos tipos:

- Errores en la evaluación de las cargas.
 - Cargas muertas
 - Cargas vivas.
- Errores de concepción
 - Estructuraciones no adecuadas.

Citaremos algunos casos más notables:

- . Tablero de dos nervaduras
- . Diafragmas perpendiculares al eje del camino en tableros esviejados.
- . Inexistencia del muro de respaldo en la corona de un estribo de puente.
- . Falta de diafragmas en el extremo de traveses, en el eje de apoyo.
- . Mecedora de concreto, como apoyos.

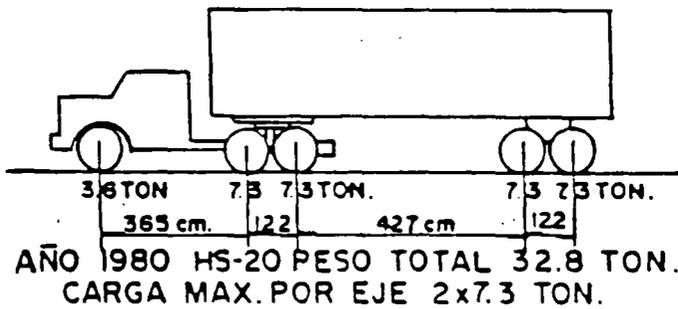
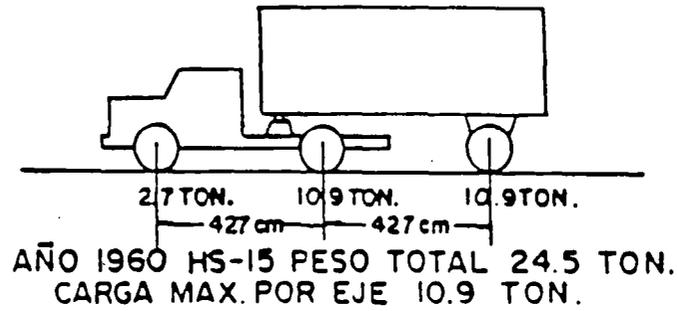
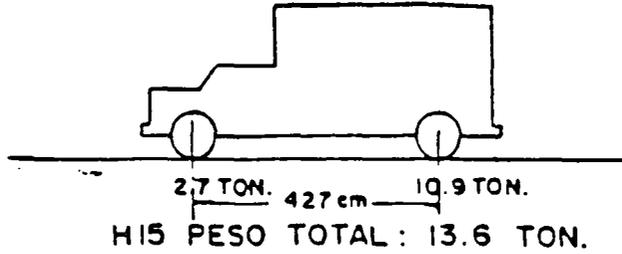
b) Vicios de construcción:

- Calidad escasa de los materiales, en el caso del concreto, por falta de resistencia o por falta de vibrado.
- Falta de una protección adecuada en estructuras metálicas.
- Escaso recubrimiento de las varillas de refuerzo.
- Varillas descubiertas.
- Excesos de colados:
 - . En la zona de apoyos entre la subestructura y la superestructura.
 - . En las juntas, causando bloqueo a las mismas.
- Drenajes tapados.
- Geometría de las secciones, diferentes a las proyectadas, en más o menos por cimbra defectuosas o mal ajustadas.
- Mal posicionamiento de algunos elementos, como son juntas calzada y apoyos.
- Cimbras que no han sido retiradas completamente, en particular en la zona de apoyos y en las juntas, que obstaculizan el correcto funcionamiento de los elementos estructurales.

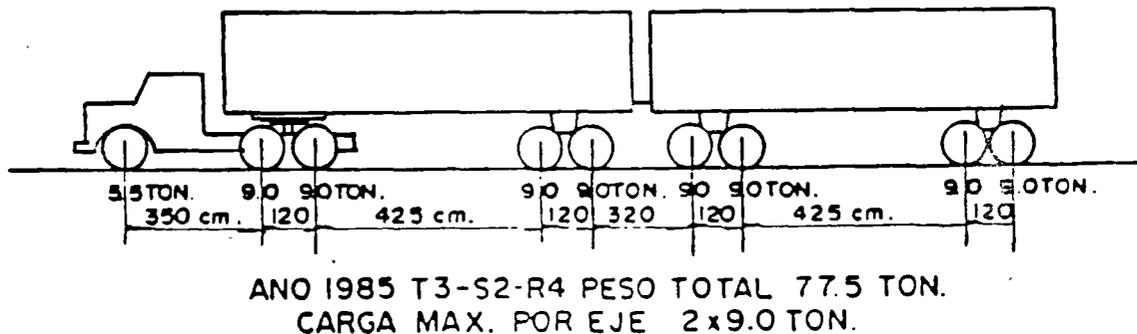
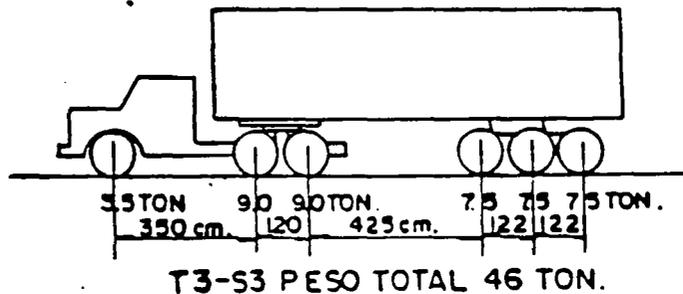
c) Por variación de las cargas.

Como es natural, las cargas han ido en evolución hacia unidades mayores. En particular podemos ver que en México la carga de diseño para puentes en carreteras principales, han ido variando de la siguiente manera:

**SEGUN ESPECIFICACIONES AASHTO
(CONSIDERADOS EN EL DISEÑO DE LOS PUENTES)**



**CAMIONES TIPO
REGLAMENTO SCT
CARGAS QUE CIRCULAN ACTUALMENTE**



| AÑO | TIPO | CARGA MEX. POR EJE | PESO TOTAL |
|------|----------|--------------------|------------|
| 1960 | HS-15 | 10.9 | 24.5 Ton. |
| 1980 | HS-20 | 2x7.3 | 32.6 Ton. |
| 1985 | T3-S2-R4 | 2x9.0 | 77.5 ton. |

Como consecuencia de este aumento, se deberían haber revisado todas la estructuras de la Red Federal antes de autorizar el tránsito, con el fin de ver cuales no pasan y adecuar las estructuras y los pavimentos. Sin embargo, a nuestro conocimiento esto no se ha hecho, por lo que estamos descubriendo día a día con la aparición de daños, cuales no han pasado este cambio en las cargas.

Además de lo anterior, se observa una gran falta de respeto al Reglamento de Tránsito, en cuanto a cargas, ya que son sobrepasadas con alguna frecuencia y también en otros casos se encuentran mayores valores de carga por eje los cuales son sin ninguna duda los responsables en una buena parte del deterioro prematuro de las carpetas asfálticas y de las estructuras.

d) Intemperismo:

La acción de la atmósfera sobre las obras prácticamente no se puede evitar. Los efectos que afectan a las estructuras son:

- Lluvias
- Acción de rayos solares
- Acción de componentes agresivos, que se encuentran en la atmósfera (ácidos, gases contaminantes, ambientes industriales).
- Temperatura.
- Hielo y granizo.
- Acción de sales marinas.

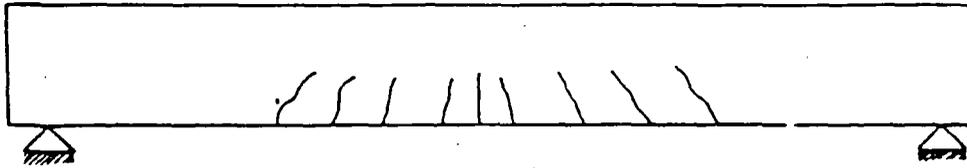
Esta acción, en particular en piezas estructurales muy sensibles, como el caso de concretos bajos en resistencia y/o porosos, varillas expuestas, hace que la vida útil de las mismas baje rápidamente.

La única solución para luchar contra la acción de estos agentes que no podemos suprimir, es la de hacer concretos más densos, dar un adecuado recubrimiento a las varilla, protección y pintura a las partes metálicas y en general darles una conservación más eficiente, resanando, sellando fisuras y pintando para proteger contra la agresividad de los mencionados agentes.

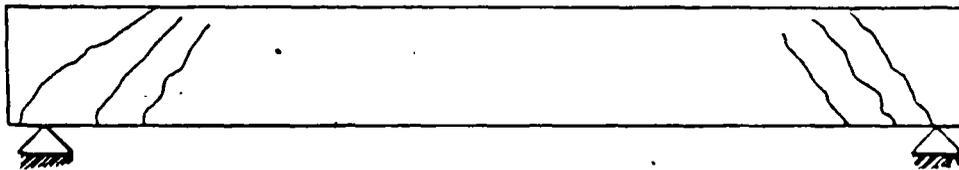
SINTOMAS:

Vamos a presentar a continuación un pequeño panorama de como se ven en la práctica los diferentes problemas, en una trabe de concreto reforzado.

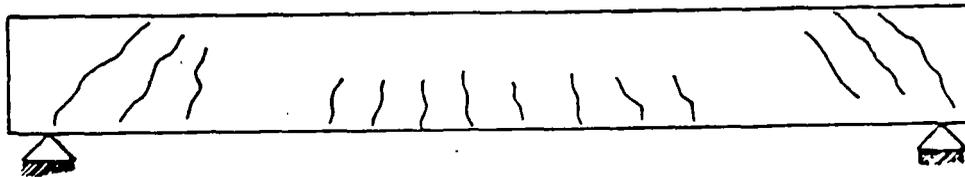
a) Falta de capacidad en trabes por flexión.



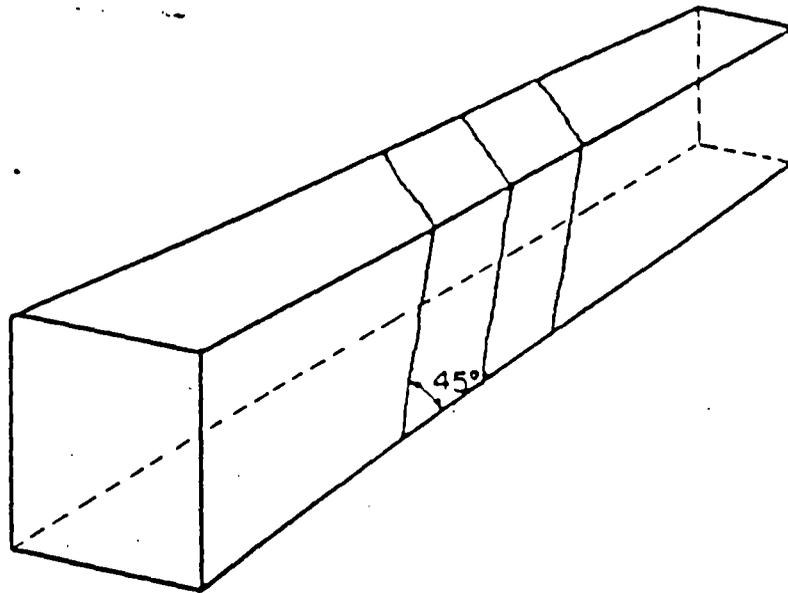
b) Por cortante



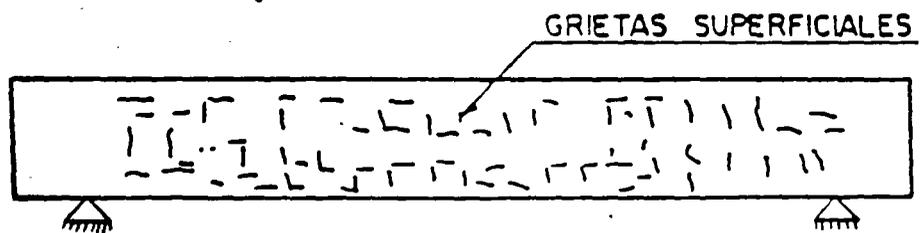
c) Por flexión y cortante



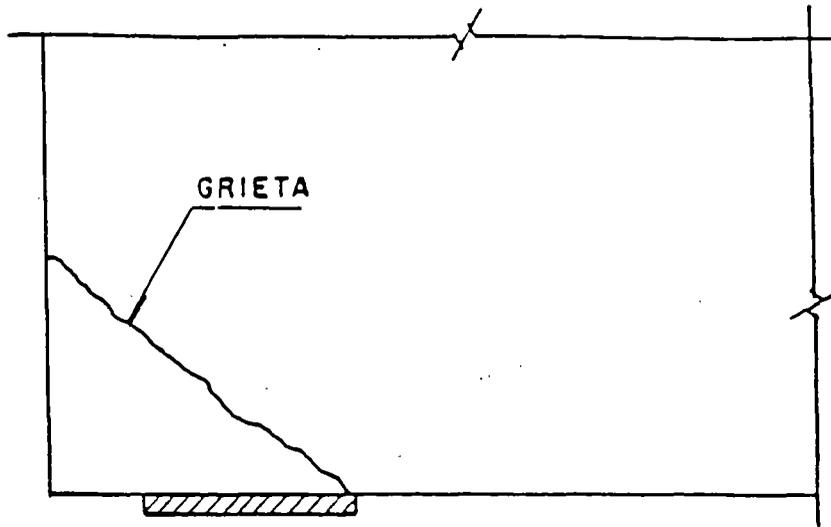
d) Por torsión.



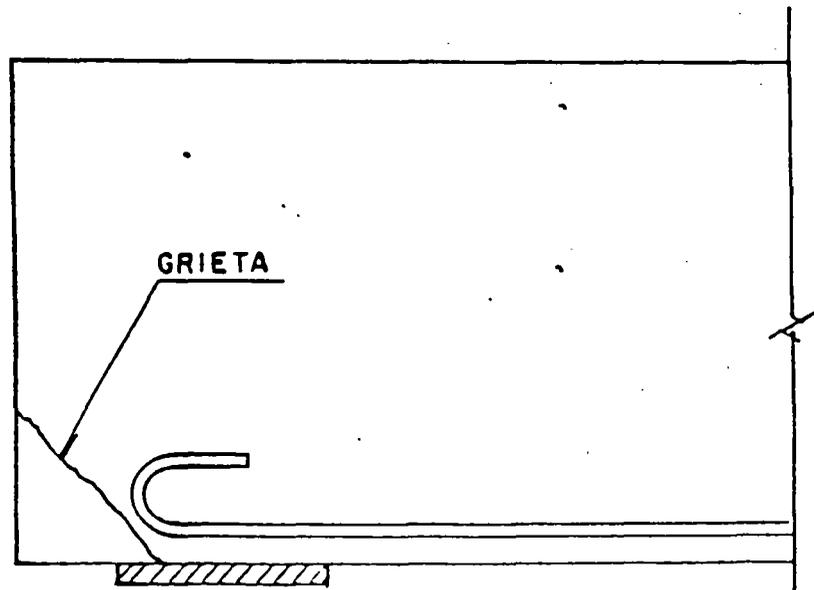
e) Por retracción.



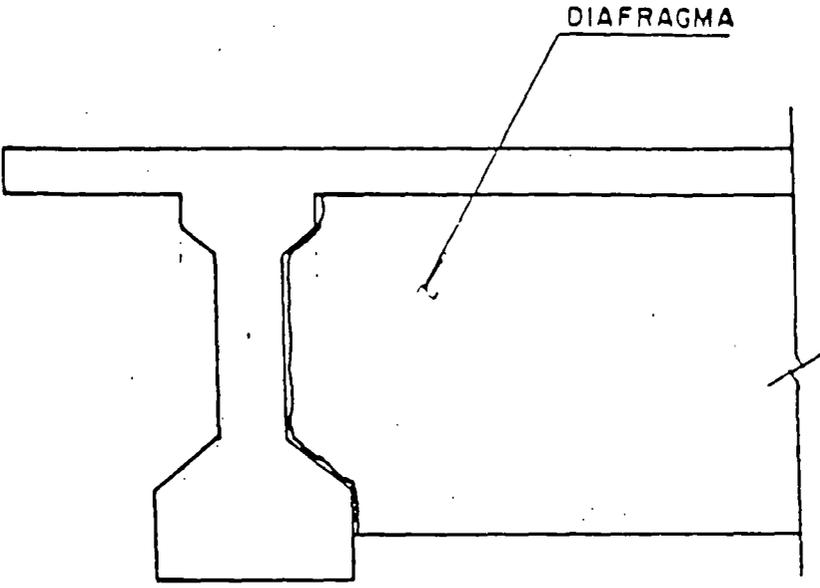
f) Falla de esquina por el apoyo.



g) Falla por posicionamiento inadecuado del refuerzo.



h) Desprendimiento de diafragma.

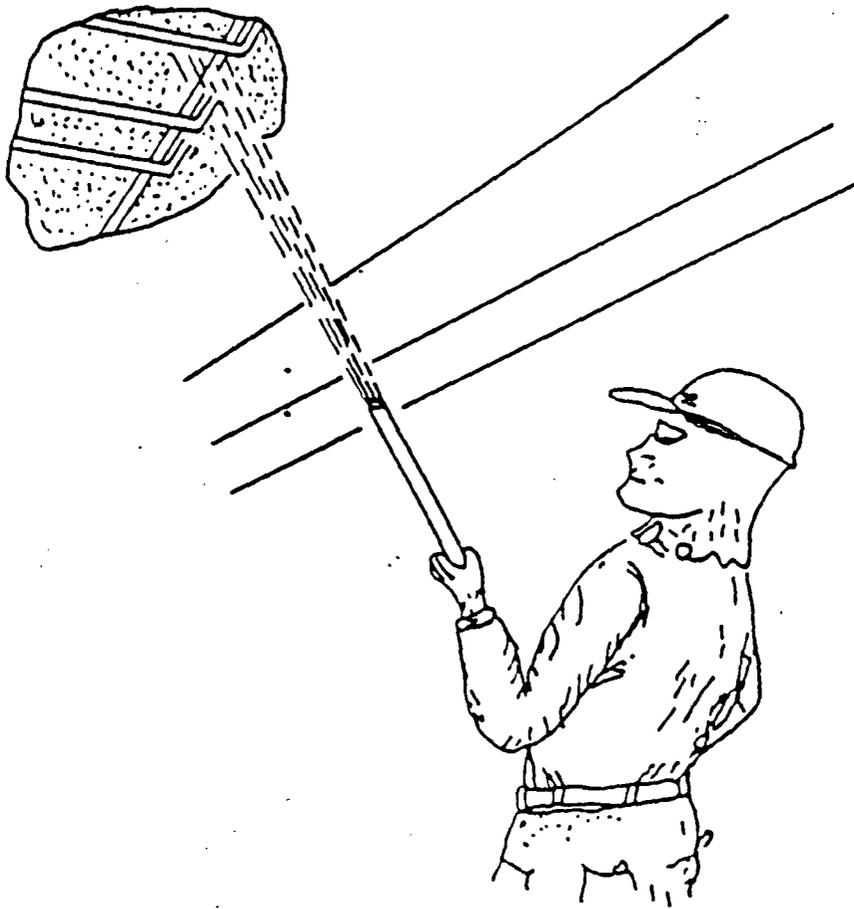


TECNICAS QUE SE EMPLEAN EN REPARACION

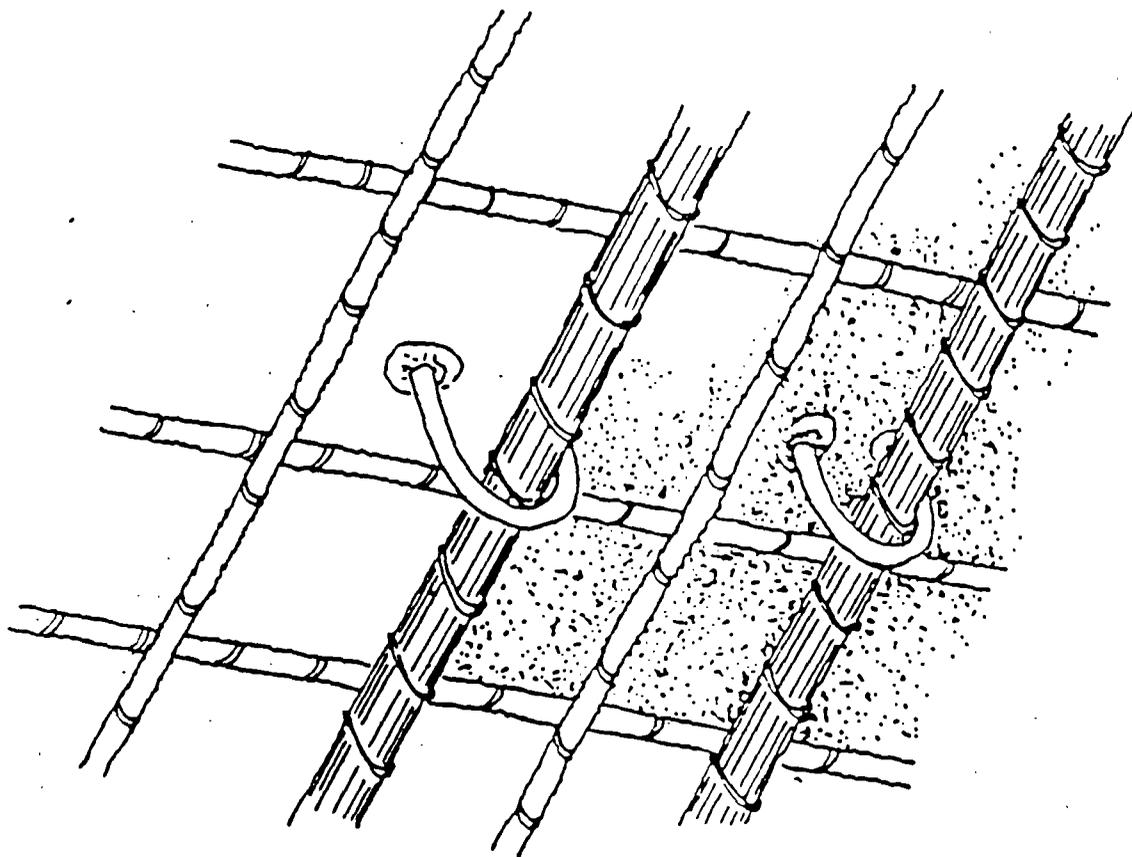
Explicaremos brevemente las características, de las principales técnicas que se emplean:

a) Concreto Lanzado:

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



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



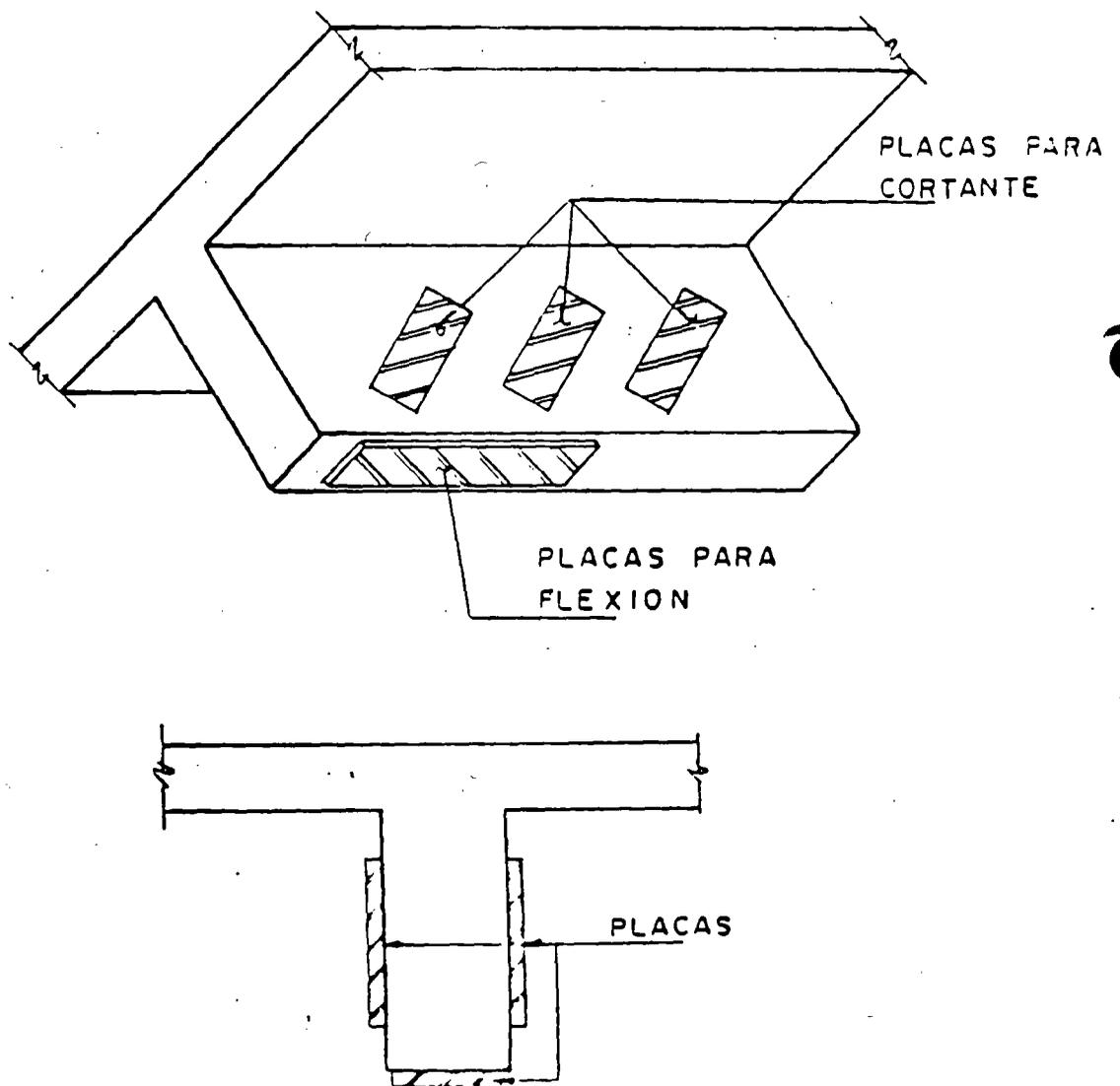
También se emplea para proteger una estructura, por ejemplo cuando se detecta que el recubrimiento del refuerzo fue escaso, o quedó poroso.

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

b) Placas de Acero pegadas:

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

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



En general hay que destacar que:

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

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

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

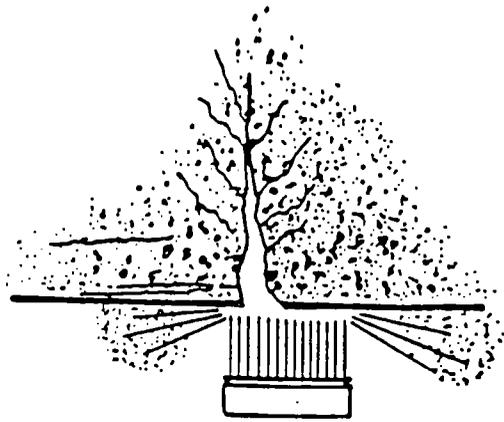
c) Inyección de fisuras con resinas epóxicas:

La finalidad de este sistema es la de rellenar una fisura con resina, sin embargo, si subsisten las acciones que dieron origen a las fisuras, estas se volverán a producir ahí mismo o a un lado.

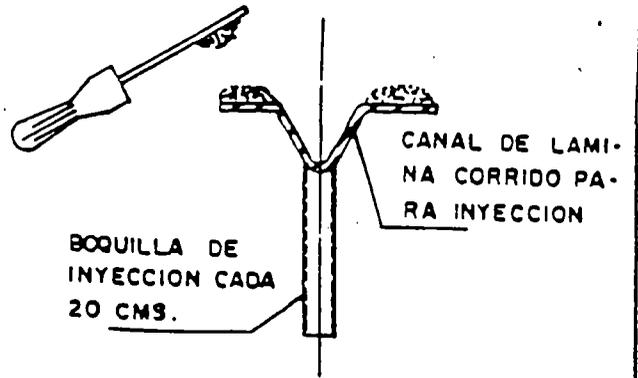
Por lo que aparte de inyectar una fisura, se debe resolver el problema de escasa resistencia con refuerzo o presfuerzo adicional.

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

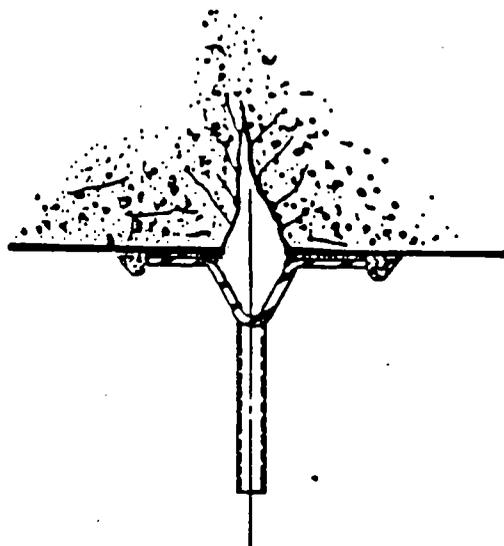
Las fisuras que se inyectan se tapan previamente con un sello exterior, dejando una boquilla por la que se manda la resina. De acuerdo al espesor de las grietas se debe especificar la fluidez de la resina.



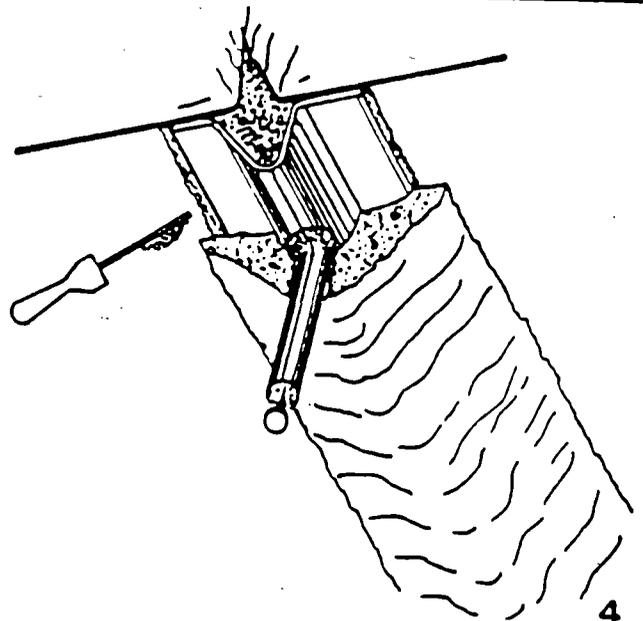
1



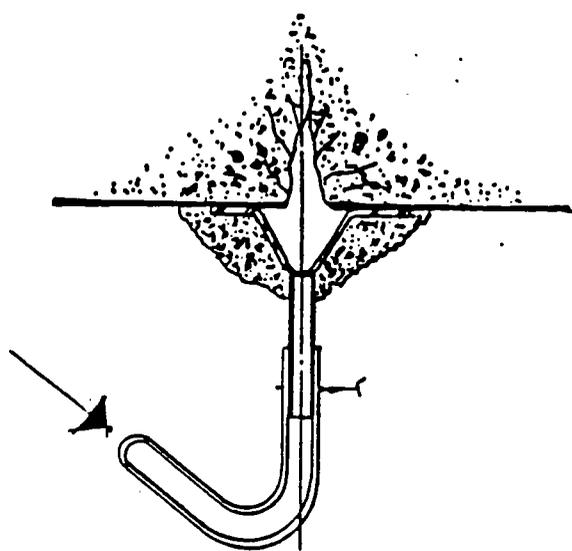
2



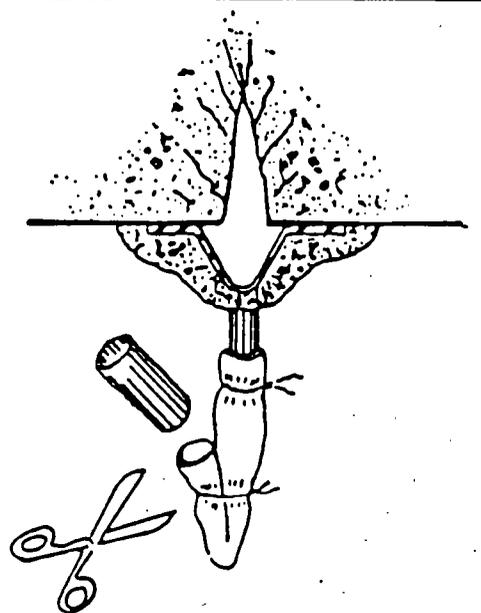
3



4



5



6

d) Presfuerzo exterior:

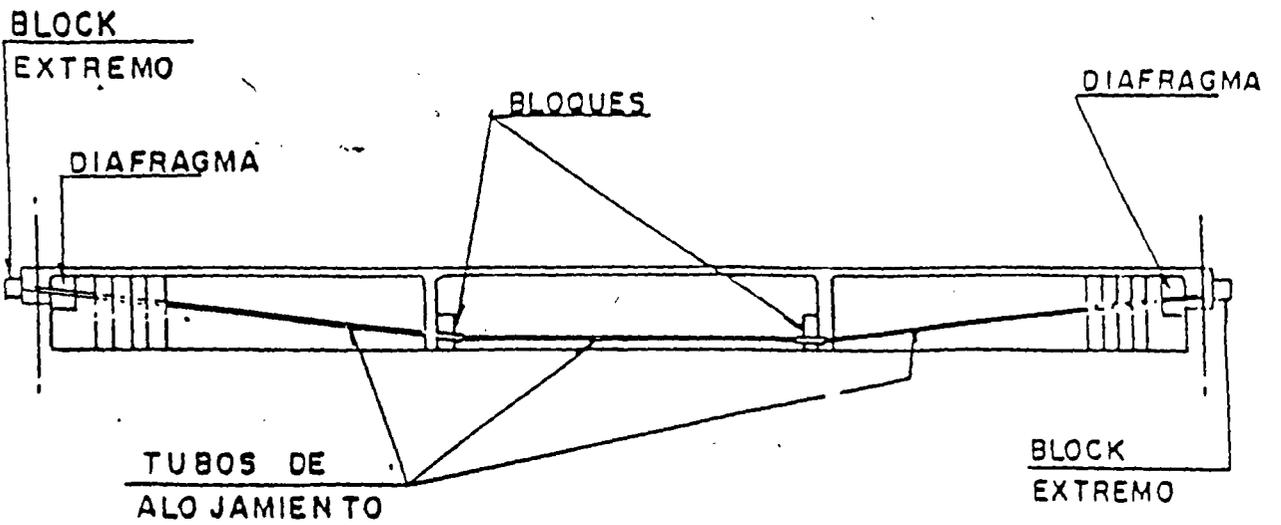
Consiste en la adición de cables exteriores que proporcionan una fuerza que se opone a la carga exterior.

En general, suelen haber los siguientes tipos de cables:

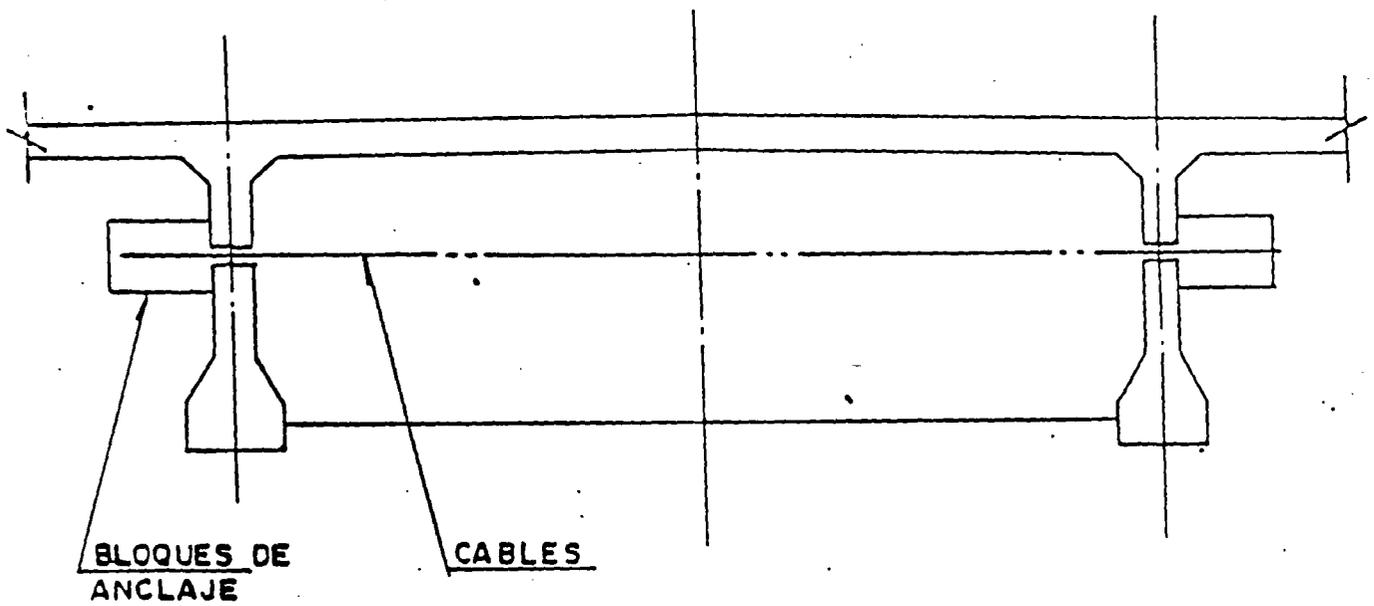
- Cables longitudinales, de nevaduras.
- Cables transversales, de diafragmas
- Cables verticales, como estribos adicionales.
- Barras para reforzamiento locales, como es el caso de mensuales.

Para transmitir este presfuerzo a las estructuras, se manejan bloques donde se alojan los anclajes y otros bloques desviadores en donde se hacen los cambios de curvatura. Estos se fijan a las nevaduras perforándolas y pasando barras de presfuerzo.

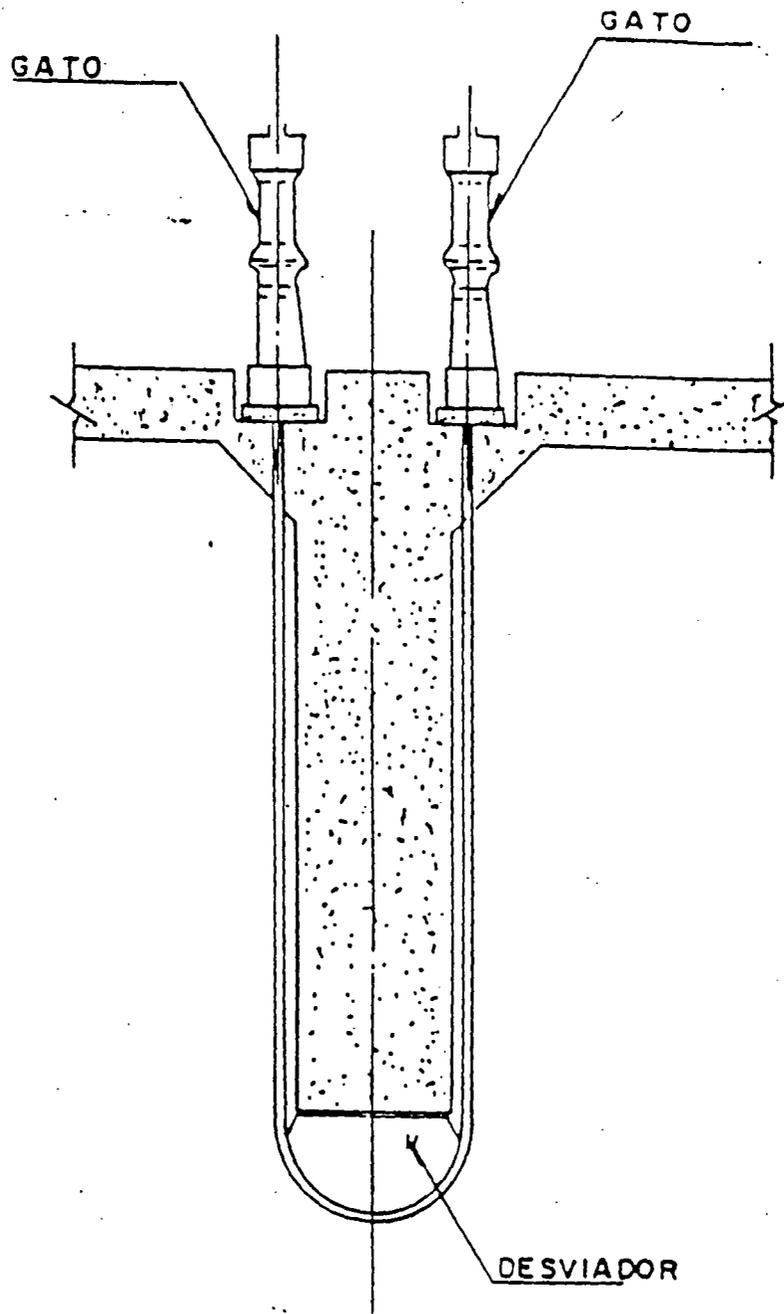
Como ejemplo podemos ver:



PRESFUERZO LONGITUDINAL



PRESFUERZO EN DIAFRAGMAS

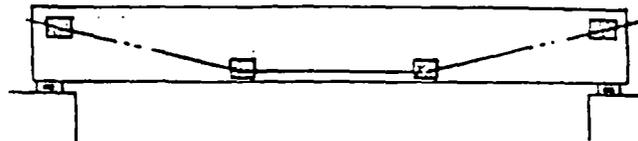


TENSADO SIMULTANEO POR DOS EXTREMOS

El método de reparación con presfuerzo exterior, tiene una gran ventaja en que prácticamente no se agregan pesos adicionales significativos y por lo tanto, no es necesario reforzar ni la subestructura, ni aumentar las cimentaciones, salvo que tengan algún otro problema.

Reforzamiento de una trabe con presfuerzo longitudinal.

El caso tipo se ve como en la figura, siempre con un número de cables simétricos, de cada lado de la trabe.



El cable somete a la trabe a una compresión P según su trazo.

Este valor de P , se descompone vectorialmente, en una fuerza horizontal P_h y una fuerza vertical P_v .

La fuerza vertical P_v descarga la fuerza cortante en una sección, reduciendo el valor de la misma que actúa en esa sección.

La fuerza horizontal P_h , genera una compresión axial del mismo valor (P_h) más un momento igual a $P_h \times e$, siendo "e" la excentricidad o distancia del cable al eje neutro de la sección; éste último es el momento del presfuerzo exterior y se puede observar que es opuesto al momento provocado por las cargas exteriores de peso propio o vivas; en éste caso también el momento total actuante en una sección por el efecto del presfuerzo exterior es menor.

El valor de P no es constante, teniendo en cuenta que el cable se aloja en un ducto de PHD al exterior de la trabe, la fuerza dependerá de:

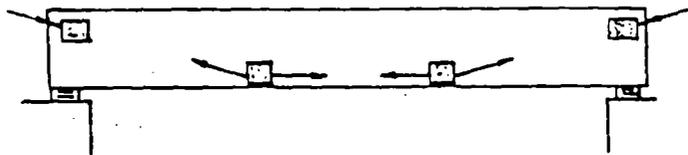
- valor de la fuerza de tensado.
- la fricción en línea solo existe en pequeñas porciones, al atravesar los bloques desviadores y de anclaje; se debe tener en cuenta que el cable está cubierto por un ducto y que éste último pasa al interior de los bloques, según los reglamentos, se pueden despreciar.
- pérdida por curvatura, solo en los bloques desviadores.
- entrada por deslizamiento de las cuñas en los anclajes.

de las pérdidas diferidas:

- no hay retracción del concreto ya que por la edad de la misma, esta ha dejado de ser significativo.
- hay flujo plástico originado por la aplicación del presfuerzo exterior, sin embargo hay que considerar que por la edad de la pieza, éste es de un valor menor que en un concreto de 14 ó 28 días.
- La relajación del acero existe y se debe tomar en cuenta.

De esta manera se determina la fuerza del presfuerzo P en cada sección, la cual se descompondrá en P_v y en P_h .

Para proseguir el estudio de la trabe, quitamos el cable de presfuerzo y vamos a dejar sobre los bloques el efecto de los mismos, para poder considerar que el sistema no se modifica, esto sería así:



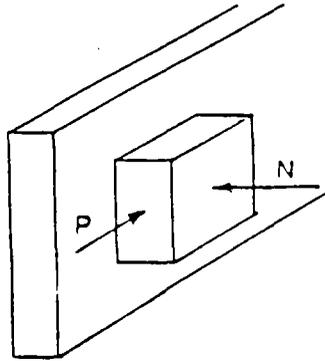
O sea en cada uno de los bloques actúa una fuerza, originada en el presfuerzo, misma que debemos transmitir a la trabe, esto se realiza usando la fricción del bloque cuando es comprimido por las barras de presfuerzo.

El valor de la fricción depende de dos parámetros.

- el estado de la superficie de la trabe y el bloque, en particular la rugosidad.
- el valor de la fuerza aplicada para comprimir el bloque.

A título de ilustración veremos los siguientes coeficientes que recomienda la Federación de Constructores Franceses, en base a ensayos que ellos realizaron.

$$K = \frac{P}{N}$$



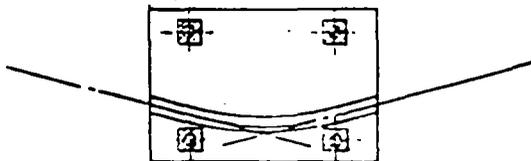
- bloque de concreto fresco sobre concreto endurecido 0.5
- bloque de concreto prefabricado sobre concreto endurecido 0.33
- bloque de acero sobre concreto fresco. 0.30
- bloque de acero sobre concreto endurecido. 0.25*

* si no hay ensayos.

Ellos dicen que se puede usar otro valor respaldado en el ensaye, no debemos de olvidar que el valor de diseño debe de estar dividido por un coeficiente de seguridad apropiado.

En la distribución de las barras de presfuerzo se deben observar las reglas de simetría, lo más posible, para que no aparezcan tensiones en el plano entre la cara de las trabe y el bloque.

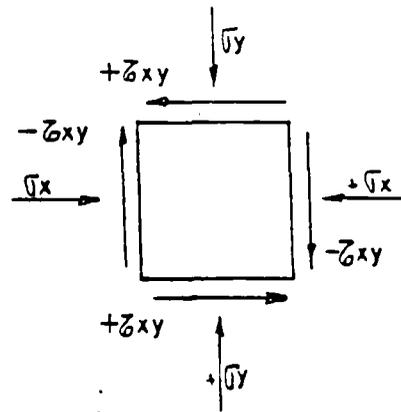
La trayectoria de los cables dentro de los bloques desviadores se deben rectificar las líneas quebradas con curvas.



ESTRIBOS VERTICALES PRESFORZADOS.

Cuando la capacidad a cortante es escasa, una de las maneras más eficientes de resolver esta situación, es mediante el uso del presfuerzo, tanto con cables longitudinales con trazo inclinado en los extremos así como adicionando estribos verticales presforzados o con la combinación de ambas acciones. Para ver como funciona cada una de estas acciones, haremos un repaso del círculo de Mohr y el estudio de los esfuerzos en un punto de una trabe sometida a flexión y cortante.

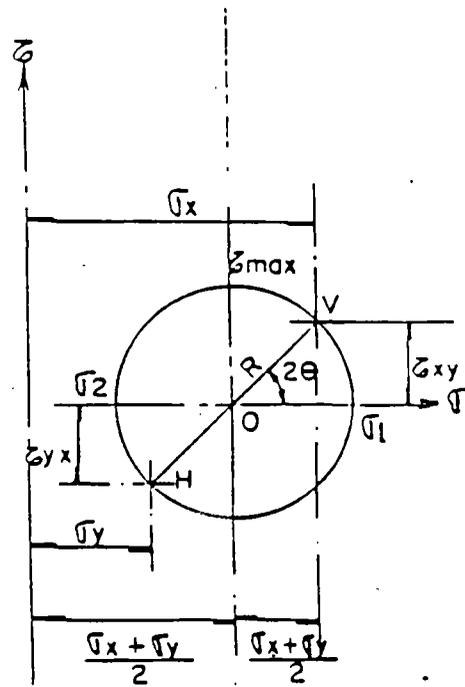
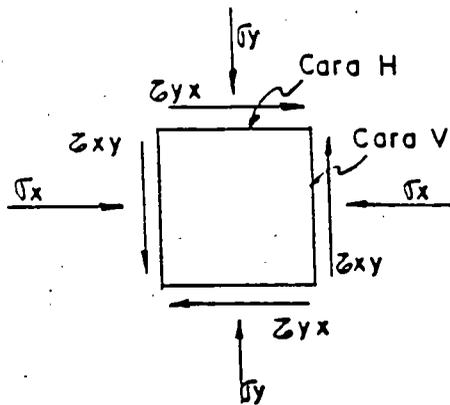
- 1.- El centro del círculo se localiza en $O = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$
- 2.- El radio del círculo es igual a $R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$
- 3.- Para la construcción del círculo se consideran esfuerzos normales de compresión, positivos.
Esfuerzos cortantes positivos, si el momento con respecto al centro del elemento es contrario al sentido del reloj.



- 4.- Para los diferentes planos que pasan por el punto en estudio, los componentes del esfuerzo normal y cortante, están representadas por las coordenadas de un punto que se mueve a lo largo del círculo de Mohr.
- 5.- El radio de la circunferencia, correspondiente a un punto de ella, representa el eje normal al plano cuyos componentes de esfuerzo vienen dadas por las coordenadas de ese punto del círculo.

- 6.- El ángulo entre radios de dos puntos del círculo de Mohr es el doble del ángulo entre los normales a los dos puntos que representan estos dos puntos.

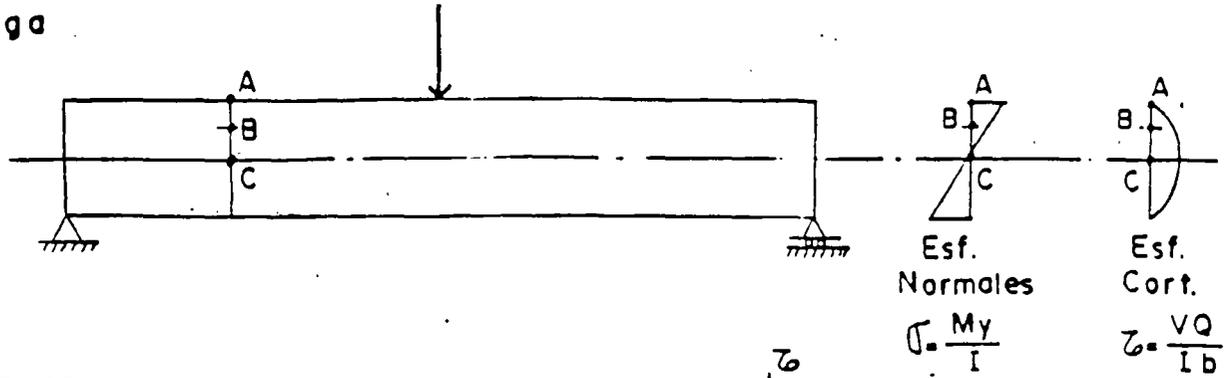
El sentido de rotación del ángulo es el mismo en la circunferencia que en la realidad, es decir, si el eje N forma un ángulo θ con el eje X en el sentido contrario al del reloj, el radio R de la circunferencia forma un ángulo 2θ con el radio R en sentido contrario al del reloj.



- σ_1 : Esfuerzo normal máximo
- σ_2 : Esfuerzo normal mínimo
- τ_{max} : Esfuerzo cortante máximo
- R : Radio de círculo.

EJEMPLO:

Viga

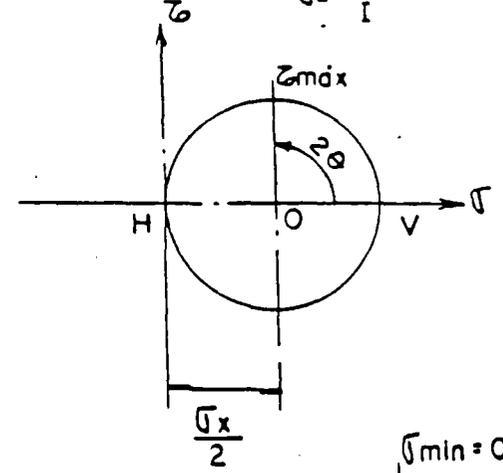
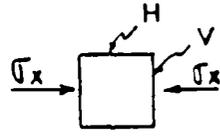


Para A:

$\sigma_x = \sigma_A$

$\sigma_y = 0$

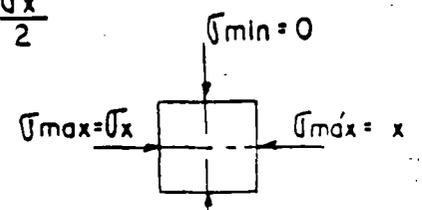
$\tau_{xy} = 0$



Centro $O = \frac{\sigma_x}{2}$

V $(\sigma_x, 0)$

H $(0, 0)$ \therefore No existe tensi3n



Esfuerzos principales:

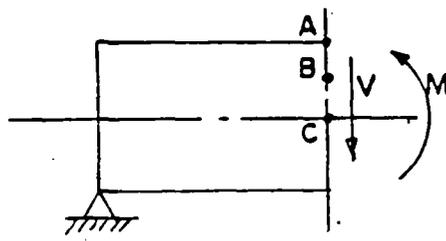
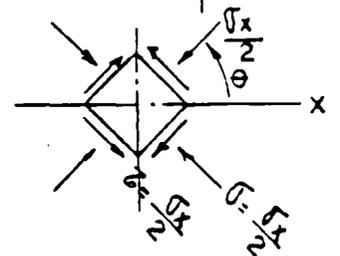
M3ximo $\sigma_1 = \sigma_x$

Compresi3n $2\theta = 0 \Rightarrow \theta = 0$

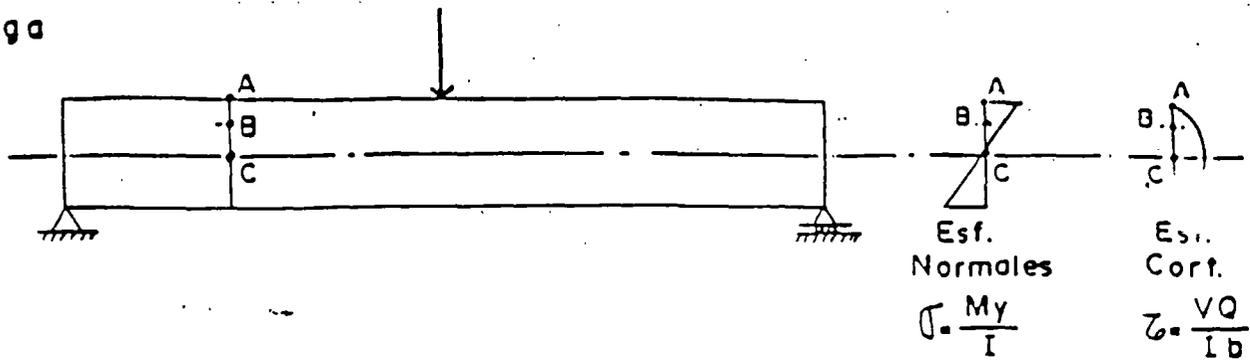
M3nimo $\sigma_2 = 0$

$z_{m3x} = \frac{\sigma_x}{2}$

$2\theta = 90^\circ$ sentido del reloj
 $\theta = 45^\circ$



Viga

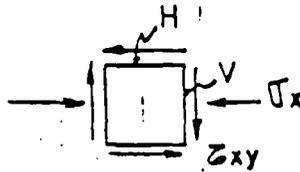


Para B:

$$\sigma_x = \sigma_B$$

$$\sigma_y = 0$$

$$z_{xy} = z_B$$



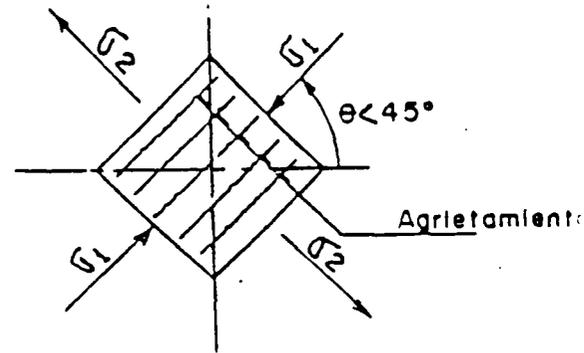
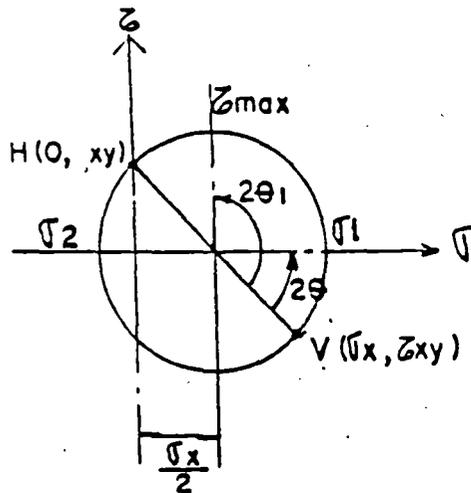
Centro $O = (\sigma_x/2, 0)$

$$\text{Radio} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{4} + z_{xy}^2}$$

$$\sigma_{\text{Máx}} = \frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{4} + z_{xy}^2}$$

$$\sigma_{\text{Mín.}} = \frac{\sigma_x}{2} - \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{4} + z_{xy}^2}$$

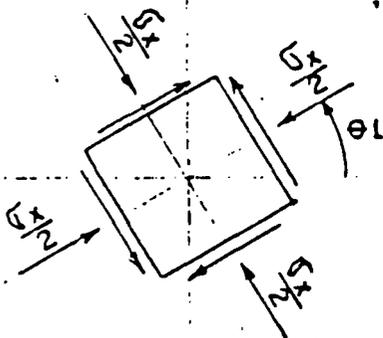
$$\sigma_{\text{Mín}} = 0 \quad \text{si } z_{xy} = \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma_x$$



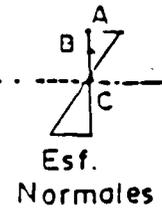
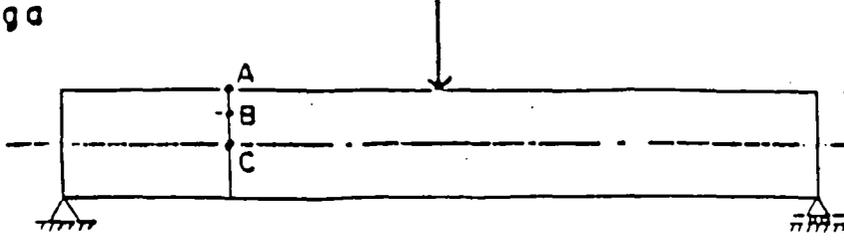
Esfuerzos Principales

$$z_{\text{max}} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{4} + z_{xy}^2}$$

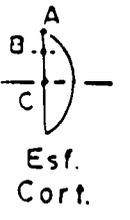
Asociado a $\sigma = \frac{\sigma_x}{2}$



Viga



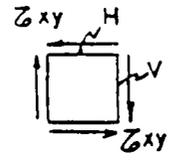
$$\sigma = \frac{My}{I}$$



$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$

Para C:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 0 \\ \sigma_y &= 0 \\ \tau_{xy} &= \tau_c \end{aligned}$$

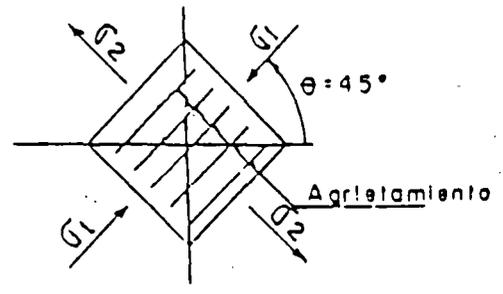
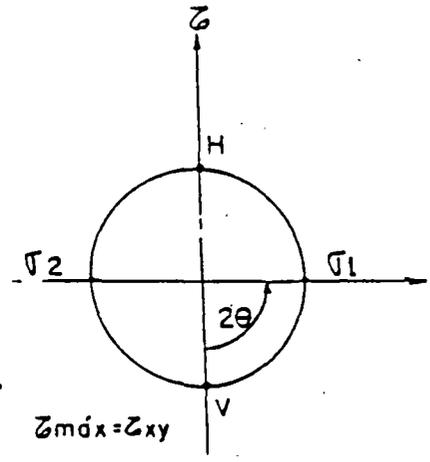


Centro $O = (0,0)$

Radio $R = z_{xy}$

$$\sigma_{max} = z_{xy}$$

$$\sigma_{min} = -z_{xy}$$



Esfuerzos principales

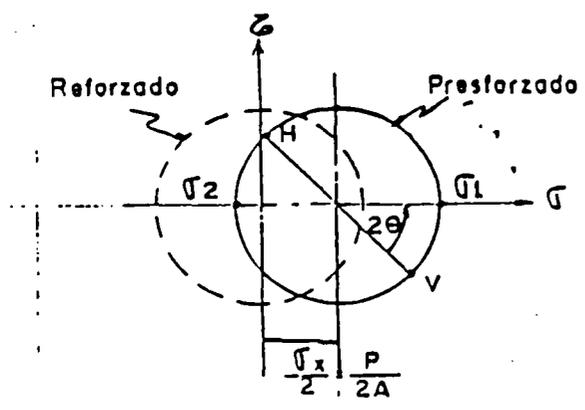
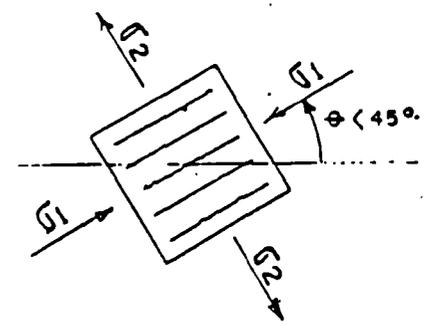
Con presfuerza longitudinal

En C:

$$\sigma_x = P/A$$

$$\sigma_y = 0$$

$$\tau_{xy} = \tau_c$$



El círculo se desplaza hacia la zona de compresión y el ángulo de agrietamiento disminuye

Colocando presfuerzo vertical, además del presfuerzo longitudinal

$$\sigma_y = \frac{F}{Sb}$$

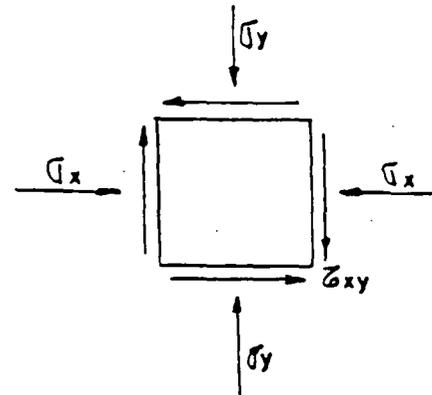
S: Separación de estribos.

b: Ancho del alma.

F: Fuerza en el cable.

$$\sigma_x = \frac{P}{A}$$

$$\tau_{xy} = \tau$$

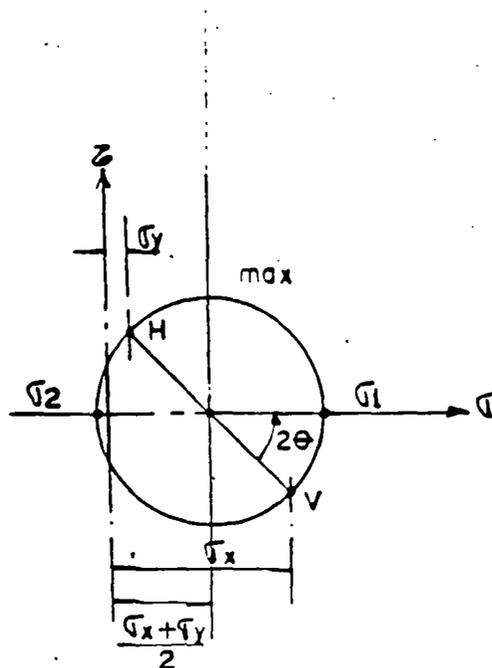


Observaciones

1. Disminuye el radio del círculo.

2. Si $\sigma_y \geq \frac{\tau_{xy}}{\sigma_x}$ No hay esfuerzos de tensión.

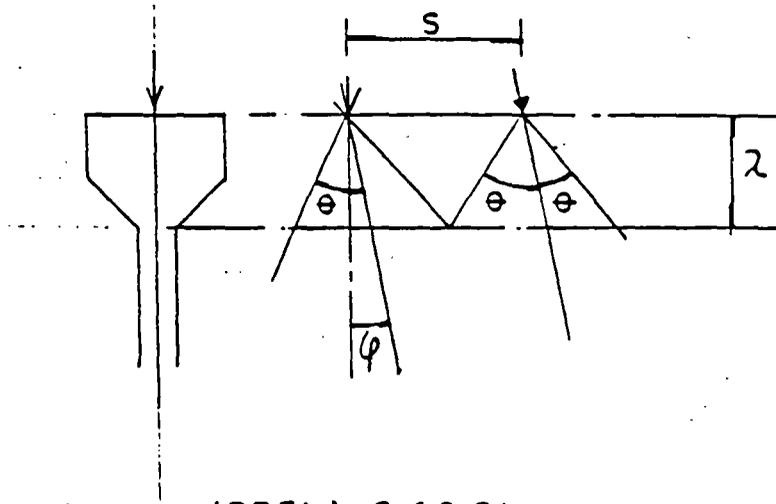
3. El círculo se recorre hacia la zona de compresión



Para comprimir uniformemente la sección:

$$S = \frac{12 \lambda}{9 - 13 \sin \varphi} \quad \text{Comunmente } \varphi = 0$$

Lo anterior representa tener $\tan \theta = 2/3$



Reglamentariamente (BPEL) $S \leq 0.8 h$

Criterio de revisión

1º Revisar la capacidad existente.

si sollicitación > capacidad

entonces se revisa el acero necesario

a) Por esfuerzos permisibles.

$$Z_{adm} \leq 0.4 f_{tj} \left[f_{tj} + \frac{2}{3} \sigma_x \right]$$

$$\text{Si } Z_{adm} > Z_{ac} = \frac{V Q}{I b}$$

Entonces se debe colocar un presfuerzo tal que

$$\sigma_y = \frac{f_{tj} + \frac{2}{3} \sigma_x - \frac{Z_{ac}^2}{0.4 f_{tj}}}{\frac{2}{3} + \frac{\sigma_x}{0.4 f_{tj}}}$$

b) Adicionalmente se deberá revisar por resistencia última.

Como resultado de lo anterior, podemos comentar lo siguiente:

a) Al colocar cables de presfuerzo exterior se logra lo siguiente:

a1) Una compresión en el sentido longitudinal, lo cual desplaza el círculo de Mohr hacia la zona de compresiones, con lo que se reduce el esfuerzo principal de tensión.

a2) Si el cable es inclinado, la componente vertical en las secciones que actúa, es una descarga a la fuerza cortante originada por cargas vivas y muertas; por lo que el cortante que actúa en cada sección se reduce.

b) Al colocar estribos verticales presforzados, se logra lo siguiente:

b1) El círculo de Mohr se recorre hacia la zona de compresión, con lo que se reduce el esfuerzo principal de tensión.

b2) El radio del círculo se reduce, por lo que disminuye el esfuerzo principal de tensión.

Como aspectos tecnológicos, podemos comentar:

1) Hay que hacer un desviador de estribo vertical respetando los radios mínimos que especifica el fabricante del cable a emplear, en general es toron de 0.5' ó 0.6'.

2) Se debe proteger el cable, en general se usa un ducto de polietileno de alta densidad (PHD) y se inyecta con lechada al interior, después del tensado.

3) Como el cable es muy corto es necesario.

-tensar simultáneamente por ambos extremos.

- emplear un anclaje especial con recuperación de la entrada de cuña.

4) Para alojar a los anclajes, se hace una caja en la losa superior, en la zona de cartela de la trabe ya que es más gruesa.

-Hay que estudiar con mucho cuidado este detalle, ya que se debilita la sección estudiando el aplastamiento bajo el anclaje y revisando el punzonamiento que se genera en el fondo de la caja.

En la gran mayoría de los casos, al cortar las puntas y para lograr un recubrimiento adecuado de los mismos, se llega a necesitar la colocación de una sobrelosa.

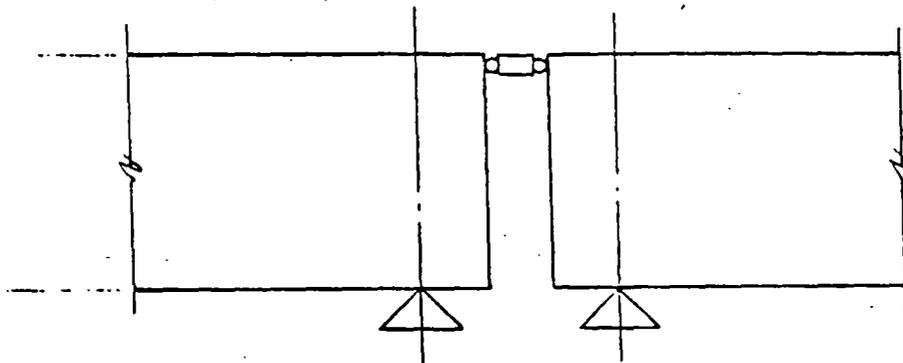
Continuidad de los puentes.

La mayoría de los puentes que se reparan en México son a base de vigas, prefabricadas o coladas in situ. Cuando este tipo de puentes tiene problemas por la falta de capacidad a flexión de las traveses, es común reforzarlos por medio de presfuerzo exterior.

Cuando el puente en cuestión, está constituido por más de un tramo, en ciertos casos es conveniente proponer que el presfuerzo adicional sea continuo a lo largo de todo el puente, esto nos traerá como beneficio:

- a) Eliminar juntas de calzada
- b) Reducir el mantenimiento
- c) Superficie de rodamiento confortable.
- d) Reducción en número de anclajes del presfuerzo adicional.

La continuidad se logra colocando un pequeño puntal a compresión en la parte superior de la trabe, conceptualmente, esto sería así:



Esto se materializa haciendo unas pequeñas cajas en la trabe y se proyecta un bloque de concreto de manera que pase la fuerza de compresión del presfuerzo y no se junten las traveses. Para el detallado del bloque los aceros del mismo no deberán crear continuidad con el refuerzo de la trabe.

El trabajo de la estructura no se modifica, ya que esta continua siendo isostática con respecto a cargas verticales, la única novedad es que por la articulación entre tramos, esta pasa a ser continua con respecto a deformaciones longitudinales.

Como la junta que había, ya no es efectiva debido a la instalación del mecanismo mostrado más arriba, es necesario cerrar la losa del tablero. Para ello se le dará continuidad a la losa colocado un refuerzo tipo articulación.

Finalmente es importante señalar que se deberá de tener cuidado en el dimensionamiento de los apoyos, ya que estos si sufrirán modificaciones debido a la continuidad del tablero para deformaciones y fuerzas horizontales.

Para el cambio de apoyos futuro, deberemos tener la precaución que al gatear se deberán levantar los dos apoyos que concurren a un eje. Se debe señalar que en general es necesario levantar solo del orden de 1 cm., por lo que se puede hacer en un solo eje por vez y dada la flexibilidad de una estructura, no es necesario levantar todos los ejes a la vez por ser continuo.

Casos en que no es conveniente éste tipo de solución:

- 1) El hecho de ser necesario cambiar el sistema de apoyo, hace que se pudiese cambiar la distribución de fuerzas sísmicas en los diferentes ejes. La primera idea es lograr una distribución lo más parecida posible.

Si lo anterior no fuera posible, es obligatorio revisar la cimentación, para esto es necesario consultar los planos de cimentación y el resultado de los estudios de mecánica de suelos.

Si esta información no está disponible, hay dos alternativas hacer un estudio de mecánica de suelo o abandonar esta solución.

- 2) En algunos casos hay problemas constructivos para colocar los bloques como el caso de extremos de trabes postensadas con alta densidad de anclajes y que no conviene hacer demoliciones en este punto.
- 3) Finalmente, puede que esta solución por los cambios que haya que hacer resulte finalmente más costosa que otra y se descarte por esa razón.

"CAMBIOS DE APOYOS

Esta operación se efectúa tanto como parte de una campaña de mantenimiento (sustitución por intemperización), o como parte de una rehabilitación (capacidad escasa o daños).

En los dos casos se requiere necesariamente un estudio previo para revisar los puntos que veremos a continuación. Est no quiere decir que forzosamente a cada vez que se haga un cambio de apoyos en una estructura se deba de hacer un estudio, pero debe de hacerse por lo menos uno y para siempre.

Lo más lógico es que el estudio para el cambio de apoyos forme parte del proyecto original de cada de cada puente, así se pueden prever desde la construcción los espacios necesarios para los gatos y que todos los elementos resistan la operación.

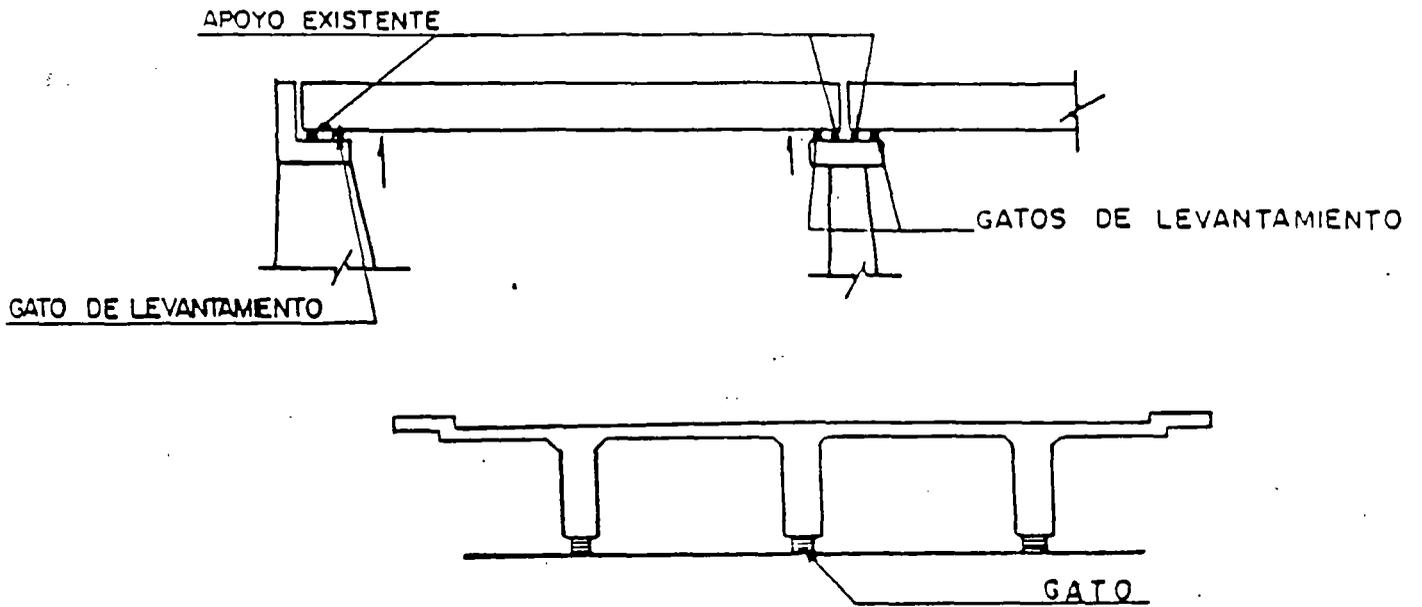
Cuando no se previó esto desde un principio, la adición de elementos "extras" pueden ser en algunos casos costosos.

Es muy importante que en el estudios se revisen los siguientes puntos:

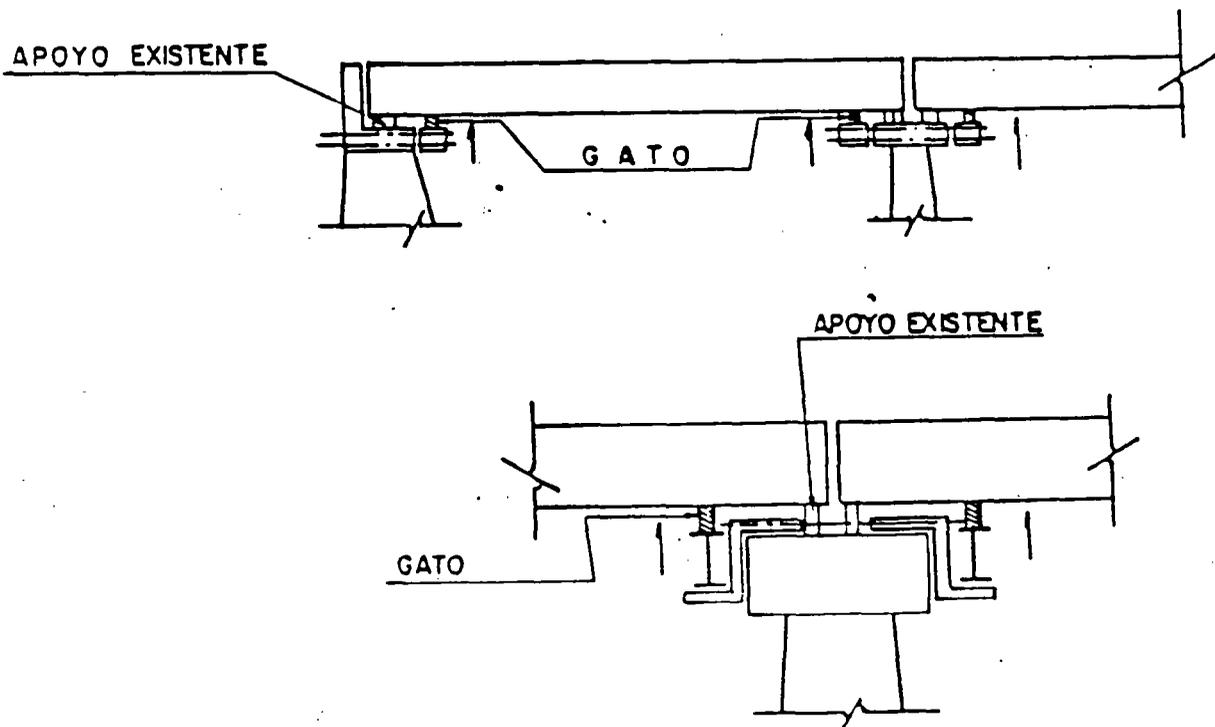
- a) Que para la maniobra de levantamiento, no se presenten condiciones de inestabilidad al apoyar tablero sobre los gatos.
- b) Calcular, con la mejor precisión, las cargas reales.
 - Cargas muertas
 - Cargas vivas con impacto, esto si el cambio se hace con circulación.
- c) Revisar cuidadosamente las zonas de apoyo del gato (arriba y abajo)
Eventualmente se deben prever adecuaciones y reforzamientos locales.
- d) Revisar la resistencia y la estabilidad de los elementos en los que se apoyan los gatos.

A continuación veremos algunas formas típicas para galear el tablero de un puente:

1) Levantamiento por la trabe cuando hay espacio para el gato.



2) Levantamiento por la trabe, a partir de un bloque o estructura adicional.

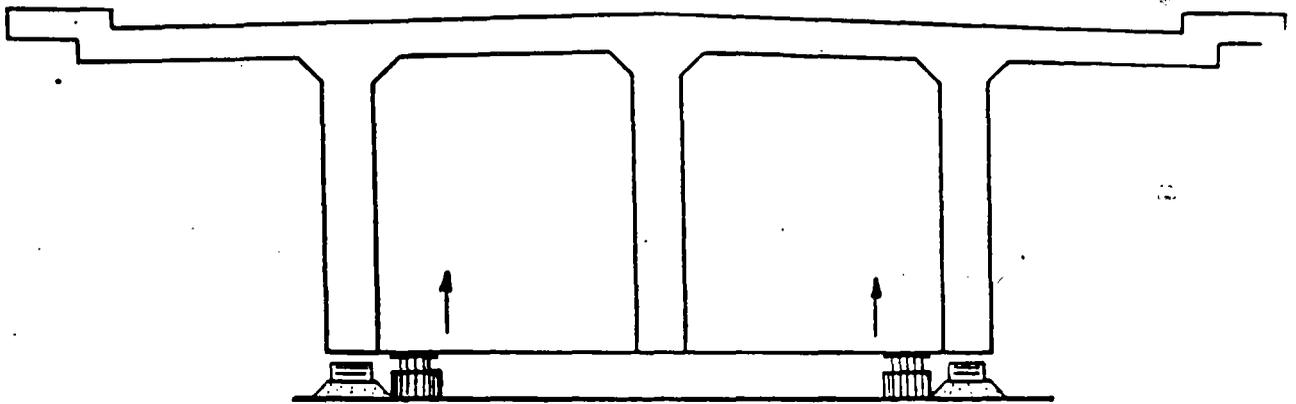


3) Levantamiento por el diafragma:

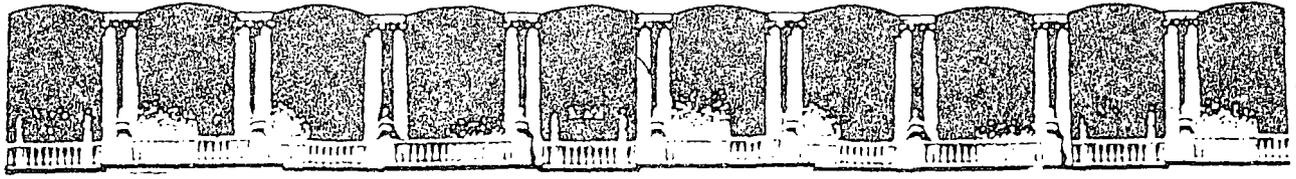
Para este caso, se debe revisar adicionalmente:

- a) La capacidad de los diafragmas.
- b) Calidad de la conexión viga-diafragma.

En caso de no ser satisfactorias estas condiciones, se deben de tomar precauciones especiales.



LEVANTAMIENTO POR EL DIAFRAGMA.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

INSPECCION, MANTENIMIENTO
Y REHABILITACION DE PUENTES

Conservación de puentes en autopistas concesionadas

Del 23 al 27 de septiembre de 1996

PALACIO DE MINERIA
1996

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSO DE CAPACITACION
INSPECCION, MANTENIMIENTO Y REHABILITACION DE PUENTES**

CONSERVACIÓN DE PUENTES EN AUTOPISTAS CONCESIONADAS

***ANTECEDENTES DEL PROGRAMA NACIONAL DE AUTOPISTAS Y PUENTES DE
CONCESIONADOS:***

CONTEXTO ECONOMICO

La crisis de los ochenta

A mediados de la década de los setenta, México empezó a experimentar una importante disminución de su actividad económica por el agotamiento de sus estrategias económicas ante las crecientes demandas sociales y los profundos cambios en el entorno económico mundial. El déficit fiscal, aunado a importantes cuellos de botella en infraestructura, ocasionó que durante 1976 la inflación alcanzara un récord del 30 por ciento y la moneda se devaluara, por primera vez en 22 años, en más del 50 por ciento.

En respuesta, en 1977 el Gobierno Mexicano instrumentó un programa de austeridad y durante este mismo año fueron descubiertos importantes campos petroleros.

Ante esta nueva situación, el Gobierno Federal intentó acelerar sus procesos de desarrollo para satisfacer las demandas de la creciente población. Dado que la economía continuaba cerrada al exterior, y la inversión privada estaba retraída, el Gobierno multiplicó su presencia en los procesos productivos.

Así, hacia fines de 1982, el Gobierno era dueño mayoritario de más de mil empresas y el gasto público había pasado del 15 por ciento del PIB en 1976, al 30 por ciento en 1982 y experimentaba niveles de déficit presupuestal superiores al 5 por ciento del PIB.

Entre 1976 y 1982 la balanza comercial se deterioró substancialmente. El déficit en cuenta corriente se financió a través de exportaciones petroleras y créditos

internos y externos. La magnitud del problema llevó a una deuda externa del sector público de 60 mil millones de dólares y a una deuda interna de 27 mil millones de dólares en 1982.

El panorama económico de México se deterioró, y a finales de 1982 el país anunció que no era capaz de servir los intereses de la deuda externa, con lo que se inició la crisis económica de la década pasada, parte de cuya secuela fue un círculo vicioso de inflación, devaluación y estancamiento que asoló a México durante la primera parte de esa década.

La falta de recursos financieros para apoyar el crecimiento ocasionó depresión económica y falta de inversión, tanto en infraestructura como en nuevos proyectos, dentro de los sectores público y privado.

En 1985, el Gobierno Mexicano planteó una nueva estrategia de desarrollo. Se buscaba resolver problemas macroeconomicos apoyándose, entre otros factores, en la apertura comercial.

El cambio estructural de finales de los ochenta

Los cambios instituidos desde mediados de la década pasada buscaban revertir la tendencia negativa de la economía y sentar las bases para conformar una nueva estrategia económica de desarrollo y lograr con esto un crecimiento sano y sostenido. Estos cambios pueden agruparse en cuatro áreas:

- ★ Saneamiento de las finanzas públicas
- ★ Marco económico de apertura
- ★ Privatización de empresas no estratégicas
- ★ Desregulación de sectores clave.

Saneamiento de las finanzas públicas

El panorama económico de mediados de los ochenta ofrecía una perspectiva de estancamiento, inflación y devaluación que imposibilitaba que México recuperara el crecimiento económico indispensable para enfrentar las expectativas de un buen nivel de vida de sectores cada vez más numerosos de la población.

Ante la necesidad de crecer, el gobierno se encontraba con que carecía de los recursos de inversión necesarios para enfrentar, por si solo, la tarea de revitalizar la economía. En consecuencia, decidió transformar la estrategia económica

prevaleciente para abrir espacios a la inversión privada, nacional y extranjera, que vendría a complementar los esfuerzos del sector público. Un elemento fundamental consistió en estabilizar la economía nacional a través del saneamiento de las finanzas públicas, abrirla hacia el exterior e iniciar la negociación de tratos comerciales orientados a estimular las exportaciones de México.

Esta estrategia económica del Gobierno de la República reconoció la importancia de eliminar riesgos y dar certidumbre a los inversionistas para facilitar el flujo de inversiones hacia México. En consecuencia, implantó medidas para estimular el desarrollo de proyectos de inversión con recursos privados

Participación del sector privado en el desarrollo de infraestructura en México

La participación del sector privado en los proyectos de infraestructura en México se considera clave para continuar impulsando la actividad económica ya que la infraestructura juega un papel central como sustento y elemento promotor del desarrollo económico. Esta se comporta de la misma forma que las inversiones de capital en una empresa privada: la existencia de una infraestructura suficiente es indispensable para que puedan darse los proyectos que propician mayor productividad y eficiencia. En consecuencia, cuando un país invierte en infraestructura básica, el desarrollo que adquiere, medido en términos del PIB per capita, se incrementa más que proporcionalmente que las inversiones realizadas.

Es importante señalar que la infraestructura *-per se-* no necesariamente promueve la generación de riqueza, aunque se convierte en un elemento catalizador, cuyo impacto corresponde a la voluntad de realizar inversiones en activos productivos.

Los nuevos países industrializados presentan un claro ejemplo de cómo una anticipación adecuada de inversiones en infraestructura ha sido clave para la promoción del desarrollo económico.

El PIB per capita de México en 1991 representó cerca del 68 por ciento del que contaba Corea, casi el 50 por ciento de Taiwan, 30 por ciento de España y 16 por ciento del que había logrado Estados Unidos de América. La comparación de los niveles de infraestructura de México con las de estos países refleja diferencias más amplias, lo que indica el potencial de desarrollo de la infraestructura de México

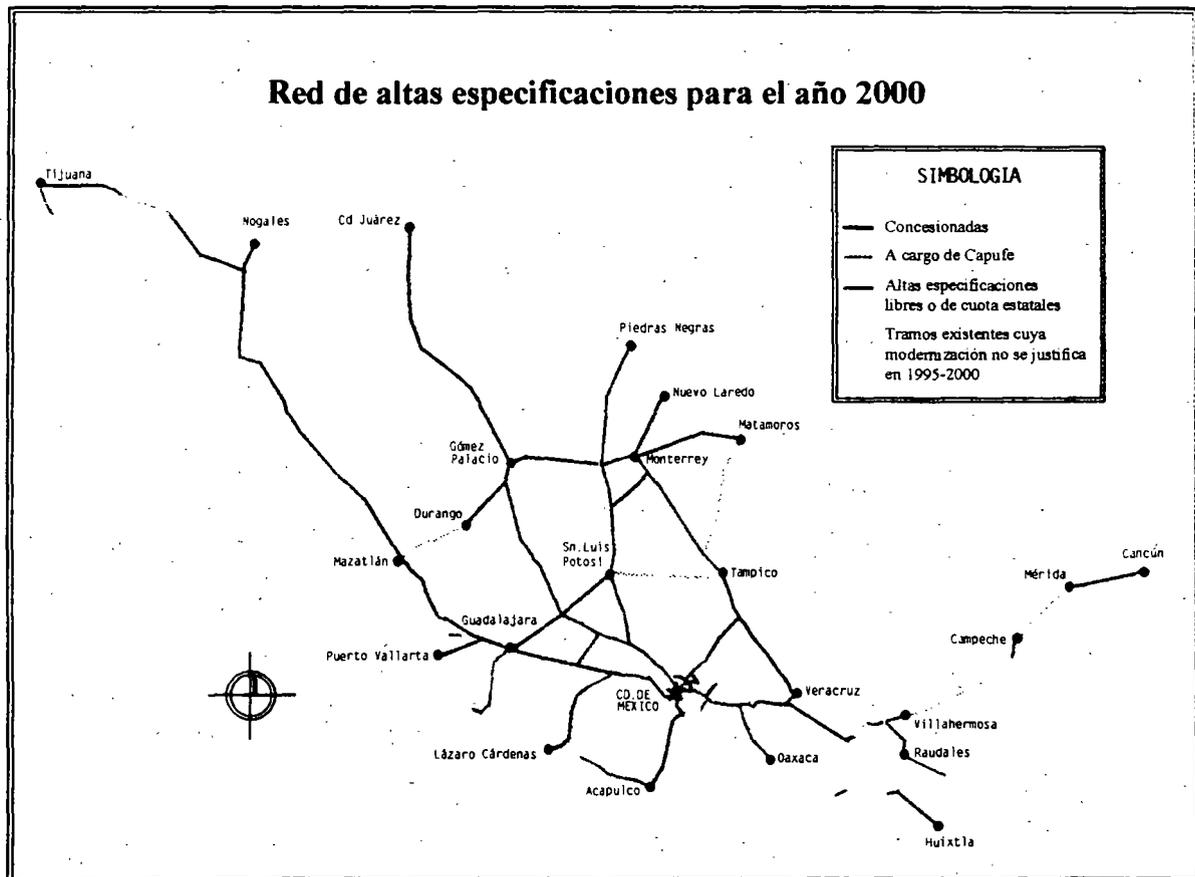
En carreteras, en términos de longitud de la red carretera nacional en relación a la superficie del país, México tiene el 21 por ciento de las de Taiwan y Corea y 18 por ciento de las de España y Estados Unidos de América.

En virtud de la situación prevaeciente en nuestro país antes comentada y con el fin de impulsar el desarrollo de nuestra infraestructura carretera, en 1989 el Gobierno de la Republica tomó la desición de crear el siguiente programa:

PROGRAMA NACIONAL DE AUTOPISTAS Y PUENTES CONCESIONADOS

México ha desarrollado el programa de mayor magnitud a nivel mundial en construcción de autopistas concesionadas al sector privado. A partir de 1989 se han construido y puesto en operación 4,774.00 kilómetros de nuevas autopistas de alta especificación de cuatro carriles además de 5 puentes internacionales y 2 puentes nacionales y se espera que próximamente se termine la construcción de 154 kilómetros.

Para la construcción de estos casi 5,000 kilómetros y siete puentes se han realizando inversiones cercanas a los 15 mil millones de dólares, con la aportación del 90 por ciento de los recursos totales a cargo del sector privado. Gracias a este ambicioso programa se han logrado construir más de 750 kilómetros por año y se espera que para el año 2000 se cuente con la red de altas especificaciones que se muestra en la siguiente figura:



El Gobierno de la República otorga a particulares, por medio de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), la concesión para construir, explotar, operar y conservar autopistas de cuota con plazos no mayores de 30 años prorrogables por el plazo original. La SCT define el proyecto y las normas de construcción, y además supervisa su construcción, operación y mantenimiento

El esquema utilizado ha consistido en otorgar las concesiones a quien ofrezca el menor plazo de concesión.

La concesión es el acto administrativo discrecional por medio del cual la autoridad faculta a un particular para establecer y explotar un servicio público o para utilizar bienes del estado dentro de los límites y condiciones que la ley marca.

En el título de concesión se establecen diversas cláusulas de entre las cuales se mencionan las siguientes:

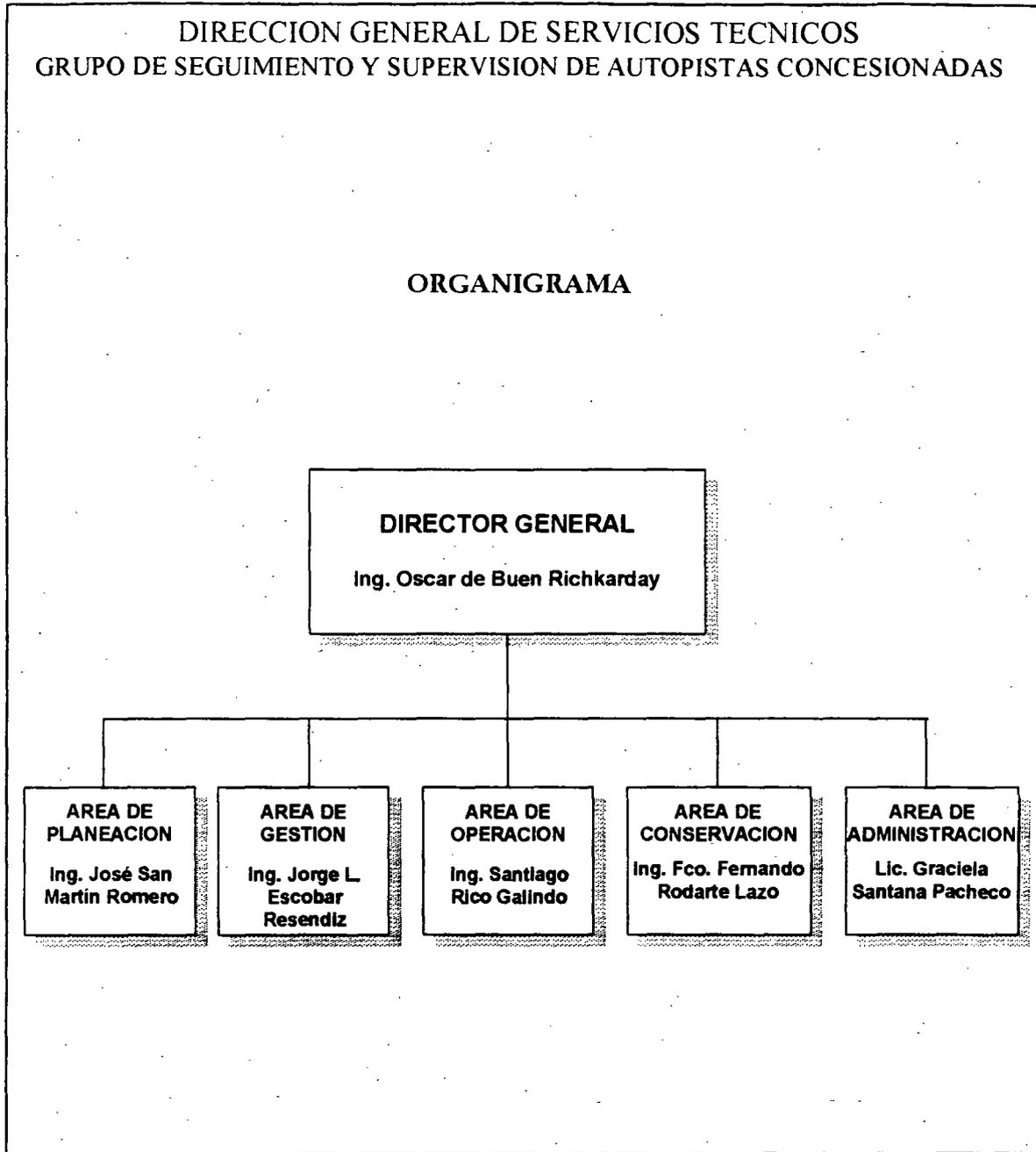
- ✪ "La Secretaría podrá realizar en cualquier tiempo inspecciones a las instalaciones afectas a la explotación de la carretera o puente, a efecto de verificar sus condiciones físicas y estado de conservación ..."
- ✪ "La Concesionaria estará obligada a conservar la carretera o puente y sus partes integrantes en condiciones que permitan un tránsito fluido y seguro, atendiendo al programa de conservación que se anexa al presente título."

Es en el marco de la supervisión de la operación y conservación y ante la necesidad de mantener la rectoría y normatividad de la SCT en las 52 autopistas y 7 puentes concesionados, que se crea el "Grupo de Seguimiento y Supervisión de Autopistas Concesionadas", en apoyo al desarrollo de las actividades indicadas en el reglamento interno de la Secretaría adjudicadas a la Dirección General de Servicios Técnicos, en el ámbito de las concesiones.

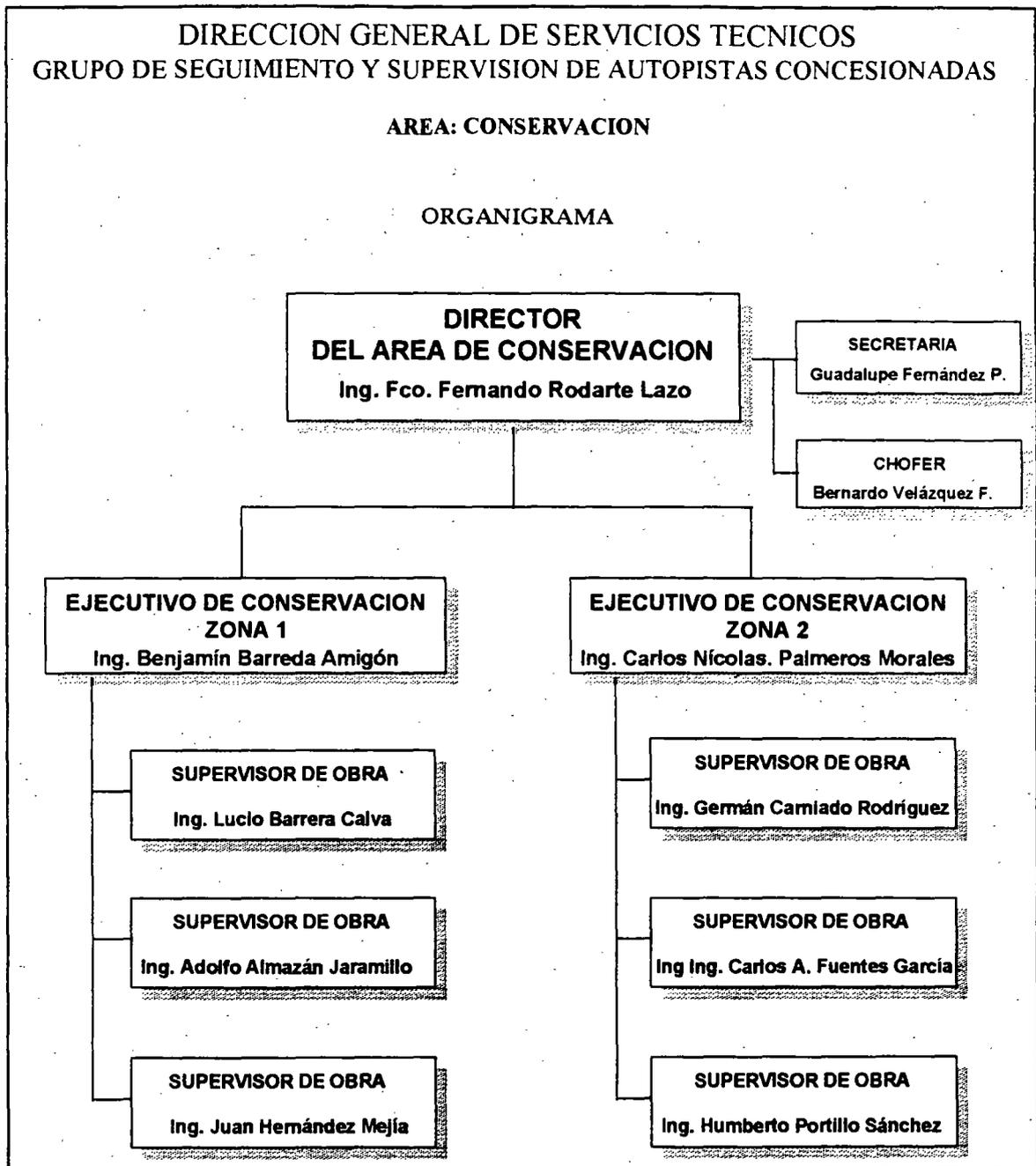
El mencionado Grupo está constituido por 4 áreas técnicas y una administrativa, las técnicas son las siguientes:

- ✪ Area de Planeación
- ✪ Area de Gestión
- ✪ Area de Operación
- ✪ Area de Conservación

El organigrama del Grupo de Seguimiento es el siguiente:



El organigrama del área de conservación es el siguiente:



AREA DE CONSERVACION

Objetivos

Supervisar la conservación de las autopistas y puentes concesionados a fin de:

- ✳ Que se mantengan en condiciones óptimas de servicio, confort y seguridad cumpliendo con la calificación mínima establecida en el título de concesión (400 puntos.);
- ✳ Preservar el patrimonio que una vez cumplido el plazo de concesión revertirá a la Nación.
- ✳ Proponer lineamientos, normas, manuales, o sus actualizaciones, relativos a la conservación de autopistas y puentes concesionados, a fin de eliminar discrecionalidad en las decisiones.
- ✳ Registrar los costos de conservación y en su caso, coordinar la revisión de precios unitarios.

Principales acciones

- ✳ Revisión, actualización y complementación del "Sistema de Seguimiento de los Programas de Conservación en Autopistas y Puentes de Cuota" el cual en su versión simplificada (para los fines de esta exposición), incluyendo los anexos que se refieren exclusivamente a puentes se encontraran al final de este documento.
- ✳ Requerimiento, recepción, registro y revisión de los programas de conservación.
- ✳ Realización de reuniones de coordinación con las concesionarias y en su caso con otras Unidades Administrativas de la Secretaría y otras dependencias u organismos, sobre programas de conservación.
- ✳ Inspección de autopistas y puentes concesionados para validar sus programas de conservación y su estado físico.
- ✳ Implantación de los sistemas de registro de la información relativa a la conservación y su actualización periódica.
- ✳ Comunicación frecuente con las concesionarias y Centros S.C.T. para el seguimiento de la conservación.
- ✳ Aclaración de dudas y cuestionamientos de las concesionarias; asesoría para implantación de medidas favorables a la conservación.

- ✦ Elaboración de propuestas de modificaciones o adiciones a la normatividad relativas a la conservación.

Programas

- ✦ Post-construcción.
- ✦ Conservación Rutinaria.
- ✦ Conservación Preventiva y Correctiva.
- ✦ Administración.
- ✦ Ampliaciones.

Instrumentos y elementos de apoyo para el seguimiento de la conservación

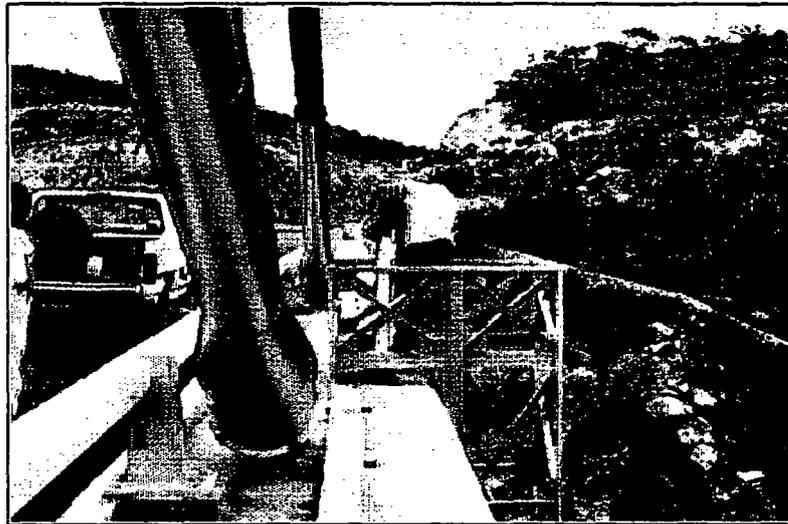
- ✦ Visitas de inspección.
- ✦ Reuniones de trabajo.
- ✦ Revisión y seguimiento de los programas.
- ✦ Calificación de las autopistas y puentes.
- ✦ Uso de paquetería de software especializada :
 - ◇ Administración de conservación de autopistas.
 - ◇ Diseño de pavimentos y de refuerzo de pavimentos, incluyendo análisis de costos de ciclos de vida.
- ✦ Administración de puentes.
- ✦ Bases de datos para el control y seguimiento de la información.
- ✦ Reglamentos, Normas y Manuales :
 - ◇ Procedimientos para el seguimiento y supervisión de la conservación de autopistas y puentes de cuota.

- ◇ Normas para calificar el estado físico de las autopistas.
- ◇ Normas para construcción e instalaciones, de la SCT, etc.

✦ Generación de documentos (informes, oficios, minutas, notas informativas, etc.)

EJEMPLO DE ALGUNAS ACTIVIDADES ESPECIFICAS

◆ Autopista: Cuernavaca- Acapulco



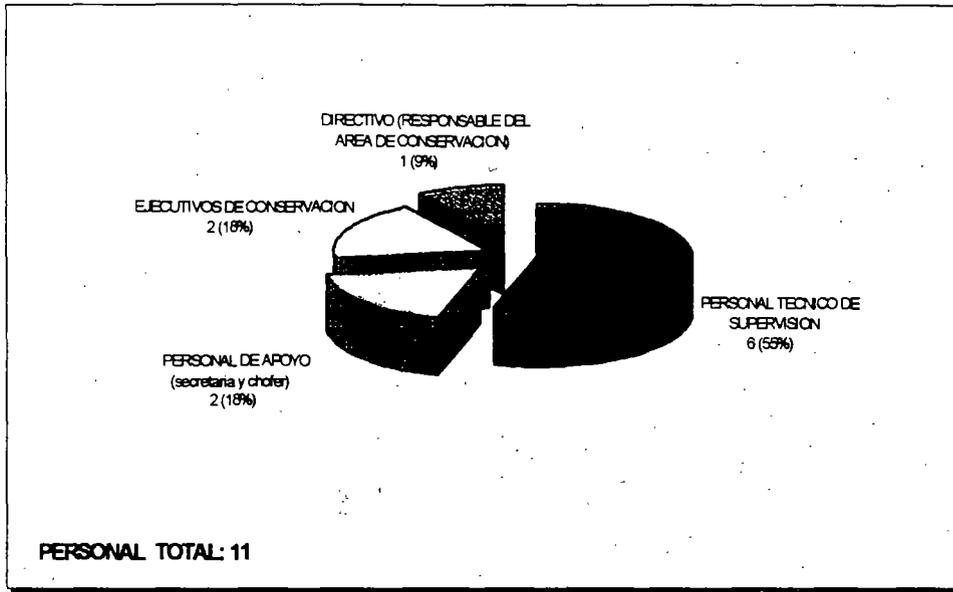
• **PUENTES ATIRANTADOS (PESAJES)**

- Obras faltantes por afectaciones que pueden ocasionar conflictos sociales.
- Obras de post-construcción.
- Conservación menor y mayor.

Recursos con los que se cuenta para el seguimiento de la conservación en autopistas y puentes concesionados

Recursos humanos:

Equipo de apoyo:



- Diez computadoras
- Software básico
- Software especializado
- Un vehículo.

Se cuenta además con el apoyo de las Unidades Generales de Servicios Técnicos.

**SISTEMA
DE SEGUIMIENTO
DE LOS PROGRAMAS
DE CONSERVACION EN
AUTOPISTAS Y PUENTES
DE CUOTA**

(versión simplificada)

SEPTIEMBRE, 1995

Presentación

Con el objeto de facilitar las labores de **Seguimiento del Programa Nacional de Autopistas y Puentes Concesionados**, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, a través de la Subsecretaría de Infraestructura y de la Dirección General de Servicios Técnicos, ha elaborado el Sistema de Seguimiento y Control de Autopistas y Puentes Concesionados, que incluye los aspectos de operación, información, conservación y finanzas.

El sistema ha sido implantado en su primera fase durante 1994, año durante el cual se sentaron las bases del seguimiento permanente y sistemático del Programa por parte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. La primera etapa comprendió las áreas de operación, información y conservación; desarrollándose esta última en los términos descritos en este documento.

Con la presente información actualizada, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha buscado presentar al concesionario los elementos de cada programa de conservación, así como proporcionarle una guía de referencia básica que le resulte útil para orientar las decisiones necesarias para la instrumentación del sistema.

Seguimiento de la conservación

El título de concesión para construir, explotar, operar y conservar una autopista o puente incluye un programa de conservación y mantenimiento de la obra y sus partes. La empresa concesionaria se obliga a cumplirlo para asegurar que aquellos se encuentren siempre en óptimas condiciones de servicio, que permitan un tránsito fluido y seguro de los usuarios y eviten su deterioro progresivo.

Para fortalecer el seguimiento sistemático de la conservación, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha establecido un sistema capaz de asegurar que las condiciones de servicio de las autopistas y puentes concesionados son las merecidas por el público usuario.

Tomando en cuenta las características y la situación actual de las autopistas y puentes en operación que forman parte del programa, se considera conveniente preparar, para cada obra concesionada, un programa de conservación y mantenimiento que incluya los siguientes conceptos: Postconstrucción Conservación Rutinaria, Conservación Preventiva y Correctiva, Administración y Ampliaciones

El Programa de Postconstrucción busca asegurar que las autopistas y puentes tengan la calidad, los elementos y las condiciones que debieron resultar de una construcción impecable. Por tanto, se trata de un conjunto de acciones por realizar una sola vez, para dejar la autopista o puente en buenas condiciones de servicio. Comprende medidas para construir obras faltantes y para complementar elementos que funcionen inadecuadamente por factores no contemplados en el proyecto. La preparación de este programa debe basarse en cuidadosas inspecciones y estudios de pavimentos, cortes y terraplenes, señalización, estructuras, obras de drenaje y demás elementos principales de la obra.

Inicialmente, se hará una evaluación de las condiciones prevalecientes en la autopista o puente y en sus principales componentes en el momento de ser inspeccionados. Con ello, se identificarán las acciones complementarias necesarias, con las cuales se elaborará el programa especial de Postconstrucción, que podrá comprender diversas etapas.

El Programa de Conservación Rutinaria tiene carácter permanente. Incluye todas las acciones que deben llevarse a cabo para que la autopista o puente estén siempre en condiciones de tránsito fluido y seguro. Se trata de un documento que habrá de prepararse una vez al año, y servirá como base para dar seguimiento a tales acciones. Incluirá actividades como: inspección del derecho de vía; retiro de caídos eventuales; limpieza de: cunetas, contracunetas y lavaderos; desazolvas; bacheos; renivelaciones aisladas; calafateo de grietas; desyerbe de acotamientos; reposición y retoque de señalamientos, pintura;

reparaciones del cercado; jardinería; reparaciones generales; etc. Algunas acciones son de carácter permanente y otras se harán al surgir la necesidad.

El programa de conservación preventiva y correctiva será de carácter permanente, e incluirá todas las actividades tendientes a mantener la autopista o puente en buenas condiciones estructurales y de servicio. Con ello se preverá cualquier labor que deba realizarse antes del surgimiento de algún problema, buscando minimizar tanto los costos del usuario como los propios de las acciones de conservación rutinaria. Típicamente, las acciones por emprender en este programa incluirán sellos, reencarpados, reparación de puentes y, en casos extremos, reconstrucciones y correcciones para eliminar defectos de construcción.

Para que estas acciones se lleven a cabo en forma eficiente y oportuna, los sistemas de administración de pavimentos y puentes serán elementos básicos para la formulación de los programas, por lo que será necesario instrumentarlos como parte del seguimiento y la administración de la conservación. Para esto, se requiere que cada concesionario instrumente esos sistemas a la mayor brevedad posible, lo que además le permitirá un uso más eficiente de los recursos económicos.

El programa de administración ofrecerá el respaldo para organizar la ejecución de las tareas pertenecientes a los otros cuatro programas. Aunque a la larga cada concesionario alcanzará los niveles de sofisticación que demande la atención de su autopista o puente, se requiere que este programa inicie con un inventario completo de todas las características de la obra, incluyendo geometría, estructuras, pavimentos, obras especiales, etc.

Existen técnicas computarizadas que permiten relacionar el inventario con un conjunto de ayudas gráficas y georreferenciadas. Ello ofrece, indudablemente, una sólida base para desarrollar todos y cada uno de los esquemas de conservación requeridos por una autopista o puente de elevadas especificaciones.

El programa de ampliaciones incluye aquellas obras que por requerimientos de seguridad, de capacidad, o de confort de la autopista o puente se hacen necesarias.

Las obras a considerar dentro de este programa serán aquellas que requieran un proyecto ejecutivo adicional al original, como pueden ser construcción de terceros carriles, ampliación de acotamientos, construcción de rampas de frenado de emergencia, ampliación ó construcción de entronques, retornos, paradores y miradores, ampliaciones en puentes, en zonas de casetas, etc.

En cada uno de los programas antes descritos, con excepción de "administración", la concesionaria incluirá la información relativa a los **costos** que intervengan en las diferentes actividades de conservación que requiere la

autopista o puente, a fin de conocer el comportamiento económico y su impacto dentro de los esquemas financieros que integran las concesiones.

Con el fin de obtener homogeneidad en la información y facilitar el seguimiento de los programas objeto del presente documento, se requiere que la misma se presente en forma impresa y en diskettes de 3 1/2", capturada en Excel V. 5.0.

Para el caso de los programas de Administración se utilizará el paquete correspondiente.

NOTAS.- En el presente documento se cita frecuentemente a la "Dirección General de Servicios Técnicos" debiéndose entender como la dependencia de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes que ejerce las funciones normativas que le han sido encomendadas con el apoyo del Grupo de Seguimiento y Supervisión de Autopistas.

Cuando se menciona al "Centro SCT" debe entenderse como el ó los Centros SCT correspondientes a la ó las Entidades Federativas en las que está ubicada la autopista ó puente.

Los Centros SCT desempeñan las funciones indicadas en este documento a través de sus Unidades Generales de Servicios Técnicos.

La Dirección General de Servicios Técnicos podrá apoyar las actividades de los Centros SCT a través de las "Unidades Regionales de Servicios Técnicos".

— o —

ANEXO 4

Secuencia para identificar y relacionar problemas en estructuras de la autopista

EN VISITAS del concesionario y/o de personal técnico de la Dirección General de Servicios Técnicos o del Centro SCT correspondiente, se determinarán las estructuras que requieren estudios por técnica especializada; para ellos se recomienda la siguiente secuencia; enunciada de manera no limitativa:

1. Identificar la estructura, señalando el kilometraje y origen de la autopista, así como la entidad federativa donde se localiza.
2. Si la estructura es de mampostería y concreto, ver si tiene grietas o fracturas, en qué parte y en qué forma y magnitudes; si la estructura es metálica, ver si existe oxidación o corrosión; si las secciones muestran reducción en su forma; o si se requiere una inspección más detallada.

3. Si hay daños, verificar si fueron producidos por crecientes, sismos o por uso normal. Indicar magnitud de flechas.
4. Analizar si hay asentamientos diferenciales en la cimentación y en qué apoyos.
5. Analizar si hay, en caso de puentes, efectos de socavación en terraplenes de acceso, en los derrames frontales, en pilas o en estribos.
6. Analizar, en los puentes, si el funcionamiento hidráulico ha sido correcto o deficiente, observando si la capacidad hidráulica bajo éstos es suficiente, así como las condiciones del cauce en cuanto a azolves, obstrucciones, socavaciones, etc.
7. Analizar si la altura de rasante es la adecuada y si la magnitud de los tramos de la estructura es adecuada.
8. Analizar si se requieren obras complementarias de drenaje en los accesos de la estructura o protecciones en sus taludes y conos de derrame.
9. Analizar el estado de sus apoyos, sean fijos o móviles.
10. Analizar si la estructura no presenta vibraciones excesivas al paso de cargas pesadas.
11. Con la idea dada por los datos anteriores, será posible definir si la estructura está en peligro y requiere la atención de técnicos especializados o, bien, se define en campo la solución al problema.
12. Evidentemente, si la estructura tiene agrietamientos, ya sea por cortante o flexión, si tiene asentamientos o deficiencia hidráulica o bien flechas exageradas, es necesario recurrir a un especialista, en cuyo caso habrá que relacionar la estructura para su estudio por contrato.

----- o -----

ANEXO 10

Estudio de evaluación de puentes

TERMINOS DE REFERENCIA

EL ESTUDIO DE EVALUACION de un puente deberá contener los siguientes conceptos:

1. DATOS GENERALES

Nombre:

Ubicación:

Km
Origen
Tramo
Autopista

Año de construcción:

2. DESCRIPCION

Dimensiones:

Longitud
Ancho
Alto
Número y longitud de claros

Tipo de:

Superestructura
Subestructura
Cimentación
Apoyos
Juntas

Alineamiento:

Horizontal
Vertical
Esviajamiento

Estos datos deberán complementarse con un plano general del proyecto.

3. EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO

- Reportes sobre crecientes: niveles máximos alcanzados por el agua
- Evidencias de daños en el cauce, las márgenes y terraplenes de acceso
- Evidencia de socavación en la subestructura; cuando existan problemas de comportamiento hidráulico, se procederá según lo indicado en el anexo PC-8

4. EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO VIAL

- Aforos
- Capacidad vial del tramo
- Evidencias de golpes a elementos estructurales y a dispositivos de seguridad (defensas y parapetos)

5. EVALUACION DEL ESTADO FISICO

- Levantamiento de daños físicos en superestructura y subestructura, describiendo naturaleza, extensión y ubicación de cada daño

6. EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

- Observaciones sobre el comportamiento de la estructura al paso de cargas pesadas (vibraciones y flechas)
- Cálculos gruesos sobre la capacidad estructural de los elementos principales
- Cuando se tengan problemas de cimentación, se revisará la información existente y se complementará con los estudios que procedan

7. REPORTE FOTOGRAFICO

En apoyo de los puntos anteriores, se presentarán fotos ilustrativas suficientes

8. EVALUACION PRELIMINAR

En función de las observaciones practicadas, se clasificará al puente en cualquiera de las tres categorías siguientes:

- A** Requiere atención urgente
- B** Requiere atención a mediano plazo
- C** Requiere atención rutinaria

Deberán indicarse las razones que apoyen la clasificación adoptada. Se informarán, además, las medidas de emergencia que se estimen necesarias.

9. RECOMENDACIONES PARA UNA EVALUACION MAS DETALLADA

En caso de que se juzgue necesaria una evaluación más detallada, se darán recomendaciones para ella, incluyendo:

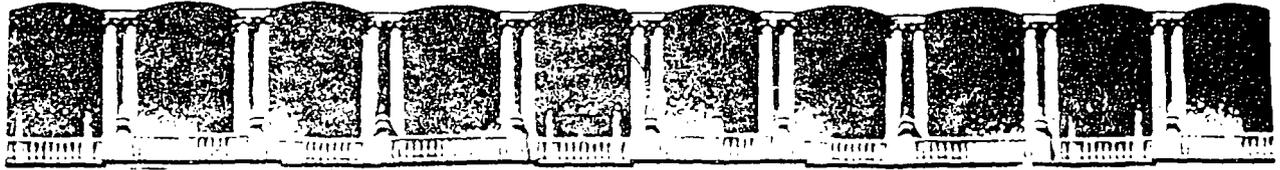
- Objetivo
- Equipos necesarios para el acceso
- Equipos necesarios para la prospección
- Sitios de interés
- Muestras por obtener

10. RECOMENDACIONES PRELIMINARES PARA LA REHABILITACION

En caso de que el puente deba ser objeto de obras de rehabilitación, se definirán varias opciones posibles para ella, únicamente a nivel conceptual, y se indicarán los estudios requeridos para la elaboración del proyecto detallado de rehabilitación.

NOTA: Para ejecutar esta evaluación puede utilizarse la "Guía para la inspección de puentes y pasos a desnivel" de la Dirección General de Servicios Técnicos.

México, D.F. a 23 de Septiembre de 1996.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

INSPECCION, MANTENIMIENTO
Y REHABILITACION DE PUENTES

*Técnicas no Destructivas para la Evaluación
de Materiales Estructurales*

Del 23 al 27 de septiembre de 1996

PALACIO DE MINERIA
1996



SEMINARIO DE INSPECCION, MANTENIMIENTO Y REHABILITACION DE PUENTES.

MEXICO, D.F. 26 DE SEPTIEMBRE DE 1996.
PALACIO DE MINERIA, D.F.

TECNICAS NO DESTRUCTIVAS PARA LA EVALUACION DE MATERIALES ESTRUCTURALES

1. SIPUMEX (SISTEMA DE PUENTES DE MEXICO)
PROPOSITOS Y PROCEDIMIENTOS DE
INSPECCION PRINCIPAL Y ESPECIAL
2. METODOS Y EQUIPO NO DESTRUCTIVOS PARA
LA EVALUACION DE PUENTES EXISTENTES
3. DEMOSTRACION DEL EQUIPO NO DESTRUCTIVO
PARA INSPECCIONES
4. CONCLUSION

ING. JORGEN HOLST, DRD, DINAMARCA
ING. RUBEN FRIAS ALDARACA, DGCC, SCT
ING. EDUARDO RODRIGUEZ SANCHEZ, DGCC, SCT

INTRODUCCION.-

UN ASPECTO DE SINGULAR IMPORTANCIA EN LO QUE SE REFIERE A MANTENIMIENTO Y REHABILITACION DE PUENTES, ES EL DE CONOCER PROPIEDADES DE LOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN A LOS ELEMENTOS DE ESTAS ESTRUCTURAS, SIN DESTRUIRLOS PARCIAL O TOTALMENTE, LO CUAL PUEDE REALIZARSE MEDIANTE INSPECCIONES ESPECIALES

LA DEFINICION DE LOS PUENTES EN LOS QUE DEBEN REALIZARSE INSPECCIONES CON EL PROPOSITO MENCIONADO, ES PARTE DE TODO UN SISTEMA DE EVALUACION A NIVEL NACIONAL CON EL QUE SE PUEDE DETERMINAR Y PROGRAMAR LA ATENCION DE LAS ESTRUCTURAS.

EN LA DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE CARRETERAS, SE TIENE IMPLEMENTADO YA EL SIPUMEX (SISTEMA DE PUENTES DE MEXICO) PARA TAL EFECTO.

1. SIPUMEX.- PROPOSITOS Y PROCEDIMIENTOS DE INSPECCION PRINCIPAL Y ESPECIAL

ES UN SISTEMA DE ADMINISTRACION O GESTION DE PUENTES QUE PERMITE CONOCER CUANTOS PUENTES ESTAN BAJO RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE CARRETERAS Y, EN FUNCION DE SU ESTADO FISICO, CUALES ES NECESARIO ATENDER.

PARA EL EFECTO, SE REALIZA PRIMERO LA INSPECCION PRINCIPAL, QUE ES UNA INSPECCION VISUAL DE TODAS LAS PARTES ACCESIBLES DE LA ESTRUCTURA PARA CONOCER SUS PROPIEDADES SUPERFICIALES.

LA PRIMERA VEZ QUE SE REALIZA SIRVE PARA OBTENER LAS CARACTERISTICAS MAS IMPORTANTES DE LA ESTRUCTURA, COMO LOCALIZACION, DIMENSIONES BASICAS, MATERIALES DE CONSTRUCCION, ETC., DATOS CON LOS QUE SE PUEDE

OBTENER EL INVENTARIO AL REALIZAR ESTA INSPECCION EN TODOS LOS PUENTES.

ADICIONALMENTE, SE OBTIENE UNA APRECIACION VISUAL DEL ESTADO FISICO DEL PUENTE Y TODOS SUS ELEMENTOS, BASANDOSE EN UN PARAMETRO QUE ES LA CALIFICACION CUYA ESCALA ES DE 0 A 5 (0 = PERFECTO ESTADO, 5 = CONDICION CRITICA).

CUANDO SE REQUIERE REALIZAR EVALUACIONES MAS DETALLADAS SE EFECTUA UNA INSPECCION ESPECIAL, QUE CONSISTE EN UNA INSPECCION MAS OBJETIVA QUE INCLUYE UNA INVESTIGACION Y UNA EVALUACION DETALLADA DEL DAÑO A LAS PROPIEDADES Y MATERIALES DE LA ESTRUCTURA Y DE SUS ELEMENTOS, DAÑOS QUE PUEDEN SER RESULTADO DE DEFICIENCIAS DE CONSTRUCCION, EL USO NORMAL, EL ATAQUE DEL MEDIO AMBIENTE O SOBRECARGAS.

EN ESTA INSPECCION ES NECESARIO REALIZAR MEDICIONES Y PRUEBAS DE CAMPO, PARA LO CUAL SE REQUIEREN EQUIPO Y HERRAMIENTAS ESPECIALES.

ESTA MODALIDAD DE INSPECCION TIENE EL PROPOSITO DE DETERMINAR EL TIPO, EXTENSION Y CAUSA DE LOS DAÑOS, ASI COMO EVALUAR LA NECESIDAD DE REPARAR O REHABILITAR LA ESTRUCTURA. TAMBIEN SIRVE PARA SELECCIONAR LA ESTRATEGIA DE REPARACION OPTIMA.

2.- METODOS Y EQUIPOS NO DESTRUCTIVOS PARA LA EVALUACION DE PUENTES EXISTENTES.

METODO SIMPLE. INSPECCION VISUAL DONDE SE UTILIZA EL SENTIDO COMUN Y EXPERIENCIA DEL INSPECTOR ASI COMO EL SOPORTE DE EQUIPOS Y METODOS SENCILLOS DE UTILIZAR.

EN ALGUNOS CASOS SERA NECESARIO EL USO DE EQUIPOS Y METODOS DE PRUEBA MAS AVANZADOS, LOS CUALES SE

UTILIZARAN CUANDO LA INFORMACION OBTENIDA PREVIAMENTE NO SEA SATISFACTORIA PARA EVALUAR EL DAÑO, ASI COMO SUS CAUSAS Y EXTENSION, PARA ESTABLECER LAS ESTRATEGIAS MAS ADECUADAS DE CONSERVACION O REHABILITACION DEL PUENTE.

PARA EVALUAR LOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN A LOS ELEMENTOS DE UN PUENTE, EXISTEN DIFERENTES METODOS Y EQUIPOS, SIMPLES Y AVANZADOS TANTO PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO COMO DE ACERO.(VER ANEXO)

3.-DEMOSTRACION DEL EQUIPO NO DESTRUCTIVO PARA INSPECCIONES

DEL EQUIPO ANTES MENCIONADO, EL MAS UTILIZADO ES EL DE LAS PRUEBAS INDICADAS EN EL ANEXO.

4.- CONCLUSION

ES IMPORTANTE QUE EN UN SISTEMA SE CUENTE CON METODOS Y EQUIPOS, LOS CUALES PUEDEN SER SIMPLES Y AVANZADOS.

PARA EVALUAR LA CONDICION DE LOS PUENTES PRIMERO DEBE HACERSE UNA PLANEACION DETALLADA QUE PUEDE INCLUIR LA SELECCION DE METODOS DE PRUEBA, TIPO DE EQUIPO A UTILIZAR, LA PARTE DEL PUENTE EN QUE SE EJECUTARAN LAS PRUEBAS Y EL NUMERO DE PRUEBAS A REALIZAR.

| Apariencia y causas del daño | | General |
|---------------------------------------|---|--|
| Apariencia | Causa posible del daño | Método de investigación |
| Deflexiones y movimientos indeseables | Deficiencias estructurales debidas a sobrecarga, subdiseño, condiciones del suelo, contracción plástica, etc. | Inspección visual Medición de inspección Instalación y monitoreo de puntos de medición Evaluación estructural |

| Apariencia y causas del daño | | Estructuras de concreto |
|---|--|---|
| Apariencia | Causa posible del daño | Método de investigación |
| <p>Grietas</p> <p><u>Ejemplos:</u> Modelo específico de agrietamiento</p> <p>Configuración no específica (aleatoria o a lo largo de las barras, incluyendo huecos bajo las barras)</p> <p>Grietas singulares</p> | <p>Grietas estructurales causadas por sobrecarga y/o subdiseño</p> <p>A: Cargas que producen grietas Grietas de flexión o tensión Grietas de cortante o tensión diagonal Grietas de rajadura en zonas de anclaje de estructuras postensionadas y en apoyos</p> <p>B: Grietas no producidas por cargas Grietas por contracción y esfuerzos térmicos Grietas por temperatura Grietas por movimientos diferenciales</p> <p>Grietas no estructurales por curado insuficiente</p> <p>Grietas por contracción plástica o asentamiento plástico</p> <p>Grietas no estructurales causadas por pobre ejecución de obra</p> <p>Trabajos pobres de encofrado, juntas de construcción inapropiadas, cargas excesivas de construcción</p> | <p><u>Métodos generales</u></p> <p>Inspección visual Mediciones del ancho de grietas Dibujo del esquema de grietas Evaluación del riesgo de corrosión Prueba de golpeo</p> <p><u>Métodos específicos</u></p> <p>Evaluación estructural</p> <p>Prueba CAPO Verificación de dimensiones, espaciamiento y posición del refuerzo (Medidor de recubrimiento)</p> <p>Prueba de Impacto Echo</p> <p>Prueba de Impacto Echo</p> <p>Evaluación del método de construcción</p> <p>Posible macroanálisis de corazones Prueba de Impacto Echo</p> <p>Evaluación del método de construcción</p> <p>Posible macroanálisis de corazones Prueba de Impacto Echo</p> |

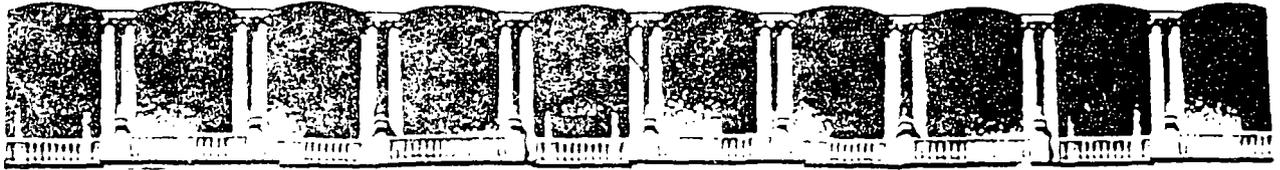
| Apariencia y causas del daño | | Estructuras de concreto (continuación) |
|--|---|---|
| Apariencia | Causa posible del daño | Método de investigación |
| Grietas por rajadura y astillamiento (grietas posibles a lo largo de las barras, manchas de herrumbre) | <p>Corrosión del refuerzo</p> <p>Ingreso de cloruro</p> <p>Carbonatación</p> <p>Sistema de drenaje pobre</p> <p>Corrosión del acero postensionado</p> | <p>Medición del PEQ</p> <p>Rotura y retiro del recubrimiento</p> <p>PCR (prueba del cloruro)</p> <p>Prueba de la fenolftaleína</p> <p>Prueba del medidor de recubrimiento</p> <p>Prueba de contenido de humedad</p> <p>Prueba de Impacto Echo</p> <p>Barrenos hasta los ductos del cable</p> <p>Inspección endoscópica</p> <p>Mediciones volumétricas</p> <p>Prueba de Impacto Echo</p> |
| Astillamiento, aplastamiento, posible corrosión de las barras | <p>Impacto vehicular</p> <p>Movimientos restringidos</p> | <p>Evaluación estructural</p> <p>Prueba de Impacto Echo</p> |
| Escamamiento | <p>Medio ambiente y/o pobre ejecución de obra</p> <p>Ataque de sulfatos</p> <p>Erosión climática</p> | <p>Prueba de laboratorio</p> |

| Apariencia y causas del daño | | Estructuras de acero |
|---|--|---|
| Apariencia | Causa posible del daño | Método de investigación |
| Grietas (posible herrumbre) | Grietas estructurales causadas por sobrecarga y/o subdiseño (fatiga) | <p>Inspección visual</p> <p>Prueba de flujo de partículas magnéticas FPM</p> <p>Registro de grietas</p> <p>Evaluación estructural</p> <p>Pruebas de laboratorio</p> |
| Alabeo, plegadura o distorsión | Daño estructural debido a sobrecarga, subdiseño, pobre ejecución de obra y/o impacto vehicular | <p>Inspección visual y registro</p> <p>Evaluación estructural</p> |
| Corrosión severa y posible laminación (herrumbre) | Medio ambiente | Medición ultrasónica del espesor remanente |
| Herrumbre o astillamiento de la pintura | Medio ambiente | <p>Prueba de adhesión (por navaja/cinta adhesiva)</p> <p>Mediciones magnéticas del espesor de pintura</p> |
| Herrumbre en pernos y juntas | Medio ambiente, pérdida de tuercas en pernos | Inspección visual |

| Apariencia y causas del daño | | Juntas de expansión y apoyos |
|--|---|--|
| Apariencia | Causa posible del daño | Método de investigación |
| Juntas de expansión: | | |
| Trituración o grietas a lo largo de las juntas | Daño estructural debido a sobrecarga, subdiseño y/o pobre ejecución de obra | Inspección visual Verificación de tipo de junta Medición del ancho de junta Evaluación estructural |
| Herrumbre o astillamiento de la pintura | Medio ambiente | Inspección visual |
| Filtración | Sellamiento gastado | Inspección visual |
| Suelta, rota y/o gastada | Daño estructural debido a sobrecarga, subdiseño y/o fatiga | Inspección visual Verificación del tipo de junta Evaluación estructural |
| Apoyos: | | |
| Indeseable posición excéntrica o girada | Daño estructural debido a subdiseño y/o pobre ejecución de obra | Inspección visual Verificación del tipo de apoyo Medición de inspección Medición de temperatura Evaluación estructural |
| Colocación equivocada | Pobre ejecución de obra | Inspección visual Verificación del tipo de apoyo Evaluación estructural |
| Herrumbre o astillamiento de la pintura | Medio ambiente | Inspección visual |
| Gastado | Daño estructural debido a sobrecarga y/o fatiga | Inspección visual Verificación del tipo de apoyo Evaluación estructural |

| Material | Propósito de la investigación | Investigación en el lugar | | Método de pruebas de laboratorio / equipo |
|----------|--|---|--|---|
| | | Método General / Equipo | Método detallado / equipo | |
| Concreto | Registro de la condición | Inspección visual | Examen de corazones / broca de corazones Cala / martillo perforador Prueba de impacto Echo / equipo especial | Descubrimiento de grietas / microscopio de fluorescencia Prueba de vacíos de aire / microscopio de fluorescencia Microanálisis / microscopio de polarización óptica |
| | Determinación de la resistencia | Rebote (prueba de golpeo) / Martillo | Prueba CAPO / gato especial (Prueba LOK) / gato especial Prueba BOND / gato especial | Prueba de compresión de corazones / equipo de prueba de compresión Microanálisis / microscopio de polarización óptica |
| | Determinación de la profundidad de carbonatación | | Prueba de la fenolftaleína / líquido indicador | Microanálisis / microscopio de polarización óptica |
| | Determinación del contenido de cloruro | | Prueba rápida de cloruro (PRC) / electrodo selectivo-cloruro | Análisis volumétrico químico / equipo de laboratorio estándar |
| | Determinación del contenido de sulfato | | | Análisis volumétrico químico / equipo de laboratorio estándar |
| | Determinación del contenido de humedad | | Contenido de humedad relativa / inserción de celda sensora | Contenido de agua / balanza + horno Grado de saturación capilar de agua / balanzas + horno Contenido de humedad relativa / sensor de humedad |
| | Investigación de grietas | Inspección visual / medidor de ancho de grietas o microscopio de detección de grietas | Examen de corazones / broca de corazones Cala/martillo perforador Prueba de impacto Echo / equipo especial | Descubrimiento de grietas / microscopio de fluorescencia Micro análisis / microscopio de polarización óptica |

| Material | Propósito de la investigación | Investigación en el lugar | | Método de pruebas de laboratorio / equipo |
|----------------------|---|---|--|--|
| | | Método general / equipo | Método detallado / equipo | |
| Refuerzo y tendones | Localización | Inspección visual de las superficies de concreto Determinación del recubrimiento de concreto / medidor de recubrimiento | Cala / martillo perforador | |
| | Determinación de corrosión | Inspección visual de las superficies de concreto Mediciones del potencial electroquímico (prueba PEQ) / equipo de prueba PEQ | Prueba PEQ / equipo de prueba PEQ | |
| | Determinación de la resistencia | | | Prueba de resistencia / máquina para la prueba de tensión |
| Refuerzo postensado | Registro de la condición | Inspección visual de las superficies de concreto | Poner al descubierto ductos de inyección y ventilación / martillo perforador Barrenos al contacto de los ductos de cables Prueba de impacto Echo / equipo especial | |
| | Determinación del volumen de cavidades | | Medición volumétrica / equipo para prueba de aire comprimido | |
| Estructuras de acero | Determinación del espesor remanente | Inspección visual | Medición ultrasónica / equipo para prueba de espesor ultrasónico | |
| | Investigación de grietas y la minación | Inspección visual | Prueba de flujo magnético de partículas / equipo de FMP | |
| | Registro de la condición de soldaduras | Inspección visual / cepillo de alambre | Prueba de flujo magnético de partículas / equipo de FMP | |
| | Determinación del espesor de pintura | | Método magnético / detector magnético ("Elcometer") | |
| | Determinación de la resistencia y calidad | | | Prueba de resistencia / máquina para prueba de tensión Análisis espectrográfico Prueba de energía de impacto |



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

INSPECCION, MANTENIMIENTO
Y REHABILITACION DE PUENTES

*Sistema FRICON
para el Reforzamiento de Puentes de Concreto*

Del 23 al 27 de septiembre de 1996

ING. JOSE LUIS SILLER FRANCO
PALACIO DE MINERIA
1996

Sistema FRICON*

PARA EL REFORZAMIENTO DE PUENTES DE CONCRETO.

Ante la dificultad que hasta ahora ha significado el anclar el presfuerzo externo a los puentes de concreto, para que esta operación sea eficiente, segura, no destructiva y económica, un Ingeniero Civil mexicano, ideó un sistema en el que se aplica el Principio Físico de la fuerza de fricción que se desarrolla entre dos superficies en contacto presionadas entre sí, misma que es igual al Coeficiente de Fricción entre ambas, " μ ", multiplicado por tal fuerza, así como por el respectivo Factor de Seguridad, que para el caso de los puentes, es de 2.5. En vista de los principios anotados, a tal sistema se le puso el nombre de FRICON de FRIcción y CONector.

El FRICON, es en sí una simple ménsula de acero, contra la que se tensan y anclan los torones que constituyen a los tendones de presfuerzo. Estas ménsulas se instalan simétricamente, y por pares, en los extremos superiores de las almas de las trabes, con una inclinación que apunta hacia la cuarta parte de la longitud del patín inferior, para lo cual, y mediante una corona de diamante, se practica en el concreto el número de perforaciones de 25 mm. ϕ requeridas, que corresponden con las que los FRICONES llevan en sus placas de base. Por tales perforaciones se hacen pasar los elementos SUJETADORES, que consisten en un tramo de torón del mismo diámetro que el de los torones de tendón, que en un extremo llevan sujeto con cuñas a un barrilete liso, y en el otro un roscado de cuerda corrida con su respectiva tuerca; éste tiene una longitud del doble del peralte de tal tuerca, a fin de que en el extremo saliente se conecte el cople de la barra de tensado accionada por un gato hidráulico de émbolo hueco: alcanzada la tensión, la tuerca se aprieta manualmente. Cuando el torón es de 1/2" ϕ , la tensión será de 12,500 Kgs., y cuando se utilice el de 0.6" ϕ , de 18,000 Kgs., por lo que en todos los casos se emplean gatos hidráulicos de la denominación 202 para 20.0 Tons.

A efecto de lograr el máximo Coeficiente de Fricción de $\mu = 1.0$ (que corresponde a la tangente del ángulo de la tensión diagonal) la cara interna del FRICON lleva una multiplicidad de protuberancias o costillas transversales, cuya separación será en cada caso de acuerdo con a la tensión principal del concreto; al mismo tiempo, la superficie correspondiente de éste se pica adecuadamente, y para que ambas superficies queden de-

*Sistema protegido por patentes mexicanas e internacionales

bidamente ligadas, intermedia, se inyecta una capa de 13 mm. de espesor de un mortero hidráulico especial de muy alta resistencia rápida y de volumen estable. Una vez que éste alcanzó un f'c mínimo de 250 Kg/cm², se procede al tensado de los SUJETADORES.

Como los tendones afectan en el plano vertical la geometría de una "cuerda de violín", con el tramo central horizontal y los extremos apuntando hacia los ejes de los FRICONES, se requieren unos dispositivos deflectores denominados FRICTOR (de FRICción y deflecTOR) para cuando el tendón se encuentra al nivel del patín inferior, o FRIZANCO (de FRICción y ZANCO) cuando es posible invadir el gálibo inferior del puente con un zanco o punta, a efecto de incrementar la excentricidad de los tendones, en una magnitud que se ha fijado en dos anchuras del patín inferior, con lo que se obtienen muy importantes economías.

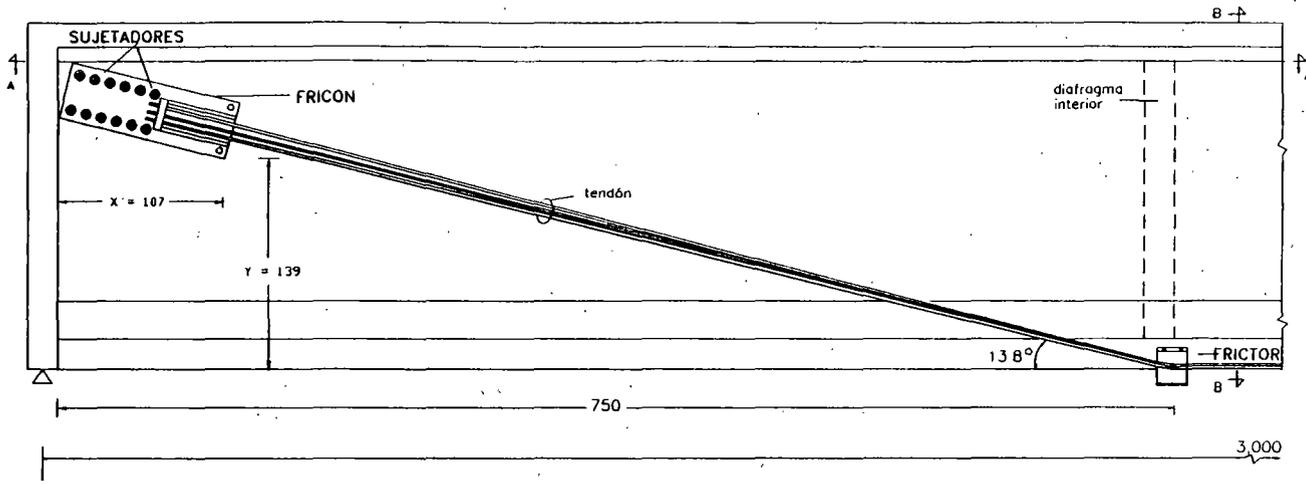
Tanto el FRICTOR como el FRIZANCO, como su nombre lo indica, se sujetan contra corrimientos bajo el dicho patín inferior, aplicando igualmente la fuerza de fricción, para lo cual, su superficie de contacto está también dotada de protuberancias transversales, se pica el concreto del sitio, y se coloca la capa intermedia del mortero especial: la fuerza de compresión, la suministra la componente normal de la tensión de los tendones. La sujeción temporal mientras se instalan los tendones, está prevista mediante unos tornillos con punta, que al ser apretados penetran en el concreto.

Una vez instalados los FRICONES y los FRICTORES o en su caso los FRIZANCOS, se procede a la de los torones de los tendones. Para esta operación, se deberá contar con un grupo de gatos de émbolo hueco idénticos, del tipo 202 para 20.0 Tons., apoyados en silletas especiales, y en un número igual al de tendones que existan en el claro. Todos los gatos serán accionados simultáneamente por la misma bomba de fluido hidráulico con su respectivo manómetro verificado: esto es con el objeto de evitar los perniciosos efectos de torsión que dañan el puente, cuando el tensado se hace por trabes individuales. Instalado el equipo, se tensarán por orden, los torones N°1, en seguida los N°2, y continuando así sucesivamente.

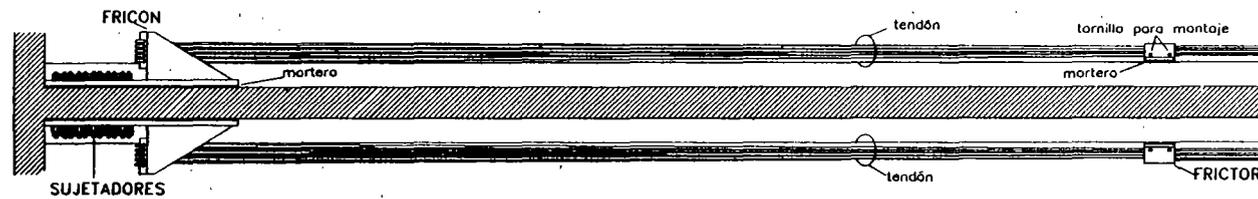
En el anclaje fijo de cada torón, se dejará un extremo o "cola" saliente de 6.0 cm. de longitud, y terminado el tensado de todos ellos, con un disco abrasivo se cortarán los extremos sobrantes, dejando otra "cola" idéntica, en la que se conecta el equipo para verificar o ajustar las tensiones del presfuerzo en el futuro.

Expuesta la simplicidad del Sistema FRICON, se anotarán algunas de sus principales ventajas:

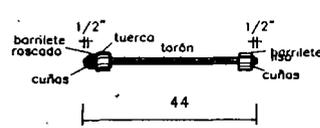
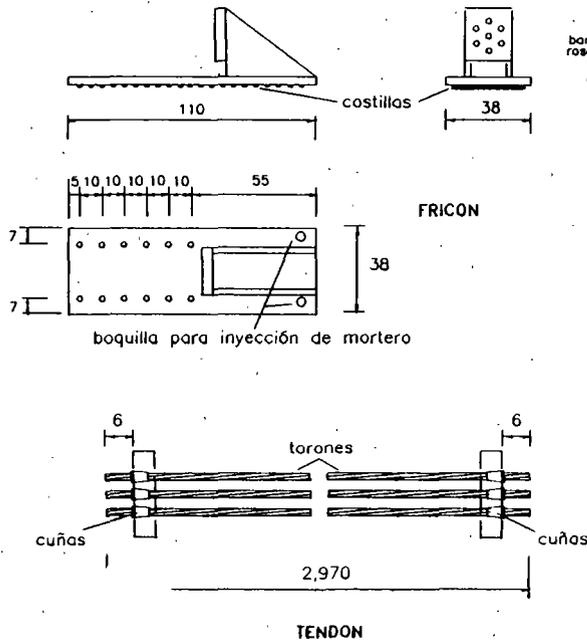
- Con las componentes normales de las tensiones, generalmente se cubren los déficits que pudieran existir por cortantes.
- No es destructivo: las máximas lesiones que se ocasionan al puente, son de cuatro a doce perforaciones de 1"φ en cada extremo de trabe según el caso.
- De acuerdo con las condiciones del sitio, una cuadrilla de seis a ocho operarios, instala el reforzamiento de un claro de dos nervaduras, entre tres y cinco días, por lo que el costo es del orden del 30 al 50% del de los componentes FRICON.
- Durante la instalación no se interrumpe el tráfico en ningún momento, lo que ahorra las costosas señalizaciones y bandereros; evita los riesgos de accidentes, así como los costos sociales que significan tales interrupciones del tránsito vehicular.
- Al estar todos los componentes galvanizados por inmersión, inclusive los alambres con que se forman los torones, su duración es ilimitada en cualquier clima.
- Cualquier componente que hubiese sido dañado por accidentes o actos de vandalismo, puede ser sustituido en unas cuantas horas.
- Al no existir vainas ni recubrimientos en los torones, siempre se podrá corroborar visualmente el estado físico real de éstos.
- El Sistema está totalmente computarizado, por lo que en muy pocas horas después de haber recibido el croquis de las dimensiones precisas de un claro de puente, queda elaborado el proyecto completo con planos, memorias de cálculo y cotización, para el reforzamiento de que se trate: todo esto se suministra gratuitamente.
- Se tienen a disposición, las Listas de Precios vigentes por metro de claro de puente, que correspondan a los Proyectos Tipo S.C.T., para las varias cargas móviles que próximamente entrarán en operación, según la Clase de Camino.



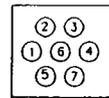
EXTREMO DE NERVADURA



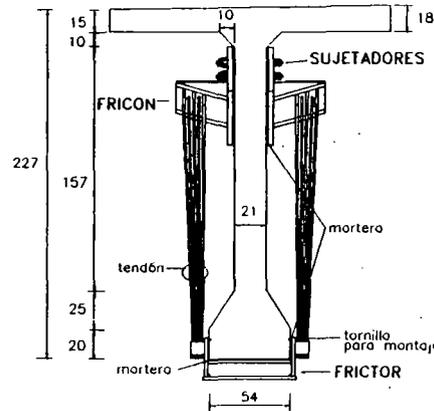
CORTE A - A



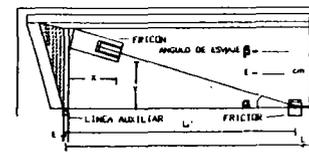
SUJETADOR



Instalación de torones



CORTE B - B



LÍNEA DE TRAZO PARA CLARO CON ESVAJE

COMPONENTES PARA UN CLARO DE PUENTE

| FRICONES | CANTIDAD | PESO |
|----------------------------|----------|----------------|
| Modelo FN-30 | 8 Pza. | 1,302 Kgs |
| SUJETADORES | | |
| Toron 0.6" ϕ x 45 cm. | 48 " | 24 " |
| Barrilete liso | 48 " | 23 " |
| Barrilete roscado | 48 " | 34 " |
| Tuercas | 48 " | 23 " |
| Cuñas | 96 " | |
| FRIZANCO | | |
| Modelo FR-30 | 4 " | 380 " |
| TENDONES | | |
| 7 torones de 0.6" ϕ | 4 " | 918 " |
| Cuñas | 40 " | |
| MORTERO ESPECIAL | 5 Saco | 125 " |
| PESO TOTAL | | 2,919 " |

PREPARACIONES

| | |
|----------------------------------|---------------------|
| Perforaciones de 1" ϕ 21 cm | 32 Pza |
| Superficie de concreto picado | 3.95 m ² |

TENSIONES DE INSTALACION

| | |
|----------------------|-----------|
| Cada SUJETADOR | 18,000 Kg |
| Cada TORON DE TENDON | 17,092 " |

EQUIPO MINIMO PARA EL TENSADO

| | |
|-------------|-------------------------------|
| SUJETADORES | 2 GATO Tipo G-202 DE 20.0 Ton |
| | 2 SILLETA " S-20-A |
| TENDONES | 4 GATO " G-202 DE 20.0 Ton. |
| | 4 SILLETA " S-20-B |

NOTAS:

- Los SUJETADORES se tensarán por pares apostados a partir de los centrales.
- El tensado de todos los tendones de cada claro, deberá ser simultáneo, tensando los respectivos torones, de uno en uno o por pares.
- Se utilizarán gatos idénticos accionados por la misma bomba de fluido hidráulico, equipada con manómetro certificado.
- Después de cada tensado parcial, captar el torón excedente con un disco abrasivo, dejando una cola de 6.0 cm. en cada extremo.
- Todos los extremos del torón se protegerán con barniz de poliuretano de color blanco.
- Ver información adicional en el instructivo anexo.
- Acotaciones en centímetros.

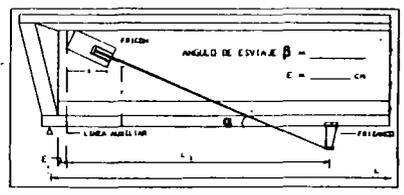
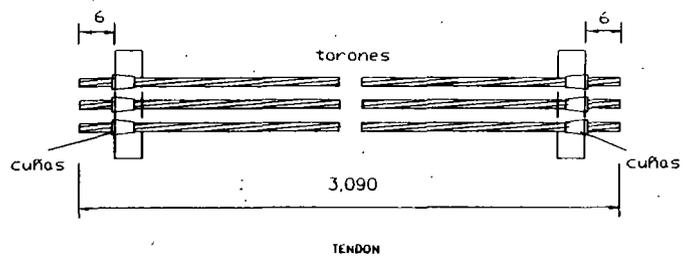
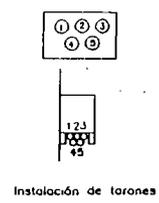
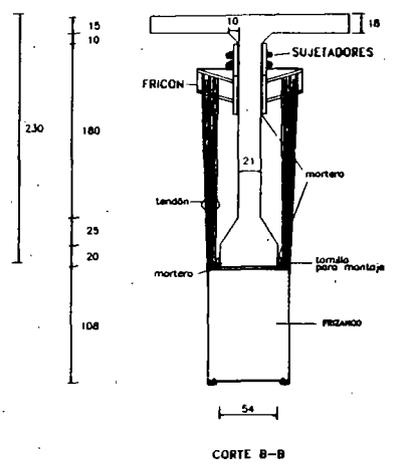
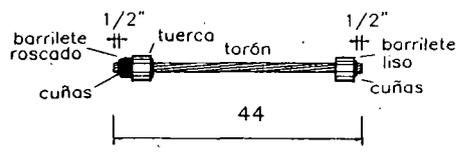
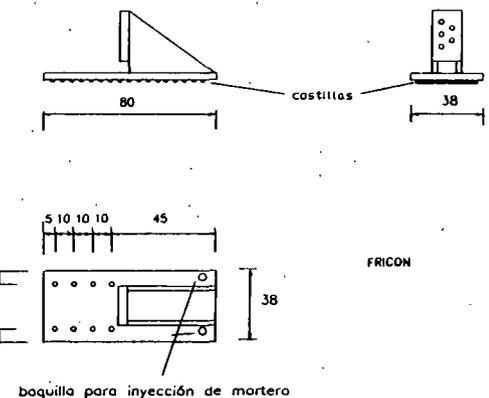
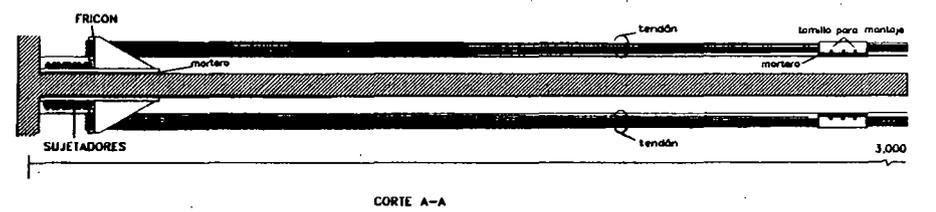
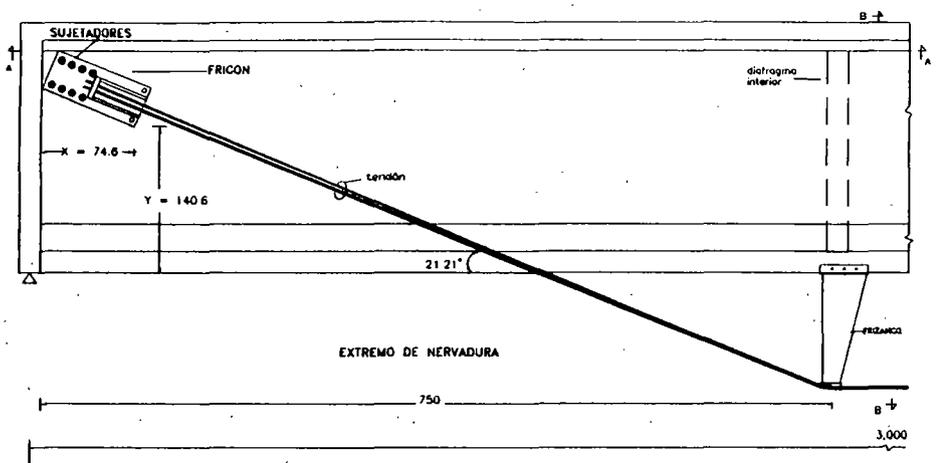
FRICON Industrial, s.a. de c.v.

Miguel Angel 76, México D.F. CP 03910, MÉJICO Tel.52+(5) 588 7467/FAX 52+(5) 563 3503

PUENTE: PROYECTO TIPO S. C. T. 1959
 CLARO: 30.0 m. No. DE NERVADURAS 2
 KM. CARRETERA
 CAMINO TIPO A
 TRAMO:

REFORZAMIENTO con el sistema FRICON® patente No. 179,877 y otros en trámite

DE: H.15-S.12 PARA: R-4-66.5
 FORMULO M A G P FECHA Ago/96 OBJETO



COMPONENTES PARA UN CLARO DE PUENTE

| FRICONES | CANTIDAD | PESO |
|----------------------------|----------|-----------|
| Modelo FNZ-30 | 8 Pza | 1,018 Kgs |
| SUJETADORES | | |
| Torón 0.6" ϕ x 45 cm. | 32 | 16 |
| Barrilete liso | 32 | 15 |
| Barrilete roscado | 32 | 22 |
| Tuercas | 32 | 15 |
| Cuñas | 64 | |
| FRIZANCO | | |
| Modelo FRZ-30 | 4 | 884 |
| TENDONES | | |
| 5 torones de 0.6" ϕ | 4 | .681 |
| Cuñas | 40 | |
| MORTERO ESPECIAL | 5 Saco | 125 |
| PESO TOTAL | | 2,777 |

| PREPARACIONES | |
|----------------------------------|---------------------|
| Perforaciones de 1" ϕ 21 cm | 32 Pza |
| Superficie de concreto picado | 3.68 m ² |

| TENSIONES DE INSTALACION | |
|--------------------------|------------|
| Cada SUJETADOR | 18,000 Kg. |
| Cada TORON DE TENDON | 15,488 |

| EQUIPO MINIMO PARA EL TENSADO | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| SUJETADORES | 2 GATO Tipo G-202 DE 20.0 Ton |
| | 2 SILLETA " S-20-A |
| TENDONES | 4 GATO " G-202 DE 20.0 Ton |
| | 4 SILLETA " S-20-B |

- NOTAS:**
- Los SUJETADORES se tensarán por pares opuestos a partir de los centrales.
 - El tensado de todos los tendones de cada claro, deberá ser simultáneo, tensando los respectivos torones, de uno en uno o por pares.
 - Se utilizarán gatos idénticos accionados por la misma bomba de fluido hidráulico, equipada con manómetro certificada.
 - Después de cada tensado parcial, cortar el torón excedente con un disco abrasivo, dejando una "cola" de 6.0 cm. en cada extremo.
 - Todos los extremos del torón se protegerán con barniz de poliuretano de color blanco.
 - Ver información adicional en el instructivo anexo.
 - Aclaraciones en centímetros.

FRICON Industrial, s.a. de c.v.
 Miguel Ángel 76, México D.F. CP 03910, MÉXICO Tel. 52-(5) 988 7487, FAX 52-(5) 563 3503

PUENTE: PROYECTO TIPO S. C. T. 1959
 CLARO: 30.0 m. No. DE NERVADURAS 2
 KM: CARRETERA
 CAMINO TIPO A
 TRAMO:

REFORZAMIENTO con el sistema FRICON® patente no 179,877 y obras en trámite
 DE: H.15-S.12 PARA: T3-S2-R4-66.5
 FORMULO I LCHA PROYECTO
 M.A.G.P. Ago/96

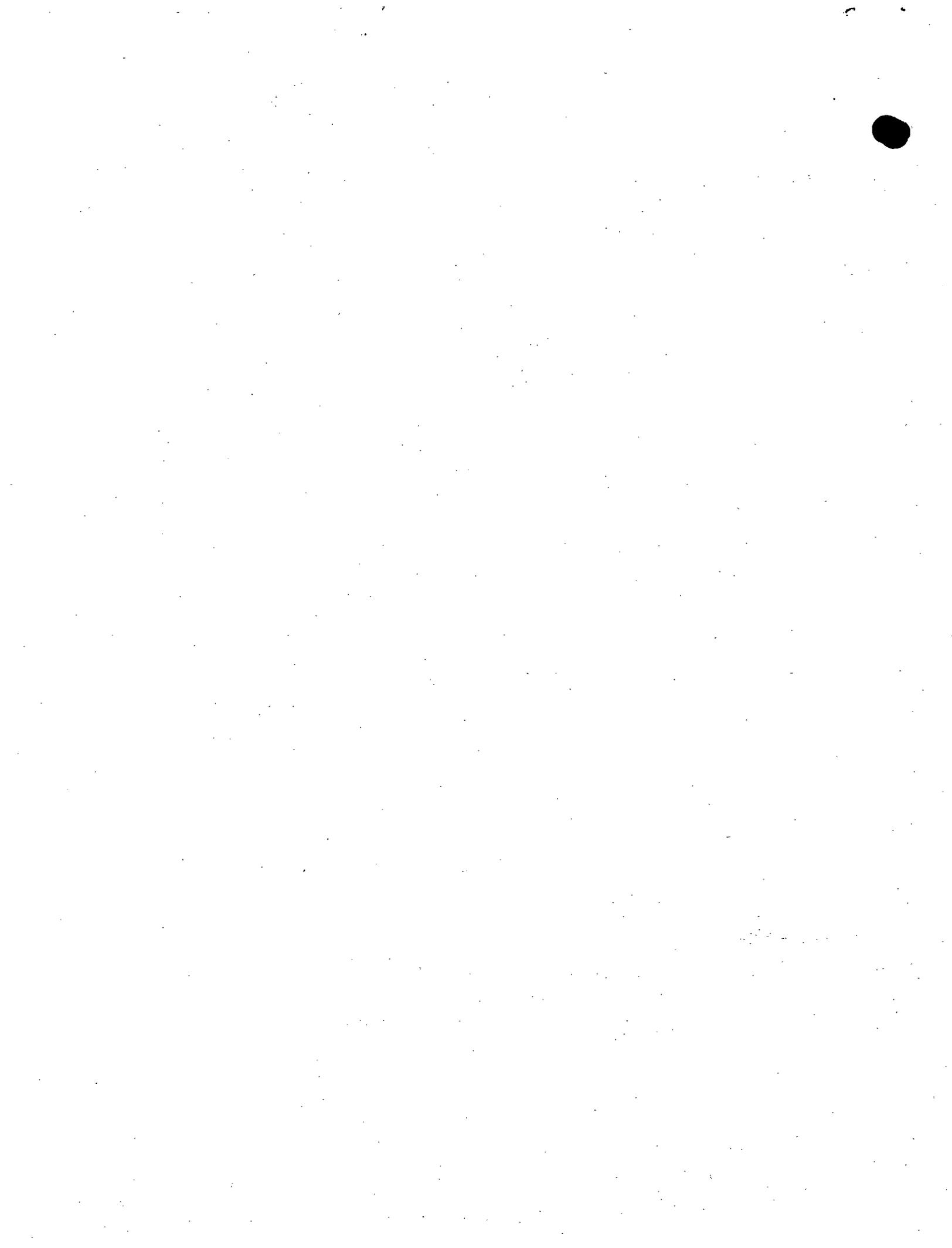
**PRECIOS DE LOS COMPONENTES "FRICON" POR METRO LINEAL DE PUENTE, INCLUIDO
EL PROYECTO COMPLETO, PARA EL REFORZAMIENTO DE LOS CORRESPONDIENTES
A LOS TIPO S.C.T. / 1959 PARA HS-15, CON DOS SISTEMAS DE DEFLECTORES.**

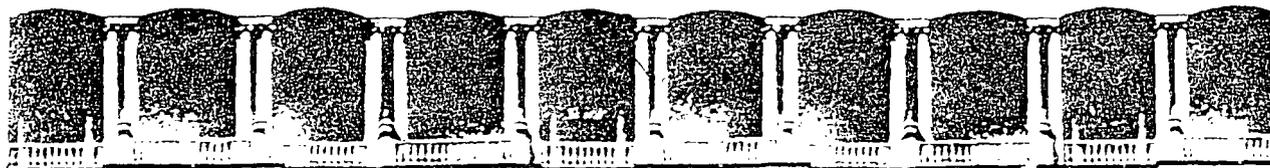
| CLARO M | SISTEMA DEFLECTOR | CAMINOS TIPO A Y B REFORZAR PARA CARGA VIVA T3-S3-48 ó T3-S2-R4-66 | CAMINOS TIPO C Y D REFORZAR PARA CARGA VIVA T3-S3-43 ó T3-S2-R4-58 |
|--------------------|------------------------------|---|---|
| 10 | FRICTOR | \$ 2,501 | \$ 1,847 |
| 11 | FRICTOR | 2,302 | 2,287 |
| 12 | FRICTOR | 2,257 | 2,108 |
| 13 | FRICTOR | 2,099 | 1,971 |
| 14 | FRICTOR | 1,983 | 1,895 |
| 15 | FRICTOR | 2,171 | 1,865 |
| 16 | FRICTOR | 2,133 | 1,891 |
| 18 | FRICTOR | 2,112 | 1,947 |
| | FRIZANCO | 1,939 | 1,853 |
| 20 | FRICTOR | 2,207 | 1,936 |
| | FRIZANCO | 1,872 | 1,767 |
| 23 | FRICTOR | 2,366 | 1,777 |
| | FRIZANCO | 1,897 | 1,871 |

| | | | |
|----|----------|-------|-------|
| 25 | FRICTOR | 2,413 | 2,393 |
| | FRIZANCO | 2,093 | 1,627 |
| 30 | FRICTOR | 2,670 | 2,333 |
| | FRIZANCO | 2,273 | 1,845 |
| 32 | FRICTOR | 2,835 | 2,534 |
| | FRIZANCO | 2,165 | 2,145 |

México D. F., Agosto de 1996

NOTA: Especificaciones y precios sujetos a cambio sin previo aviso.





FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

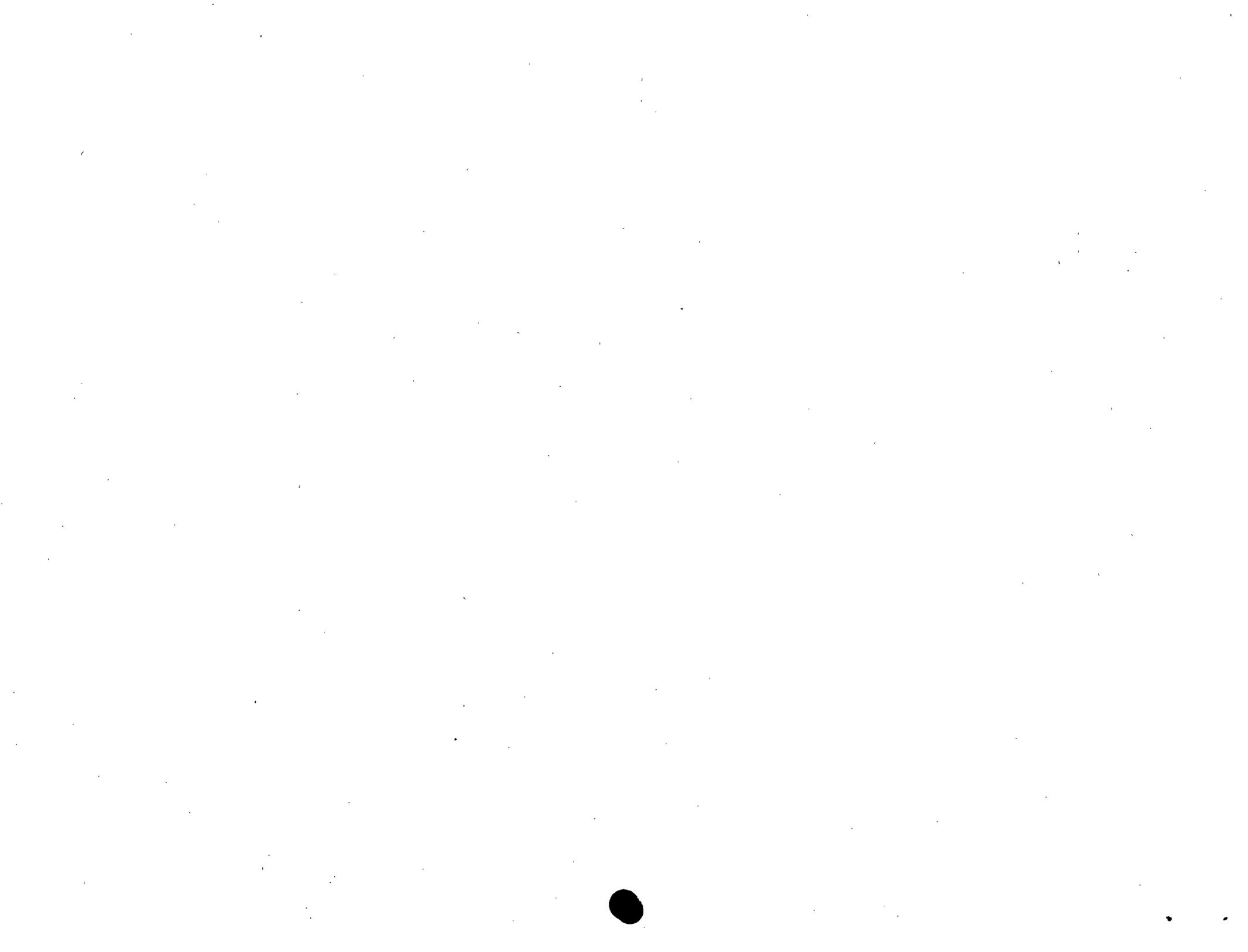
CURSOS ABIERTOS

INSPECCION, MANTENIMIENTO
Y REHABILITACION DE PUENTES

*Evaluación de Daños por Corrosión
en Puentes Costeros*

Del 23 al 27 de septiembre de 1996

DR. JUAN JOSE CARPIO PEREZ
PALACIO DE MINERIA
1996



CURSO DE CAPACITACION

**INSPECCION, MANTENIMIENTO Y
REHABILITACION
DE PUENTES**

México, D.F.
PALACIO DE MINERIA
23 - 27 Septiembre 1996

**Evaluación de Daños por Corrosión
en Puentes Costeros**

Dr. Juan José Carpio Pérez
Programa de Corrosión del Golfo de México
Universidad Autónoma de Campeche

PROCEDIMIENTOS DE INSPECCION

(Capítulo II del Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado)

Red DURAR (Durabilidad de la Armadura) CYTED

1. GENERALIDADES

En el capítulo precedente fueron señalados y analizados los diversos factores que pueden dar lugar a la corrosión de la armadura del hormigón. El conocimiento de las diferentes manifestaciones - apreciables a simple vista o no - originadas como resultado de los fenómenos corrosivos, es fundamental para su detección y para la elaboración del diagnóstico de las fallas. Por ello, la inspección de la obra constituye una etapa muy importante en la evaluación y posterior reparación de las estructuras de hormigón armado dañadas por corrosión, ya que a través de ella se obtiene - directa o indirectamente - la información requerida para la solución del problema^(1,2).

Los procedimientos relacionados con la inspección de una estructura de hormigón armado desde el punto de vista de corrosión pueden implicar una labor bastante sencilla en algunos casos o, por el contrario, una muy ardua en otros, según la complejidad de los problemas, así como dependiendo de la magnitud y naturaleza de la obra. Antes de abordar esta actividad debe conformarse un equipo multidisciplinario de trabajo con al menos un especialista en corrosión, uno en estructura y uno en técnicas constructivas.

En términos generales, los siguientes pasos corresponden a una inspección en obra^(1,3) (Figura II.1):

- a) Elaboración de una Ficha de Antecedentes de la estructura y del medio ambiente (en base a información documental y/o visita previa).
- b) Examen visual general de la estructura.
- c) Levantamiento de daños.
- d) Selección de zonas para examen visual detallado de la estructura y Elaboración de Plan de Muestreo.
- e) Selección de las técnicas de ensayo/medición/análisis más apropiadas.
- f) Selección de zonas para la realización de ensayos/mediciones/análisis físico-químicos en el hormigón, armadura y en el medio ambiente circundante.

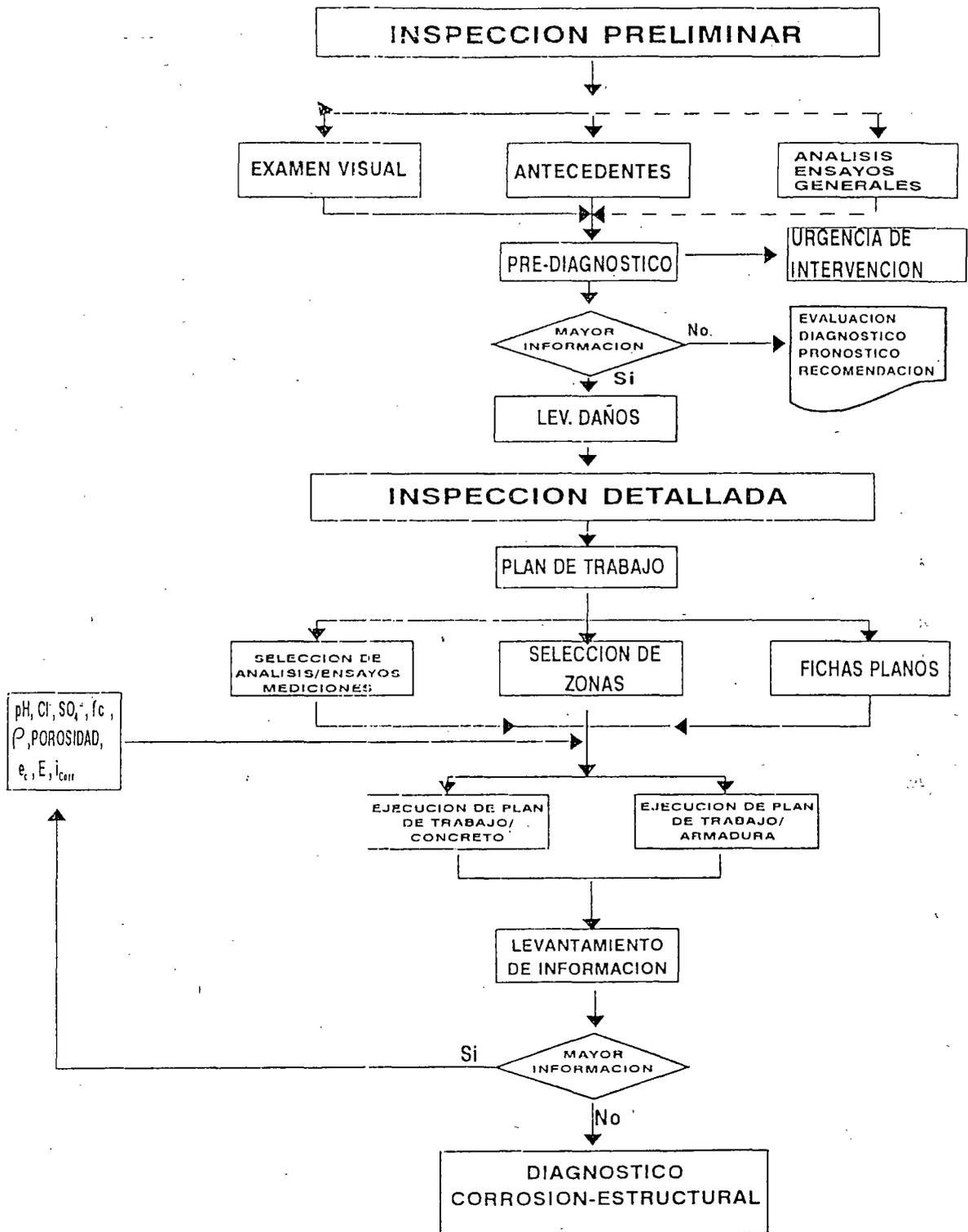


Figura II.1 Pasos para la Inspección en Obra
Etapas

-
- g) Ejecución de mediciones, ensayos y análisis físico-químicos en el hormigón y/o en la armadura (sin necesidad de elaboración de Planes de Trabajo, o en base a ellos, según sea el caso).

La secuencia presentada no significa que todas las actividades deben ser necesariamente llevadas a cabo.

De acuerdo al tipo y magnitud de la información que se desee obtener se puede hablar de una Inspección Preliminar y de una Inspección Detallada.

Básicamente, la llamada Inspección Preliminar permitirá tener una idea general del contexto que rodea a la estructura con problemas. Puede estar sustentada en un visita previa y, de la necesidad de un análisis más profundo para la elaboración del diagnóstico correspondiente - lo cual dependerá principalmente, de la complejidad del problema y de la experiencia de la persona responsable de la evaluación - se procederá a la realización de actividades de preparación para la llamada Inspección detallada. *de los riesgos implicados*

Así, mientras que los puntos señalados como a) y b) constituyen pasos obligados en una inspección preliminar, la realización de ensayos, mediciones y/o análisis físico-químicos (g) pueden o no ser realizados en esta etapa, y las actividades de c) a f) sólo si se decide que es necesaria una inspección pormenorizada, para la elaboración del diagnóstico y/o con miras a una posterior reparación de la estructura.

La Inspección Preliminar permite la elaboración de un diagnóstico en algunos casos o de un pre-diagnóstico en aquellos más complejos.

En la Inspección Detallada se llevarán a cabo los ensayos y mediciones requeridas para obtener datos suficientes - en naturaleza y en número - y confiables, siguiendo los esquemas programados en la Inspección Preliminar, que permitan una evaluación acertada del problema y, eventualmente, definir los sistemas de intervención (pronóstico de vida residual, reparaciones, rehabilitación, etc.). Los puntos g) y h) son inherentes a los objetivos definidos para esta etapa.

Luego, como se muestra en el esquema de la Figura II.1, existen ciertas actividades propias de cada tipo de inspección - según han sido definidas - y otras, cuya ejecución estará condicionada a la naturaleza y características del problema.

2. INSPECCION PRELIMINAR

Como ya se ha indicado, en base a la información obtenida mediante esta etapa, es posible ya determinar la naturaleza y el origen del problema, o bien constituir sólo la etapa previa a un estudio más detallado.

Las actividades propias de esta etapa son:

2.1. Elaboración de una Ficha de Antecedentes de la Estructura y del Medio.

- a. **Estructura:** Se debe procurar recoger la mayor información posible referente a la edad o tiempo en servicio, naturaleza y procedencia de los materiales del hormigón, dosificación y resistencia característica del hormigón, tecnología de fabricación del hormigón, edad del inicio de los problemas, diagnósticos y/o reparaciones anteriores, niveles de tensiones de trabajo de los elementos o componentes estructurales, eventuales cambios de uso (Formulario 1).
- b. **Medio:** Información que permita caracterizar su agresividad. Es fundamental señalar la forma de interacción entre el medio y la estructura afectada; en este sentido, posteriormente corresponderá al criterio y experiencia del evaluador el determinar y calificar la intensidad de dicha interacción (de acuerdo a sus efectos, por ejemplo). Principalmente debe indicarse tal como se sugiere en el Formulario 2, los siguientes aspectos:
 - Tipo de atmósfera (predominantemente urbana, rural, marina, industrial, o una combinación de dos o más tipos) y estimación de la presencia de posibles contaminantes; aproximación de los ciclos de condiciones de temperatura, humedad relativa y vientos (o ventilación) atmosféricos y locales.
 - Tipo de aguas (naturales - salobres, dulces, subterráneas -, potable, de desecho - tras uso doméstico o industrial -, etc), su composición química y eventual contaminación.
 - Naturaleza del terreno o suelo (natural o de relleno, ácido o alcalino, resistividad eléctrica, características).
 - Presencia de corrientes de interferencia o erráticas y evaluación de posible contaminación.
 - Presencia de agentes químicos (sales utilizadas para deshielo, en plantas industriales, etc).

Formulario 1

FICHA DE DESCRIPCION Y ANTECEDENTES DE LA ESTRUCTURA

I. Datos Generales de la Estructura

I.1 Tipo de Estructura

Edificación

Puente

Muelle

Muro de Contención

Tanque de Almacenamiento

Plataforma Petrolera

Otro

Descripción básica de los componentes

I.2. Fecha de construcción de la estructura: _____

I.3. Uso general de la estructura: _____

I.4. Croquis de ubicación, coordenadas de la fachada, orientación y dirección del viento indicando el medio de exposición:

II. Datos Particulares de la Estructura

II.1. Propiedades de los materiales.

Tipos de cemento: _____ Tipo de Agua: _____

Naturaleza de los áridos: _____

II.2. Diseño del concreto.

Resistencia característica a la compresión: _____

Dosificación en cemento: _____ Dosificación de agregados: _____

Relación agua/cemento: _____ Uso de aditivos: _____

II.3 Propiedades de los materiales.

En obra

Prefabricado

Hormigón reforzado

Pretensado

Postensado

Tecnología de fabricación en obra: _____

Método de compactación: _____

Método de curado: _____

Formulario 1 (Cont)

DE DESCRIPCIÓN/
FICHA Y ANTECEDENTES DE LA ESTRUCTURA

III. Historial de Vida en Servicio de la Estructura.

III.1. Fecha de puesta en servicio: _____

III.2. Resistencia del hormigón a la compresión en obra: _____

III.3. Anomalías observadas durante la construcción: _____

III.3. Anomalías anteriormente detectadas:

III.4. Ensayos y mantenimiento.

Resultados de la prueba de carga: _____

Inspecciones rutinarias: _____

Ensayos Particulares: _____

Tipos de mantenimiento: _____

III.5. Reparaciones.

IV. Información adicional.

Fecha: _____ Elaborado por: _____ Nombre de la
Institución: _____

Formulario 2

FICHA DE DESCRIPCION DEL MEDIO

I. Agentes físico - químicos en contacto con la estructura.

| <input type="checkbox"/> Atmósfera | <input type="checkbox"/> Agua | <input type="checkbox"/> Suelo | <input type="checkbox"/> Otro medio |
|---|---|---------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> rural | <input type="checkbox"/> natural <input type="checkbox"/> dulce <input type="checkbox"/> salobre | <input type="checkbox"/> natural | <input type="checkbox"/> alta temperatura |
| <input type="checkbox"/> urbana | <input type="checkbox"/> doméstica <input type="checkbox"/> potable <input type="checkbox"/> residual | <input type="checkbox"/> relleno | <input type="checkbox"/> agentes químicos |
| <input type="checkbox"/> marina | <input type="checkbox"/> industrial | | <input type="checkbox"/> corrientes de interferencia |
| <input type="checkbox"/> industrial | | | <input type="checkbox"/> atmósfera específica |

II. Propiedades físicas y químicas del medio.

| <input type="checkbox"/> Atmósfera | <input type="checkbox"/> Agua | <input type="checkbox"/> Suelo |
|--|---|--|
| <input type="checkbox"/> humedad relativa: _____ | <input type="checkbox"/> cloruros: _____ | <input type="checkbox"/> cloruros: _____ |
| <input type="checkbox"/> temperatura: _____ | <input type="checkbox"/> sulfatos: _____ | <input type="checkbox"/> sulfatos: _____ |
| <input type="checkbox"/> régimen de vientos: _____ | <input type="checkbox"/> pH: _____ | <input type="checkbox"/> pH: _____ |
| | <input type="checkbox"/> temperatura: _____ | <input type="checkbox"/> potencial redox: _____ |
| | | <input type="checkbox"/> resistividad eléctrica: _____ |
| | | <input type="checkbox"/> humedad: _____ |
| | | <input type="checkbox"/> nivel freático: _____ |

* Si es posible, obtener datos meteorológicos medios.

2.2. Examen Visual General de la Estructura.

Este proceso debe permitir determinar si el problema se presenta por igual en todos los elementos de las mismas características, o si existen diferencias por causas locales (puntuales). Para ello, debe realizarse un examen diferenciado por elementos, registrando los signos aparentes de corrosión (manchas de óxido - color, extensión y curso -, fisuras - ubicación, dirección y dimensiones - zonas de desprendimiento del recubrimiento de hormigón con/sin exposición de la armadura), degradación del hormigón, así como cualquier otra seña particular que pudiera constituir un indicativo de algún agente externo.

En la Tabla II.1 (propuesta por el American Concrete Institute ACI)⁽⁴⁾ se presenta un ejemplo de cómo puede realizarse la tipificación de los daños y una clasificación según códigos e información adicional relevante; existen otras sugerencias interesantes, como la dada por la RILEM Draft Recommendation⁽⁵⁾.

Es importante elaborar un registro fotográfico amplio que acompañe las observaciones. Luego, además de binoculares (para acceder a zonas en donde no es posible una observación directa), se debe incluir una cámara fotográfica apropiada como parte del equipo necesario para llevar a cabo la inspección preliminar.

En el Formulario 3 se muestra una posible forma de presentación simultánea de la tipificación, de daños localizados en un croquis de la estructura y el respectivo reporte fotográfico.

Tal como se señaló antes, si el problema no es complejo y los evaluadores son experimentados, puede ser suficiente la información hasta aquí obtenida para dictaminar la(s) causa(s) y elaborar el pre-diagnóstico. Se procederá entonces a la elaboración de croquis/planos con el levantamiento de daños, para proceder a la rehabilitación.

En otros casos puede requerirse la realización de un mínimo de ensayos y/o mediciones - ejecutables en campo (a pie de obra) durante la inspección preliminar - complementarios a la información básica obtenida, para llegar al diagnóstico. Según el caso, pueden ser elegidos puntos o zonas representativas, en donde se efectúen alguno de los siguientes ensayos:

- Determinación de la eventual disminución del diámetro de la armadura.
- Localización de armaduras y medición del espesor de recubrimiento de hormigón.

Tabla II.1 Inspección Visual - Clasificación simplificada de daños.-

| LEYENDAS: | |
|-----------|----------------------------------|
| | DELAMINACION ACERO EXPUESTO |
| | P-FOHEO DE REPARACION |
| | GRIETA |
| | MANCHAS DE HUMEDAD |
| | MANCHAS DE OXIDOS |
| | CONCRETO FOFO |
| | CANGREJERA |
| | NUCLEO EXTRAIDO |
| | PROTUBERANCIA |
| | PROTUBERANCIA CON ACERO EXPUESTO |
| | LIXIVIACION |
| | INTEMPERISMO |

| CODIGO | DAÑO | DESCRIPCION | CAUSAS | DETALLES QUE DEBEN SER DADOS POR LA INSPECCION |
|--------|-------------------------------------|--|--|--|
| A1 | <i>Grietas o fisuras</i> | Rotura del hormigon superficial o profunda | Sobrecargas, contracción, corrosión | Dirección, ancho, longitud y profundidad |
| A2 | <i>Red de grietas</i> | Grietas estrechas y cortas formando una red | Cambio diferencial de volumen de hormigon superficial e interno. | Ancho de grietas, tamaño de red y superficie afectada. |
| B1 | <i>Gel de Exsudación</i> | Gel viscoso saliendo a través de los poros del hormigon. | Reacción alcali-agregado. | Superficie afectada, cantidad de depósito (laminas, estalactitas). |
| B2 | <i>Eflorescencia</i> | Costra blanca en la superficie del hormigon. | Lixiviación de hidróxidos con o sin formación de carbonatos. | Superficie afectada, cantidad de depósito (laminas, estalactitas). |
| B3 | <i>Manchas de oxido</i> | Manchas de color marron-rojiza. | Corrosión de la armadura, del alambre de amarra. | Localización, intensidad, posible daño asociado. |
| B4 | <i>Manchas de humedad</i> | Zona superficial del concreto con indicios de humedad. | Escurrimiento externo o interno, condensación. | Superficie afectada. |
| C1 | <i>Protuberancia</i> | Daño localizado de poca profundidad <i>superficial</i> | Desarrollo de una presión interna local o expansión de partículas de agregado. | Localización, profundidad. |
| C2 | <i>Concreto fofo</i> | Sonido hueco al golpe de martillo. | Corrosión del acero de refuerzo o cangrejeras. | Superficie afectada, grietas asociadas. |
| C3 | <i>Delaminación</i> | Fragmento de hormigon separado de la masa. | Presión interna por corrosión de la armadura, o por una fuerza externa aplicada. | Superficie afectada, profundidad. |
| C4 | <i>Inemperismo</i> | Desgaste de la superficie del hormigon, lavado de la pasta de cemento. | Acción del medio ambiente que produce <i>degradación</i> usura en la superficie. | Superficie afectada, profundidad. |
| D2 | <i>Nidos de abeja (cangrejeras)</i> | Vacios entre los agregados gruesos. | Falta de homogeneidad durante el vaciado del concreto. | Superficie afectada, profundidad, intensidad. |
| E1 | <i>Junta de construcción</i> | Demarcación en la superficie del hormigon porosas o no. | Junta entre dos colados. | Localización y posible daño asociado. |
| E2 | <i>Junta de dilatación</i> | Línea formada por la unión de dos planos de hormigon. | Espacio dejado para pequeños movimientos rotatorios. | Abertura, obstrucciones y cualquiera asociado a su deterioro. |

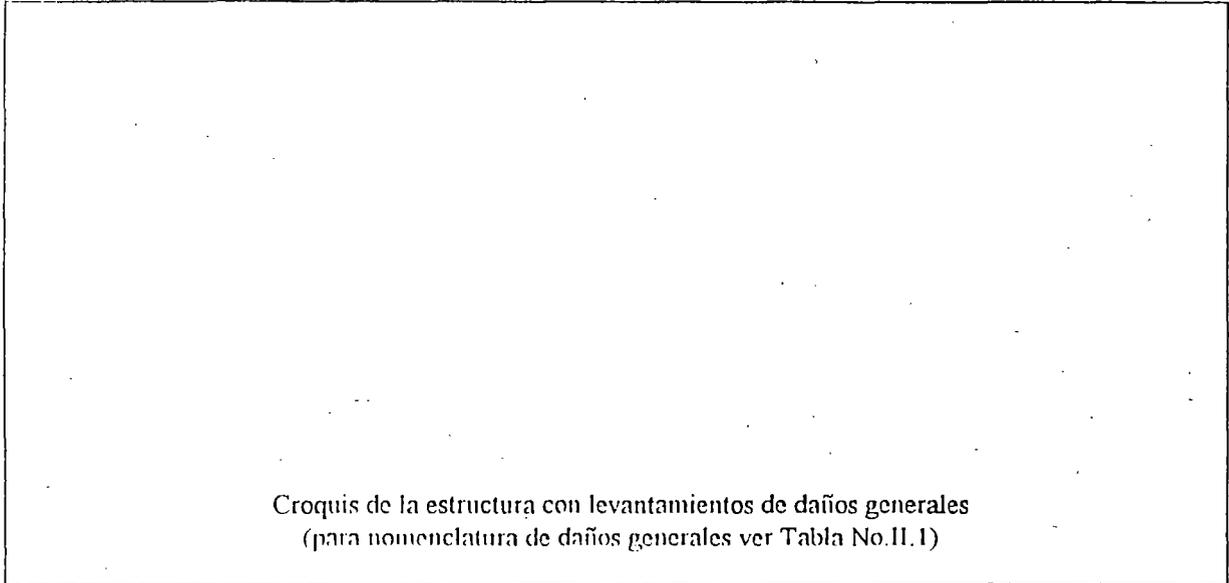
OBSERVACION: Para cualquier daño reportado se deberá evaluar además el grado de deterioro del acero de refuerzo si está a la vista, estimando la pérdida de diámetro del refuerzo y el recubrimiento. En el caso de cabillas salientes de la superficie del concreto sin daños aparentes en este, se deberá además cuantificar el número de puntos.

Formulario 3

INSPECCION VISUAL GENERAL DE LA ESTRUCTURA

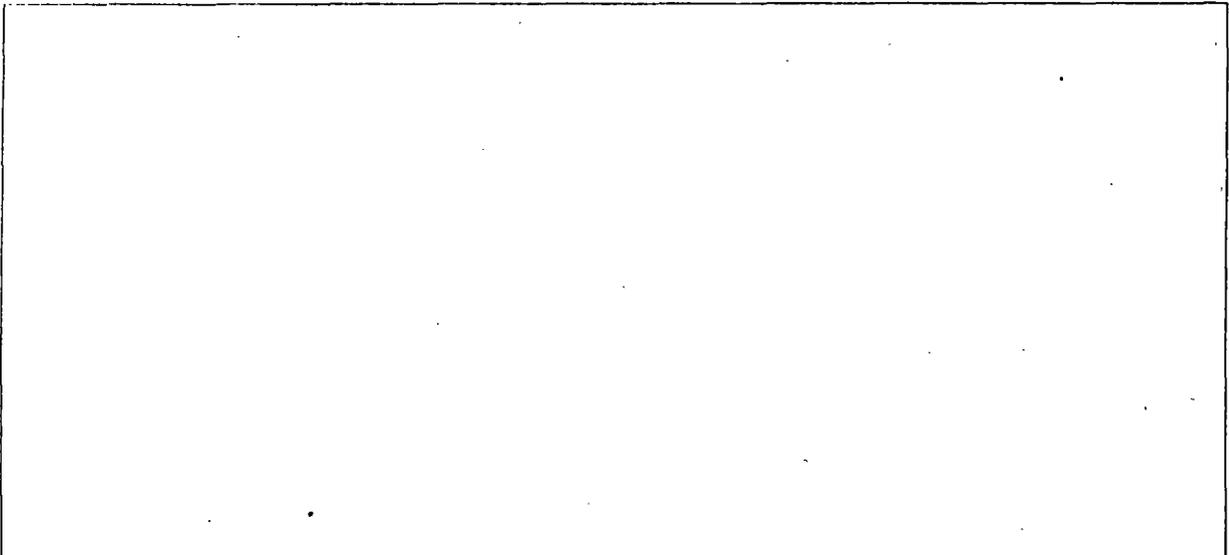
Tipo de Estructura: _____ Edad: _____
Ubicación: _____ Ambiente: _____
Orientación: _____ Fecha de inspección: _____

a) Tipificación de daños y localización en la estructura.



Croquis de la estructura con levantamientos de daños generales
(para nomenclatura de daños generales ver Tabla No.II.1)

b) Registro Fotográfico



c) Extensión y gravedad de los daños: _____

d) Ensayos mínimos a realizar:

| ENSAYO | LUGAR | RESULTADO |
|--------------------------------------|-------|-----------|
| Determinación de cloruros o sulfatos | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |
| Profundidad de carbonatación | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |
| Espesor de recubrimiento | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |

e) Prediagnóstico: _____

-
- Determinación de la resistividad eléctrica del hormigón.
 - Medición de potenciales electroquímicos.
 - Determinación de la profundidad de carbonatación y presencia de iones cloruro cuali o cuantitativos en el hormigón.
o cuali o cuantitativos

La ejecución de estos ensayos y mediciones requiere del uso de herramientas, equipos, materiales y reactivos; por lo tanto, es recomendable prever su utilización durante una inspección preliminar. Los métodos aplicables y los respectivos criterios de evaluación son tratados en el siguiente capítulo.

Los criterios para la elección de las zonas representativas pueden estar referidos a distintos factores (3.1. *aparte* a).

Finalmente, en otros casos los evaluadores pueden decidir que es imprescindible llevar a cabo una inspección detallada de la estructura, y que la realización de los ensayos y mediciones, tengan lugar sólo en dicha etapa.

3. INSPECCION DETALLADA

3.1. Plan de Trabajo

Si a partir de la inspección preliminar fue decidida la necesidad de llevar a cabo una evaluación más completa de la problemática en la estructura a través de una Inspección Detallada, la elaboración de un Plan de Trabajo constituye una etapa intermedia.

La concepción del Plan de Trabajo requiere de la evaluación de la información básica obtenida previamente (Antecedentes, Examen Visual General y, eventualmente, Resultados de los Ensayos y/o Mediciones de campo a pie de obra que conducen al pre-diagnóstico) y, en general, incluye las siguientes actividades:

a.- Elaboración de:

- Fichas, Croquis y/o planos para el levantamiento de daños.
- Plan de Muestreo.
- Tabla de tipificación de daños.

b.- Selección de:

- Las técnicas de ensayo/medición/análisis más apropiadas.
- Las zonas y el número en que serán efectuados los ensayos/mediciones.

c.- Planificación de:

- Materiales
- Equipamiento.

3.1.1.Elaboración del Plan de Muestreo

Una vez reconocida la estructura - a través de la inspección preliminar - debe hacerse una división de ella en zonas, clasificadas de acuerdo a ciertas características y/o condiciones, que sean representativas dentro del conjunto de la estructura. Luego, los puntos de muestreo serán identificados con cada una de estas zonas, de manera que la evaluación considere y enmarque cada situación particular.

La clasificación de las zonas debe estar basada en los objetivos de la inspección y orientada a facilitar la determinación de las causas que han originado los daños por corrosión en las armaduras. Se sugiere los siguientes criterios básicos:

- Diferenciar las zonas con distintas exigencias estructurales/mecánicas.
- Identificar las características originales (al ser puesto en obra) del hormigón.
- Diferenciar las zonas sometidas a distintos medios (agresivos, principalmente).
- Establecer grados de deterioro en el hormigón y en las armaduras.

En base a estos criterios, resulta muy útil realizar una división más específica de estas zonas - para la identificación final de las muestras - para lo cual debe distinguirse las subdivisiones por medio de términos apropiados. La terminología a emplear no está universalmente definida; sin embargo, es la práctica común la aplicación de la siguiente clasificación:

- **Elemento o Componente:** Parte de la estructura sometida a una exigencia estructural/mecánica específica, tal como vigas, losas, pilares, paredes, cimentaciones.
- **Lote:** Conjunto de elementos o componentes fabricados con las mismas características y en las mismas condiciones.
- **Fracción:** Subconjunto de elementos o componentes de un lote sometidos a un mismo medio.

-
- **Muestra:** Conjunto de probetas extraídas de (o de mediciones efectuadas en) los componentes o elementos seleccionados como representativos de un lote. El tamaño de la muestra (número de ejemplares que constituyen la muestra) es variable, dependiendo principalmente de las dimensiones de la estructura y de la magnitud del problema.

La división de la estructura en base al grado de deterioro de las diferentes zonas estará soportada por los resultados del examen visual y de los ensayos previos eventualmente realizados.

Los croquis y/o planos de la estructura elaborados para el levantamiento de daños deben resumir esquemáticamente y de manera simple y clara los criterios de identificación aplicados, y lo mismo que en las tablas de tipificación de daños, deberá utilizarse términos (normalizados o previamente definidos en un glosario) que describan inequívocamente la situación que se desea reflejar.

3.1.2. Selección de técnicas y zonas de ensayo/mediciones/análisis.

Realizada la división de la estructura según los criterios arriba mencionados debe estimarse en esta etapa, que tipo de ensayos, mediciones y/o análisis deberán ser llevados a cabo en la inspección detallada, y en qué (y en cuántos) puntos de muestreo serán realizados. Acerca de los equipos y de la metodología para llevar a cabo estos trabajos se tratará en el siguiente capítulo.

3.1.3. Planificación de materiales y equipamiento.

En base a los resultados de las actividades expuestas en 2.1.a y b, se deberán tomar las provisiones en cuanto a la preparación de los equipos, materiales y reactivos a utilizar (calibración, preparación de soluciones, etc.) durante la inspección detallada (o paralelamente a las obras de reparación). Se reitera la necesidad de realizar un registro fotográfico extenso y tomar en cuenta que eventualmente sea necesario el uso de binoculares o de una cámara de vídeo.

3.2. Ejecución de la Inspección Detallada.

El Examen Visual Detallado debe considerar la inspección minuciosa, tanto del hormigón (y/o de los acabados) como del estado de las armaduras.

La inspección debe abarcar todos y cada uno de los elementos, registrándose (Fichas, Planos/Croquis de Levantamiento de Daños) las anomalías observadas, las cuales están descritas en la Tabla II.1.

La inspección debe considerar la clasificación de las manchas de óxido (color, aspecto, extensión) y la morfología del ataque (uniforme o localizado, profundidad y extensión de picaduras, etc.).

La realización de ensayos y mediciones en el hormigón y en la armadura, así como la extracción de muestras a ser analizadas en laboratorio, puede ser llevada a cabo durante el examen visual detallado (ejecución del Plan Trabajo).

Pueden elaborarse fichas como las presentadas en el Anexo, para consignar los resultados de las actividades realizadas en la Inspección Detallada y el diagnóstico respectivo.

3.2.1. Ensayos a realizar en una Inspección Detallada^(1,3,4).

Como ya ha sido señalado, una parte muy importante de la información básica necesaria para poder efectuar un dictamen sobre las causas que han podido determinar la corrosión de las armaduras y su propagación, se obtiene realizando apropiados ensayos sobre las armaduras y el hormigón de la estructura.

Los ensayos mínimos a realizar serían los siguientes:

Para la evaluación del hormigón:

- Resistividad
- Ultrasonido
- Esclerometría
- Profundidad de Carbonatación
- Concentración de Cloruros
- Resistencia a la Compresión
- Porosidad

Para la evaluación de la armadura:

- Localización de la armadura y espesor de recubrimiento.
- La pérdida de diámetro del refuerzo y su límite elástico.
- La medición de potenciales
- La medición de la velocidad de corrosión

En la Tabla II.2 se resume la información de las técnicas más comunes, sus ventajas y limitaciones.

La metodología para realizar los ensayos y la toma de muestra serán tratados en los siguientes capítulos.

Tabla. II.2. Ensayos más comunes en la evaluación de corrosión de las armaduras

| ENSAYO | CAPACIDAD DE DETECCIÓN | APLICACION | VENTAJAS | LIMITACIONES |
|---|------------------------|--|--|--|
| Medición de Resistividad | Cualitativa | Problemas por presencia de Cl ⁻ | Permite pre seleccionar áreas con potencialidad corrosiva. Medida rápida | Interpretación compleja de los resultados Disponibilidad de equipo de Medida Hormigón carbonatado |
| Medición de Potenciales | Cualitativa | Cualquier Estructura | Permite pre seleccionar áreas con potencialidad corrosiva. | Interpretación compleja de los resultados |
| Medición de velocidad de corrosión | Cuantitativa | Cualquier Estructura | Medida rápida Permite, una vez conocido el tipo de corrosión, evaluar la pérdida de sección de la armadura. | Interpretación Disponibilidad del equipo adecuado que permite compensación del IR <i>Cuida corrosión</i> |
| Medición de Resistencia a la compresión y volumen de vacíos | Cuantitativa | Cualquier Estructura | En conjunto con volumen de vacíos ó relación agua/cemento ó contenido de cemento, evalúa calidad del hormigón. | Ensayo Destructivo |
| Definición de Profundidad de Carbonatación | Cuantitativa | Estructuras con Calidad del hormigón de baja a mala. | Prueba sencilla que permite identificar fácilmente este fenómeno y el tiempo para alcanzar la armadura | Ensayo Destructivo |
| Perfil de cloruros | Cuantitativa | Cualquier Estructura | Permite determinar la calidad del hormigón y el tiempo para que se presente la corrosión del refuerzo. | Ensayo Destructivo Interpretación compleja apoyo estadístico |

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Feliu y C. Andrade (Coords)(1989) Manual de Inspección de Obras Dañadas por Corrosión de Armaduras. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM) y el Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, Madrid, España.
2. Helene. Manual para Reparo, Reforço e Protecção de Estruturas de Hormigón. 2 Ed.São Paulo, PINI, 1992.
3. Repette. Contribucao à Inspeção e à Avaliação da Segurança de Estruturas Acabadas de Hormigón Armado. Porto Alegre 1991. Dissertação (Maestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Granda do Sul.
4. ACI Comitee 364. Guide for Evaluation of Concrete Structure Prior to Rehabilitation ACI Materials Journal. Sept-Oct.1993
5. RILEM Draft. Recommendation for Damage Classification of Concrete Structure. Materials and Structures, 1994,27.
6. Raharinaivo. J.M.R. Genin. Sobre la Corrosión de las Armaduras de Hormigón en Presencia de Cloruros. Materiales de Construcción. Vol. 36, No. 204. Oct-Nov. 1986
7. Cotton, G. Wilkinson (1988) Advance inorganic Chemistry. John Wiley & Sons Inc. USA
8. Takewaka, S. Matsumoto y M. Khin (1989). Nondestructive and Quantitative Evaluation for Corrosion of Reinforcing Steel in Concret using Electrochemical Inspection System. American Concret Institut, SP 128-22
9. Ausin y cols. Medida de la Velocidad de Corrosión de Armaduras en Estructuras de Hormigón. Desarrollo y Evaluación de un corrosímetro portátil (LG-ECR) adaptable a distintas técnicas electroquímicas. Hormigón y acero No.
10. Rodríguez Santiago, L.M. Ortega Basagoiti y A.M. García Guillot. Medida de la Velocidad de Corrosión de las Armaduras en Estructuras de Hormigón, mediante un equipo desarrollado dentro del Proyecto EUREKA EU-401. Hormigón y Acero No 189. 1994.

Severe Corrosion of a Gulf of Mexico Bridge

J.J. Carpio, G. Hernández-Duque, and L. Martínez
Instituto de Física UNAM, Av. Agustín Melgar s/n, Campeche, Camp. 24030, México

T. Pérez-López
Facultad de Química UNAM, Ciudad Universitaria, Ciudad, D. F. 04510, México

The severe corrosion on the largest Mexican bridge over seawater was studied. The bridge has been in service since 1982 in the tropical environment of the Gulf of Mexico. It is supported by sets of piles hammer-driven into sea soil. The concrete piles exhibited cracks up to 4 m long above the sea level, which apparently were caused by the marine environment as well as the construction procedures.

In principle, concrete provides protection against corrosion of reinforcing steel. However, the reinforcement (rebar) may corrode from exposure to aggressive environments, defects in construction, or changes in the environment.

Reinforced concrete structures are often exposed to marine environments where degradation by corrosion occurs frequently.¹² Chlorides and sulfates, oxygen, and other deleterious agents in seawater damage concrete and corrode rebar. Several techniques can characterize corrosion processes in real concrete structures: half-cell potential mapping, electrical resistivity measurement, determination of profiles and critical content of chlorides, carbonation depth measurement, ultrasonic pulse velocity and hammer-impact measurements, visual examination, and delamination detection.³⁻⁹

Half-cell potential measurements in concrete approximately indicate the

corrosion or protection condition of rebar. They are performed frequently on real concrete structures because they identify zones with different corrosion probability. The general test

method is described in the ASTM C 876-87 standard.¹⁰ The standard states that at potentials above -200 mV vs CSE (copper/copper sulfate electrode), the probability for corrosion is very low (less than 5%), while below -350 mV, corrosion is very probable (greater than 95%). However, half-cell potentials between these two values are uncertain and may not accurately determine the rebar condition.^{7,8,10}



FIGURE 1
Sets of piles support the bridge deck.

The electrical resistivity of concrete and the oxygen availability are parameters that control the corrosion rate of rebar. Their values depend on the moisture content in the concrete pores. In real structures, measurement of electrical resistivity is preferred to moisture content determinations because it does not require coring the concrete. In general, electrical resistivity values are in good agreement with what is indicated by half-cell potential measurements. Thus, when the resistivity is greater than 12 kilohm-cm, corrosion is unlikely. For resistivity ranging between 5 and 12 kilohm-cm, corrosion will probably occur. For values lower than 5 kilohm-cm, corrosion is almost certain.^{7,8}

Carbon dioxide from the air penetrates concrete, reacts with the cement constituents, and reduces its alkalinity.⁷ Thus, the normal protection against corrosion provided by the concrete can be lost as a result of carbonation. Steel reinforcement will corrode if moisture and oxygen are available at that level. The main factor controlling the rate of carbonation is humidity. Water-saturated concrete is effectively free from carbonation, while concrete exposed to an atmosphere with 70% relative humidity shows the greatest depths of carbonation. Uncarbonated concrete has a pH range between 12.5 and 13.2, which provides good protection against corrosion. However, this protection is lost when the pH decreases to values below 11. If chloride ions are present in the reinforcement zone, protection may be triggered even at higher pH values, the precise value depending on the chloride concentration in this zone. The critical value for corrosion to occur is related to the chloride-hydroxyl ion concentration ratio. Hausmann has shown that when this ratio is higher than 0.6, corrosion of the rebar is possible.¹²

Chlorides are found in old and new concrete.¹³ Chlorides penetrate hardened concrete exposed to marine spray. When they reach the rebar, corrosion occurs with a progressive accumulation of rust, which causes



FIGURE 2
Face C of pile with a long crack.

concrete cracking and spalling.

The higher the chloride ion content, the greater is the probability of corrosion. To predict the probability of corrosion, it is necessary to know the chloride concentration in the concrete next to the reinforcement and the position of the carbonation front relative to it.^{6,13}

This summary is the result of the study of the severe corrosion and mechanical damage on piles that sustain

the longest bridge in service in Mexico. The bridge links the Isla del Carmen with the mainland Campeche on the coast of the Gulf of Mexico in the Yucatan Peninsula.

Bridge Description

The 3.2-km bridge has been in service since 1982. The structure consists of more than 100 I-beam prestressed decks, a 30-m span supported by a massive reinforced-concrete

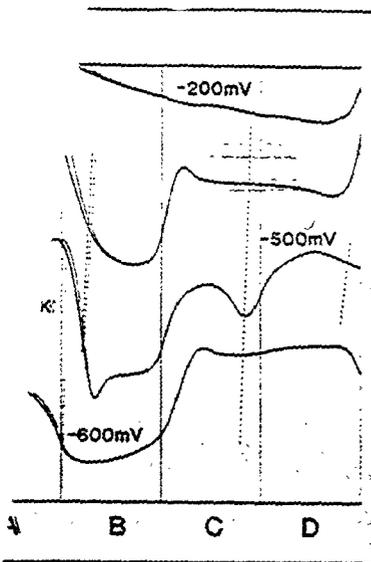


FIGURE 3
Isopotential curves (CSE) and crack patterns on the faces of the pile. A large portion above the water level is less than -350 mV, an active potential for corrosion.

hammered when driven into the marine soil. This provoked the cracks (approximately 4 m long) from the top of the pile to seawater level. Corrosion of the rebar contributed to crack development.

One-third of the piles were repaired in 1987. The cracks were filled with resin. The pile was surrounded with a steel mesh and a cement paste, which were then covered by fiberglass elements. In 1993, the same repair technique was performed on the rest of the piles.

Experimental Procedure

The measurements in this report were performed on one set of 12 piles.

Half-Cell Potentials

Half-cell potentials were measured on the surfaces of the piles. First, electrical continuity between the piles was tested at areas where rebar was exposed by cracks and at points where opening the concrete was necessary. The voltage drop between two locations was measured with a high-input impedance voltmeter. Steel was considered electrically continuous when the voltage drop measured zero. The grid pattern for half-cell potential measurements was as follows: three points in each face every 0.30 m along the entire length of the pile from its top to the seawater level (lower tidal zone). The reference was a CSE. A first analysis was made to identify zones probably affected by corrosion.

Electrical Resistivity

The four-electrodes technique used in soils was used to measure the electrical resistivity of the concrete. An electrical current was applied through two extreme electrodes, and the correspondent voltage response with the two intermediate electrodes were measured to calculate the electrical resistance.^{7,14} The electrodes were spaced 3 cm apart, one-half cm deep. Two electrical resistivity measurements were taken on one face of the pile at different levels starting from the seawater line. On some piles, measurements were taken on four faces at the same level.

Carbonation Depth

Concrete carbonation can be determined on laboratory specimens as well as on real concrete structures by applying a convenient pH indicator solution on a freshly exposed concrete surface.¹⁵ Phenolphthalein (1% solution) is generally used because it helps determine pH changes between 8 (concrete color remains the same) and 9.5 (concrete color turns purple-red). Thymolphthalein was used to identify concrete zones where pH was either below 9.3 (colorless) or above 10.5 (purple). Testing with both indicators was performed on "cracks" made with a dry-cutting saw and on the concrete surfaces of piles without protection.

Chloride Profiles

Chlorides from an external environment are the main reagents that determine the time-to-depassivation of steel in concrete; therefore, knowing the chloride concentration profiles and critical contents is very important. In real structures, these data can be obtained from concrete cores. In this study, cylindrical specimens (10 cm diam) were taken from different piles at various levels above seawater. Chloride concentration profiles were drawn using the electron microprobe technique: A flat specimen was obtained from an original concrete core, and the surface was analyzed.

Crack Pattern

To understand rebar corrosion, a complete statement of concrete cracks was performed. Both location and dimension (length and width) were determined.

Results and Discussion

Half-Cell Potentials

The isopotential curves on pile surfaces are shown in Figure 3. The plot represents the four faces, A, B, C, and D, of the pile. At the minimum tide level (zero level in vertical scale), half-cell potentials were well below -600 mV vs CSE. The -500 mV vs CSE isopotential curve had signifi-

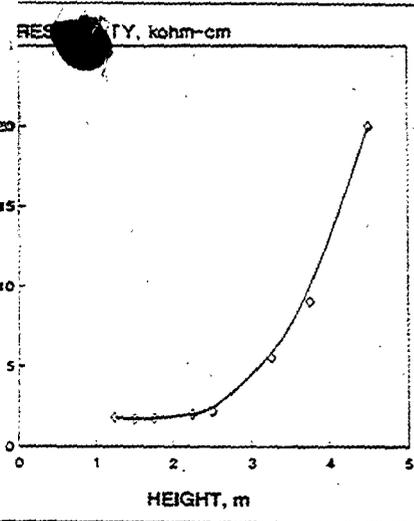


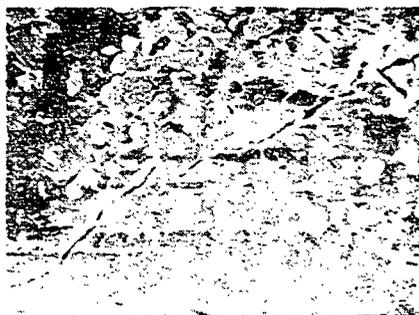
FIGURE 4
Resistivity of concrete measured by the four-electrode technique. A large resistivity drop was evident in a large portion of the pile above sea level.

...ck over 12 to 14 piles. The reinforced concrete piles are more than 10 m long and have a cross section of 45 by 45 cm. The piles are exposed to three different environments: the soil into which they were driven, seawater, and the marine atmosphere.

Premature concrete cracking and corrosion of rebar were observed on these piles four or five years after construction. The general crack pattern is shown in Figures 1 and 2. It appeared that the piles were over-



(a)



(b)

FIGURE 5

(a) Cuboidal crystals of NaCl in the core sample; (b) NaCl crystal-rich areas were found near cracks in concrete.

cant variations but was never located above a 2.7-m level. Isopotential corresponding to -350 mV vs CSE had the lowest position at 2.40 m. When concrete cores were extracted, severe corrosion of the rebar was observed in areas presenting these potential values. This condition was observed even at zones 3.3 m above seawater level. A safe region was found where potentials were above -200 mV vs CSE; this area is limited to the top-most part (above 3.9 m level) of the pile in faces C and D.

Concrete Cracks

Presumably, cracking was initiated during construction when piles were hammered to penetrate about 10 to 12 m of marine soil. Highway engineers detected small cracks on the concrete surface of piles early after construction. Further cyclic loading on the pile (service loads and seawater horizontal forces) contributed to growing and widening of the initial cracks. Concrete expansion due to reaction products between seawater and the cement constituents as well as corrosion products of the rebar presumably contributed to crack development. All piles visually exhibited long and wide vertical cracks (Figure 2). A correlation was found between cracks and the potential measurements. This can be seen in Figure 3. Face B, for example, exhibits low potential values because of the relatively small and closed crack on its surface. Faces A and C have long and wide cracks, and the -500 and -600 mV vs CSE isopotentials

were measured. Other researchers have found similar results.^{6,11}

Electrical Resistivity of Concrete

Resistivity values on a pile surface ranged from 20 kilohm-cm near the bridge deck to about 2 kilohm-cm near the water level (Figure 4). The drop in resistivity is very significant. According to known electrical-resistivity criteria, rebar corrosion can be possible at values below 5 kilohm-cm. These values are observed at levels as high as 3 m above minimum tide level.

Carbonation Depth

No carbonation was detected in the concrete surfaces of the piles, nor in artificially made cracks. The environment is considered marine-rural, containing very low carbon dioxide. Analysis on crushed material from cores showed that the pH of concrete was about 12, which means that the concrete was sound and could protect the rebar if chlorides or other de-passivating reagents were not present.

Chlorides Profiles

Chlorides were found in concrete sample cores at 2 m above sea level. The scanning electrode microscopy (SEM) micrographs in Figure 5 show the presence of sodium chloride crystals near crack surfaces. Chloride-rich areas were found in the cement part of the mortar. The dark central region in the micrograph in Figure 6 is rich in chloride ranging from 1 to 6 wt%. The platelets are sections of crushed sea shells, which could indicate that



FIGURE 6

Microstructure of the core concrete. The dark region is cement where chlorides are found, and the platelets are crushed sea shells.

shore sand and possibly seawater was used during construction. The chlorides quantitative calculations are variable. If the electron beam is focused in the sodium chloride crystal, rich areas of the chloride may be more than 20 wt% of concrete sample. The chloride measurements are averaged over larger areas. The chloride penetration profile is depicted in Figure 7. Although the scattering is significant, chloride ranged from 5% near the external surface to about 1% near the oxide layer of the rebar. These measurements should be considered carefully because the microstructural distribution of chloride is rather inhomogeneous. When concrete cores were extracted, the oxide layer covering the rebar was very moist, and consistently some points in the oxide microanalysis exhibited high chloride content. High chloride content was also found in seawater paths—cracks and interfaces between steel wire or rebar and concrete.

Sulfur-Rich Expansion Products

Figure 8 is an SEM micrograph in which needle-like crystals are revealed in the cement voids. These sulfur-rich crystals can be associated with ettringite. Ettringite is a deleterious expansion product of sulfur reactions in concrete.^{16,17} Therefore, crack formation could be related to these expansion products.

Summary

Severe corrosion and mechanical damage were found on the bridge piles. Cracks propagated along the piles, several meters in length and

crossing the full section many times. The cracks opened to widths ranging from a few tenths of a millimeter to about 2 cm. Potential measurements at and above sea level indicated that long portions of the piles were thermodynamically active from the corrosion point of view. Most of the pile was measured at potentials below -350 mV vs CSE, which means corrosion activity. The very active zone below -500 mV was about 3 m above sea level; consistently, the resistivity dropped significantly in the same region. Apparently, chloride was introduced into the mortar during pile fabrication through shore sand and probably seawater. Further chloride was introduced by diffusion and seawater directly penetrating the cracks. Sulfur-rich products were found and were associated with the cracks in the concrete.

Conclusion

The condition of the bridge motivated a repair procedure, which will

be analyzed in the future. However, basic lessons from this experience can be drawn:

- The use of shore sand and seawater should be strictly banned in concrete construction.
- Hammered-pile bridge construction techniques should be revised when microcracks are likely to form during the hammering.

References

1. N.J.M. Wilkins, P.F. Lawrence, "The Corrosion of Steel Reinforcements in Concrete Immersed in Seawater," Conf. on Corrosion of Reinforcements in Concrete Construction, London, June 1983.
2. M. Makita, "Marine Corrosion Behavior of Reinforced Concrete Exposed at Tokyo Bay," in Performance of Concrete in Marine Environment, ACI SP-65 (Detroit, MI: American Concrete Institute, 1980), pp. 271-290.
3. E.A. Baker, K. L. Money, C.B. Sanborn, "Marine Corrosion Behavior of Bare and Metallic-Coated Steel Reinforcing Rods in Concrete, in Chloride Corrosion of Steel in Concrete," ASTM STP 629 (Philadelphia, PA: ASTM, 1977), pp. 30-50.
4. R. Browne, "Mechanisms of Corrosion of Steel in Concrete in Relation to Design, Inspection and Repair of Offshore and Coastal Structures," in Performance of Concrete in Marine Environment, ACI SP-65 (Detroit, MI: American Concrete Institute, 1980), pp. 169-204.
5. N. Nielsen, B. Fespeid, "Corrosion Behavior of Reinforced Concrete under Dynamic Loading," CORROSION/85, paper no. 261 (Houston, TX: NACE, 1985).
6. L. Lemoine, A. Raharinaivo, Structures en Beton Armé au Contact de l'Eau de Mer Soumises à la Fatigue et à la Corrosion, Bull. Liaison Lab. P. et Ch., Paris, 142 (1986).
7. P.R. Vassie, A Survey of Site Tests for the Assessment of Corrosion in Reinforced Concrete, TRRL Laboratory Report 953, Crowthorne, Berkshire (1980), p. 33.
8. J.L. Dawson, "Corrosion Monitoring of Steel in Concrete," in Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction, ed. A.P. Crane, (Ellis Horwood Ltd., London: Soc. of Chem. Ind., 1983), pp. 175-191.
9. S.G. Mckenzie, Corrosion Prevention & Control, 2 (1987): p. 11.
10. Annual Book of Standards, ASTM C 876-87, "Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete" (Philadelphia, PA: ASTM).
11. G. Grimaldi, P. Brevet, G. Pannier, A. Raharinaivo, British Corrosion Journal 21, 1 (1986): p. 55.
12. D.A. Hausmann, MP 11 (1967): pp. 19-22.
13. A. Raharinaivo, J.M.R. Genin, Materiales de Construcción 36, 204 (1986): p. 5.
14. S. Feliú, C. Andrade, Manual de Inspección de Obras Dañadas por Corrosión de Armaduras, (Madrid: CSIC, 1992), p. 122.
15. A. Raharinaivo, P. Brevet, G. Grimaldi, J. Carpio, "Techniques for Assessing the Residual of Lifetime of Reinforced Concrete

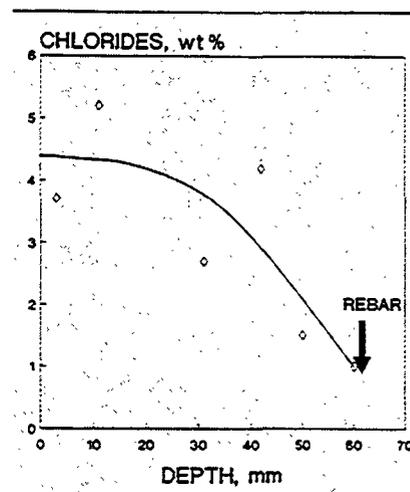


FIGURE 7
A chloride profile was created from analyzing a core drawn at a point 3 m above sea level.

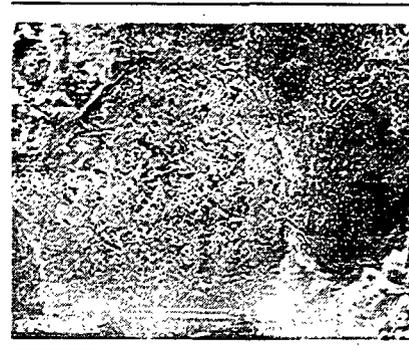


FIGURE 8
Sulfur-rich crystals are associated with ettringite.

16. W.R. Holden, C.L. Page, N.R. Short, "The Influence of Chlorides and Sulphates on Durability of Concrete," in Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction, ed. A.P. Crane, (Ellis Horwood Ltd., London: Soc. of Chem. Ind., 1983), pp. 143-150.
17. C. Larive, Les Réactions de Dégradations Internes du Béton, Rapport de Laboratoire, Serie Ouvrages d'Art OA-6, LCPC, Paris, 1990.

Technical Editor's Note: *The degradation process described was "built in" from the project's start. Infrastructure ages normally. This is serious in itself without incorporating flaws that can be avoided with proper construction specifications and procedures.*

Presented as paper no. 288 at CORROSION/94 in Baltimore, Maryland.

Corrosión en estructuras de concreto reforzado

Un problema común de durabilidad

*Dr. Ing. Pedro Castro Borges
**Ing. René M. Castillo Salazar
***Dr. Ing. Juan J. Carpio Pérez

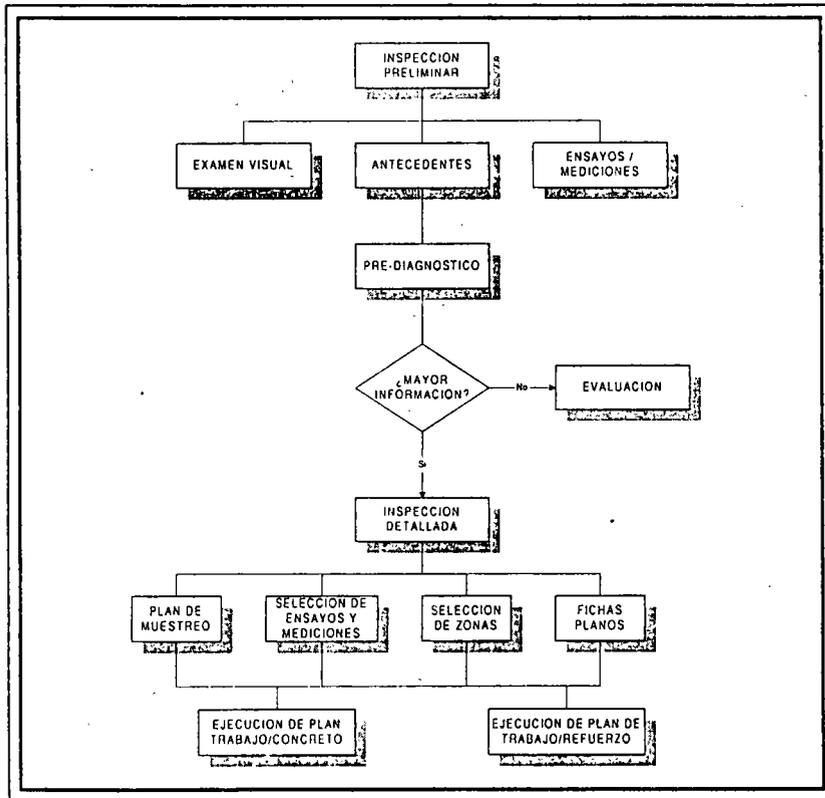


Figura 1. Inspección en obra: procedimiento general (ref. 2)

En este artículo trataremos el tema sobre inspección de daños en estructuras por corrosión del acero de refuerzo

INSPECCION PRELIMINAR

La inspección preliminar en una estructura dañada por corrosión constituye una etapa muy importante en la evaluación y posterior reparación ya que a través de ella se obtiene -directa o indirectamente- la información requerida para realizar luego una inspección detallada que proporcione un diagnóstico y recomendaciones para darle solución al problema. En esta parte se presenta una metodología para realizar la inspección preliminar.

Descripción del procedimiento de inspección

El procedimiento empleado en la inspección de las estructuras consiste primeramente en una inspección preliminar y, posteriormente, si se requiere, una inspección detallada. En general, la inspección en obra que se recomienda^{1,2} consta de los siguientes pasos:

- ❖ Elaboración de un ficha de antecedentes de la estructura y del medio

*Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida.

** Auxiliar de Investigador

***Programa de Corrosión del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche.

Tabla 1.- Clasificación de daños en las estructuras (ref. 2)

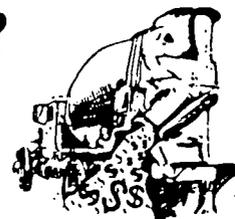
| Código | Daño | Descripción | Causa | Detalles proporcionados en inspección | |
|--------|----------------------------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------|
| A1 | Agrietamiento (general) | Separaciones irregulares del concreto sin formación de modelos o patrones | Sobrecarga, corrosión, contracciones | Dirección, ancho, profundidad | Agrietamiento |
| A2 | Patrón de agrietamiento | Como el anterior sólo que éstos siguen un patrón (una dirección ya sea perpendicular o paralela al refuerzo) | Cambios diferenciales de volumen entre el concreto interno y externo | Area de la superficie, ancho | |
| B1 | Exudación | Material de tipo viscoso que va exudando a través de los poros del concreto | Reacción álcali en el agregado | Severidad | |
| B2 | Incrustación | Cubierta blanca en la superficie del concreto | Lixiviación de la cal del cemento | Severidad, humedad | Depósitos en superficie |
| B3 | Manchas de óxido | Manchas de color café | Corrosión del refuerzo o de alambres pegados a la superficie | Severidad | |
| B4 | Humedad | Agua acumulada en la superficie | Filtraciones, depósitos | Severidad | |
| C1 | Brotos (pop-out) | Depresiones superficiales y cónicas | Desarrollo de presiones internas, por ej. Expansión del agregado | Area de superficie, profundidad | |
| C2 | Desprendimientos (spall) | Fragmentos separados de una masa considerable de concreto | Inducción de esfuerzos internos, por ej. por la corrosión del refuerzo o por fuerzas externas | Area, profundidad | Pérdida de concreto |
| C3 | Delaminaciones | Esquirlas delgadas | Formación de esfuerzos internos sobre un área grande | Area, profundidad | |
| C4 | Intemperismo | Pérdida de la superficie del concreto | Acción del medio ambiente, despoja el acabado y la pasta de la superficie | Area, profundidad | Defectos de construcción |
| D1 | Desgarramiento | Similar a las grietas | Adhesión a la cimbra o molde | Ancho, profundidad | |
| D2 | Alveolado (panal de abeja) | Vacíos entre el agregado grueso | Falta de vibración | Ancho, profundidad | |
| E1 | Juntas de construcción | Línea en la superficie del concreto, puede ser biselado o de apariencia porosa | Juntas entre dos colados | Cualquier deterioro asociado a éstas | Características de construcción |
| E2 | Juntas de tablero | Ranuras en la superficie del concreto | Marcas formadas para evitar agrietamientos por contracciones en los tableros | Cualquier deterioro asociado a éstas | |

(con base en información documental y/o visita previa).

- ❖ Examen visual general de la estructura.
- ❖ Levantamiento de daños.
- ❖ Selección de zonas para examen detallado de la estructura (elaboración del Plan de Muestreo).
- ❖ Determinación de las técnicas de ensayo/medición/análisis más apropiadas.
- ❖ Selección de zonas para la realización de ensayos/mediciones/análisis físico-químicos en el concreto y en el refuerzo.
- ❖ Examen visual detallado en zonas seleccionadas.
- ❖ Ejecución de mediciones, ensayos y análisis físico-químicos en el concreto y/o en el refuerzo.

¿PRECIOS UNITARIOS?

SISTEMA CAPUE (En Excel)
Catálogo Auxiliar de Análisis de
Precios Unitarios de Edificación
Edición 57 / Julio'96



- ◆ *Elabore sus análisis de precios y sus presupuestos de obra con facilidad, seguridad y rapidez.*

◆ *Con la libertad de una aplicación Windows.*

◆ *Con la facilidad de una herramienta EXCEL.*

ALCANCES

- Base de datos de 800 análisis de precios unitarios de aplicación práctica y 1500 precios de adquisición de materiales
- Adaptación instantánea del sistema para cualquier localidad de la República Mexicana
- Herramientas para realizar análisis y presupuestos de obra
- Explosión de insumos, control de consumos y gastos de obra
- Costos horarios de maquinaria
- Estudios de indirectos y factor de salarios
- Actualización trimestral de base de datos

SIRVIENDO A LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION

¡ ADQUIERALO HOY MISMO !

Tels.: 598 43 48 • 598 63 83 • 658 73 11 • 658 31 99

Calle Don Juan Manuel N° 10 Col. San José Insurgentes


Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN
 Unidad Mérida
CORROSIÓN EN EL ACERO DE REFUERZO
FICHA DE ANTECEDENTES

ESTUDIO: Monitoreo de la corrosión en estructuras de concreto reforzado en el Puerto de Progreso, Yuc.
OBRA: Centro de Estudios Técnicos del Mar (CETMAR)
FECHA: Jun-94
LUGAR: Progreso, Yucatán

A) DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA:
LOCALIZACIÓN: Carretera a P. de Abrego s/n
ORIENTACIÓN: Vigas en voladizo N-S, trabes E-O
TIPO DE OBRA: Escuela pública.
TIPO DE ESTRUCTURA: Concreto reforzado

B) DATOS ESPECÍFICOS DE LA ESTRUCTURA:

| | | | |
|--|-------------------------------|---|---|
| Características del concreto: | | Características del acero de refuerzo: | |
| Dosificación Cemento: No disponible | Grado: 42 | Resistencia a la fluencia: 4200 kg/cm ² | Tipo de recubrimiento: no disponible |
| Arena: No disponible | | | |
| Agua: No disponible | | | |
| Grava: No disponible | | | |
| Tipo de cemento: Tipo I | Detalles constructivos | Plano No: | |
| Resistencia a la compresión a los 28 días (f'c): 250 kg/cm ² | cimentación | 715-1 | |
| Relación a/c: no disponible | columnas | 715-1 | |
| | trabes | 715-2 | |
| | losas | 715-2 | |
| Reglamento usado: NTCC-77 RDF | | | |
| concreto fabricado en: obra | | | |

C) HISTORIAL DE SU VIDA DE SERVICIO:
Edad de la estructura: 8 años
Mantenimiento dado: pintura

Reparaciones previas: reparación de concretos en partes desprendidas por la corrosión del acero
 En algunas columnas se pintó el refuerzo con pintura antioxidante.

D) DATOS DEL MEDIO:
Tipo de atmósfera: mar
Temperatura ambiente: 26.1 °C
Humedad relativa: 79%
Precipitación pluvial: 468 mm
Tipo de suelo: Inclinante (arena de playa)
Tipo de agua manto: agua de mar, alta salinidad
Agentes agresivos en el ambiente: cloruros y sulfatos

Figura 2.- Modelo de ficha de antecedentes de la estructura para la inspección preliminar.

La inspección preliminar consiste en un examen visual para determinar todos los síntomas que pudiera tener la estructura, así como un número pequeños de ensayos que permitan ubicar el problema (en este caso recaen en los incisos a al c). Esta inspección permite tener una idea general del ambiente que rodea a éstas. En base a la complejidad del problema y de la experiencia de la persona responsable de la evaluación, se procederá a la preparación de actividades para la llamada inspección detallada.

La inspección detallada tiene por objeto cuantificar la extensión del deterioro mediante ensayos y mediciones y definir los sistemas de intervención (pronóstico de vida residual, reparaciones, rehabilitación, etc.).

En la figura 1 se muestra un esquema donde se puede observar las actividades propias de cada tipo de inspección.²

Con base en la información obtenida en esta etapa se pueden determinar las cualidades y el origen del problema, o para realizar un estudio más detallado. La inspección preliminar consiste en lo siguiente:

ANTECEDENTES DE LA ESTRUCTURA Y DEL MEDIO

Antes de empezar la inspección de la estructura se debe reunir toda la información de ésta en una ficha de antecedentes de la estructura y del medio. Esta debe contener lo siguiente:

Datos generales de la estructura

Primeramente se debe examinar toda la documentación y planos antes de salir al campo a inspeccionar la estructura. El tipo de información útil que se debe obtener es:

- ❖ Localización y ubicación de la estructura.

- ❖ Tipo de estructura (si es de concreto reforzado, presforzado, etc.)
- ❖ Tipo de obra (si es edificio público, apartamentos, puentes, naves industriales, etc.)

Datos específicos de la estructura

En este inciso se debe detallar la siguiente información:

- ❖ Detalles constructivos, incluyendo cimentaciones, juntas, refuerzo, etc.
- ❖ Características del concreto: naturaleza y procedencia de los materiales constituyentes de éste, así como la dosificación y resistencia características, especificaciones y tecnología utilizadas para su fabricación, etc.
- ❖ Planos, croquis y detalles estructurales.

Historial de su vida de servicio

La historia de la vida de servicio corresponde a los datos desde su fecha de construcción hasta los primeros síntomas de deterioro, así como reparaciones previas. En resumen, esta sección debe contener:

- ❖ Edad de la estructura, así como mantenimiento y reparaciones previas.
- ❖ Edad de inicio de los problemas, niveles de tensiones a las que está sujeto el elemento o elementos estructurales, etc.

Datos del medio

El ambiente en el cual la estructura está expuesta debe ser investigado, ya que nos permite caracterizar su agresividad. Es primordial señalar la forma de interacción entre el ambiente y la estructura, y corresponde al criterio y experiencia del evaluador el determinar y calificar la intensidad de dicha interacción. La información básica necesaria es:

❖ Tipo de atmósfera. Puede clasificarse en urbana, rural, marina, industrial, o una combinación. Debe señalarse, además, su grado de contaminación así como las condiciones de temperatura, humedad relativa, y vientos.

❖ Tipos de agua. Se clasifican en naturales (salobres, dulces, subterráneas), potable, de desecho (uso doméstico e industrial); asimismo, es importante investigar su grado de contaminación.

❖ Naturaleza del terreno o suelo. Debe señalarse si es natural o de relleno, ácido o alcalino, así como su resistividad eléctrica, características especiales y evaluación de posible contaminación.

❖ Presencia de agentes químicos. Por ejemplo sales utilizadas para el deshielo, en plantas industriales, etc.

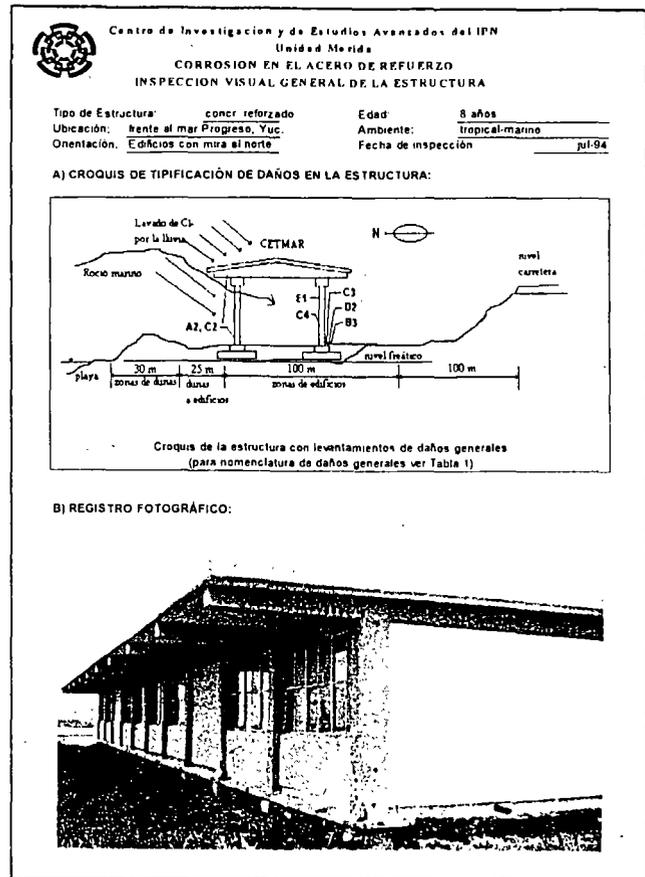
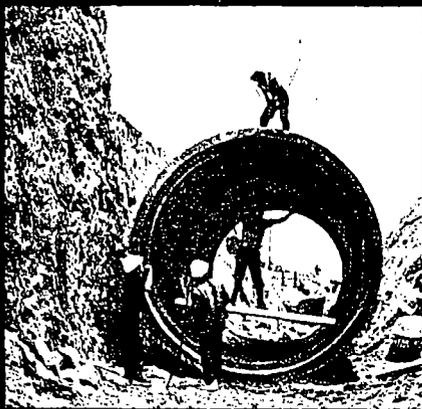


Figura 3a.- Formato de la inspección preliminar de la estructura.

MANDENOS POR UN TUBO



pero que sea.....

DYSA 
ECOLOGIA

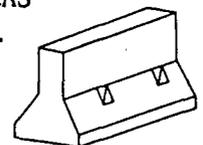


Miembro del:
 Consejo Nacional de
 Industriales Ecologistas A.C.



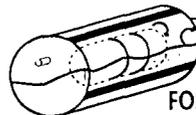
LOS PRIMEROS Y UNICOS
 FABRICANTES DE
TUBERIA ECOLOGICA
 QUE CUMPLEN CON LAS
 ESPECIFICACIONES HIDROSTATICAS
 ASTM C 361 C 443 PARA EL TLC.

- Tubería para drenajes, alcantarillado e instalaciones sanitarias.
- Fabricación de brocales, coladeras, areneros, codos, pozos de visita, postes para cerca, fantasmas para carreteras, guarniciones.



**BARRERA DYSA:
 DIVISORIA
 DE CARRETERAS**

- Fosas sépticas tratadas ecológicas
- Cubrimos las especificaciones necesarias



FOSA SEPTICA

SURTIMOS PEDIDOS A TODA LA REPUBLICA

Gabriel Mancera No. 1141 México 12, D.F.

Tels.: 559-22-55 559-56-00 575-39-41 559-09-11 559-29-31 575-39-51

Fax.: 559-01-10 559-29-31 575-23-37

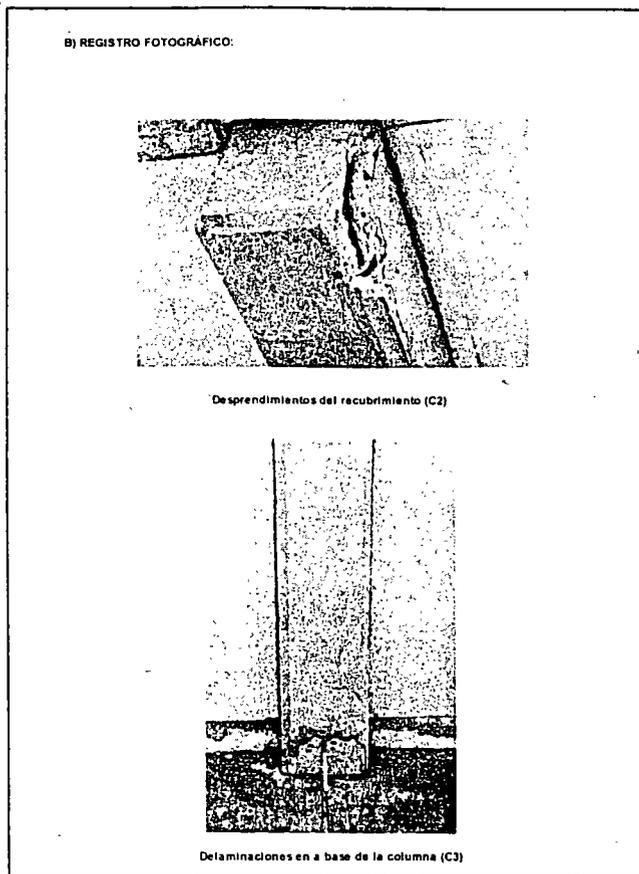


Figura 3b.- Formato de la inspección preliminar de la estructura.

- ❖ Presencia de corrientes de interferencia.

La selección de los datos anteriores puede organizarse para que la toma de ellos sea ágil y rápida. Véase un ejemplo de ficha de antecedentes en la Figura 2. Los datos presentados corresponden a una inspección de una escuela localizada en la costa yucateca.

EXAMEN VISUAL GENERAL DE LA ESTRUCTURA

Se recomienda una visita de inspección la estructura antes de planear cualquier investigación. Esta inspección visual debe ser siempre minuciosa y sistemática, poniendo atención tanto a aquellas áreas que muestren daños como a las que estén en buenas condiciones, para efectos de comparación. En términos generales la inspección visual consta de:

Levantamiento de daños

La inspección visual implica elaborar croquis o planos donde se muestre un levantamiento de daños el cual debe permitir determinar si el problema se presenta por igual en todos los elementos de las mismas características, o si existen diferencias por causas locales (puntuales).

Para tal efecto debe realizarse un examen detallado de cada elemento, registrando los signos aparentes de corrosión, es decir, las manchas de óxido (color, extensión, y curso), fisuras (ubicación, dirección y dimensiones), zonas de desprendimiento del recubrimiento de concreto con o sin exposición del refuerzo, etc.).

La Tabla 1 (ref. 2) muestra los tipos de daños que se pueden observar en las estructuras así como un código de clasificación para diferenciarlos en el levantamiento de daños.

Fotografías

Las fotografías son un excelente método para preservar la información y pueden ser de gran valor para análisis posteriores. Además de una cámara fotográfica se pueden utilizar binoculares en zonas en donde no es posible una observación directa.

Utilización de formas para registro

Durante este proceso de evaluación se puede realizar un formato para registrar toda la información obtenida. Un ejemplo de este formato se puede observar en las figuras 3a, 3b y 3c, en cuyo croquis [sección a) de la figura], están asentados los códigos de la tabla los diferentes tipos de daños.

ENSAYOS MINIMOS

Una vez hechos los pasos anteriores, si el problema no es complejo y el evaluador es experimentado, puede ser suficiente la información hasta aquí obtenida para determinar la o las causas y elaborar un diagnóstico. Si el evaluador indica que se requieren más datos para realizarlo, se pueden hacer una serie de ensayos o mediciones que se ejecutan en obra durante la inspección preliminar. Estos ensayos mínimos a realizar son:

- ❖ Medición del espesor del recubrimiento de concreto.
- ❖ Determinación de la profundidad de carbonatación.
- ❖ Determinación de los iones de cloro y sulfatos en el concreto.

Estos ensayos se deben realizar en zonas de la estructura que sean representativas del daño observado. Estas zonas pueden ser:

- ❖ Zonas expuestas a las condiciones ambientales más agresivas.
- ❖ Zonas sometidas a las mayores exigencias mecánicas y estructurales.

Mét. de Yaroslavtziev.

Se obtuvo a partir de la observación directa de varios puentes de la URSS:

Aplicable para suelos granulares.

$$d_s = K_f K_v (C + K_H) \frac{V^2}{g} - 30 D_{85}$$

donde:

K_f - coef. que depende del tipo de pila (figs 11a, 11b y 11c)

K_v - coef. definido por la expresión:

$$K_v = -0.28 \left(\frac{V^2}{g b_1} \right)^{1/3} \quad (\text{fig 12})$$

b_1 - ancho expuesto de la pila (m) (figs 11a, 11b y 11c)

V - velocidad media de la corriente aguas arriba de la pila, después de producirse la socavación general. (m/s)

g - aceleración de la gravedad (m/s²)

K_H - coef. definido por la expresión:

$$K_H = 0.17 - 0.35 \frac{H}{b_1} \quad (\text{fig 13}).$$

H - tirante de la corriente frente a la pila (m). Debe considerarse el tirante para la avenida de diseño considerando el lecho de estiaje, do, más la socavación general.

C - coef. de corrección que depende del sitio donde estén colocadas las pilas.

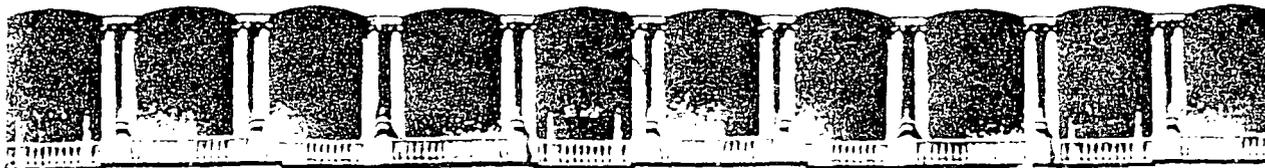
$C = 0.6$ para pilas en el cauce principal

$C = 1.0$ para pilas fuera del cauce principal.

D_{85} - diámetro tal que el 85% del material del fondo es menor (m). Yaroslavtziev recomienda que cuando este valor sea menor de 0.5 cm se desprece el el segundo término del segundo miembro de la ecuación.

El método es aplicable siempre y cuando $d_0/b_1 > 2.0$.

El presupuesto para la Alternativa 1 importa la cantidad de \$ 356,058.05 (trescientos cincuenta y seis mil cincuenta y ocho pesos 05/100 M.N.) más el I.V.A.



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

INSPECCION, MANTENIMIENTO
Y REHABILITACION DE PUENTES

*Evaluación de Daños por Corrosión
en Puentes Costeros*

Del 23 al 27 de septiembre de 1996

DR. JUAN JOSE CARPIO PEREZ
PALACIO DE MINERIA
1996

CURSO DE CAPACITACION

**INSPECCION, MANTENIMIENTO Y
REHABILITACION
DE PUENTES**

**México, D.F.
PALACIO DE MINERIA
23 - 27 Septiembre 1996**

**Evaluación de Daños por Corrosión
en Puentes Costeros**

Dr. Juan José Carpio Pérez
Programa de Corrosión del Golfo de México
Universidad Autónoma de Campeche

PROCEDIMIENTOS DE INSPECCION

(Capítulo II del Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado)

Red DURAR (Durabilidad de la Armadura) CYTED

1. GENERALIDADES

En el capítulo precedente fueron señalados y analizados los diversos factores que pueden dar lugar a la corrosión de la armadura del hormigón. El conocimiento de las diferentes manifestaciones - apreciables a simple vista o no - originadas como resultado de los fenómenos corrosivos, es fundamental para su detección y para la elaboración del diagnóstico de las fallas. Por ello, la inspección de la obra constituye una etapa muy importante en la evaluación y posterior reparación de las estructuras de hormigón armado dañadas por corrosión, ya que a través de ella se obtiene - directa o indirectamente - la información requerida para la solución del problema^(1,2).

Los procedimientos relacionados con la inspección de una estructura de hormigón armado desde el punto de vista de corrosión pueden implicar una labor bastante sencilla en algunos casos o, por el contrario, una muy ardua en otros, según la complejidad de los problemas, así como dependiendo de la magnitud y naturaleza de la obra. Antes de abordar esta actividad debe conformarse un equipo multidisciplinario de trabajo con al menos un especialista en corrosión, uno en estructura y uno en técnicas constructivas.

En términos generales, los siguientes pasos corresponden a una inspección en obra^(1,3) (Figura II.1):

- a) Elaboración de una Ficha de Antecedentes de la estructura y del medio ambiente (en base a información documental y/o visita previa).
- b) Examen visual general de la estructura.
- c) Levantamiento de daños.
- d) Selección de zonas para examen visual detallado de la estructura y Elaboración de Plan de Muestreo.
- e) Selección de las técnicas de ensayo/medición/análisis más apropiadas.
- f) Selección de zonas para la realización de ensayos/mediciones/análisis físico-químicos en el hormigón, armadura y en el medio ambiente circundante.

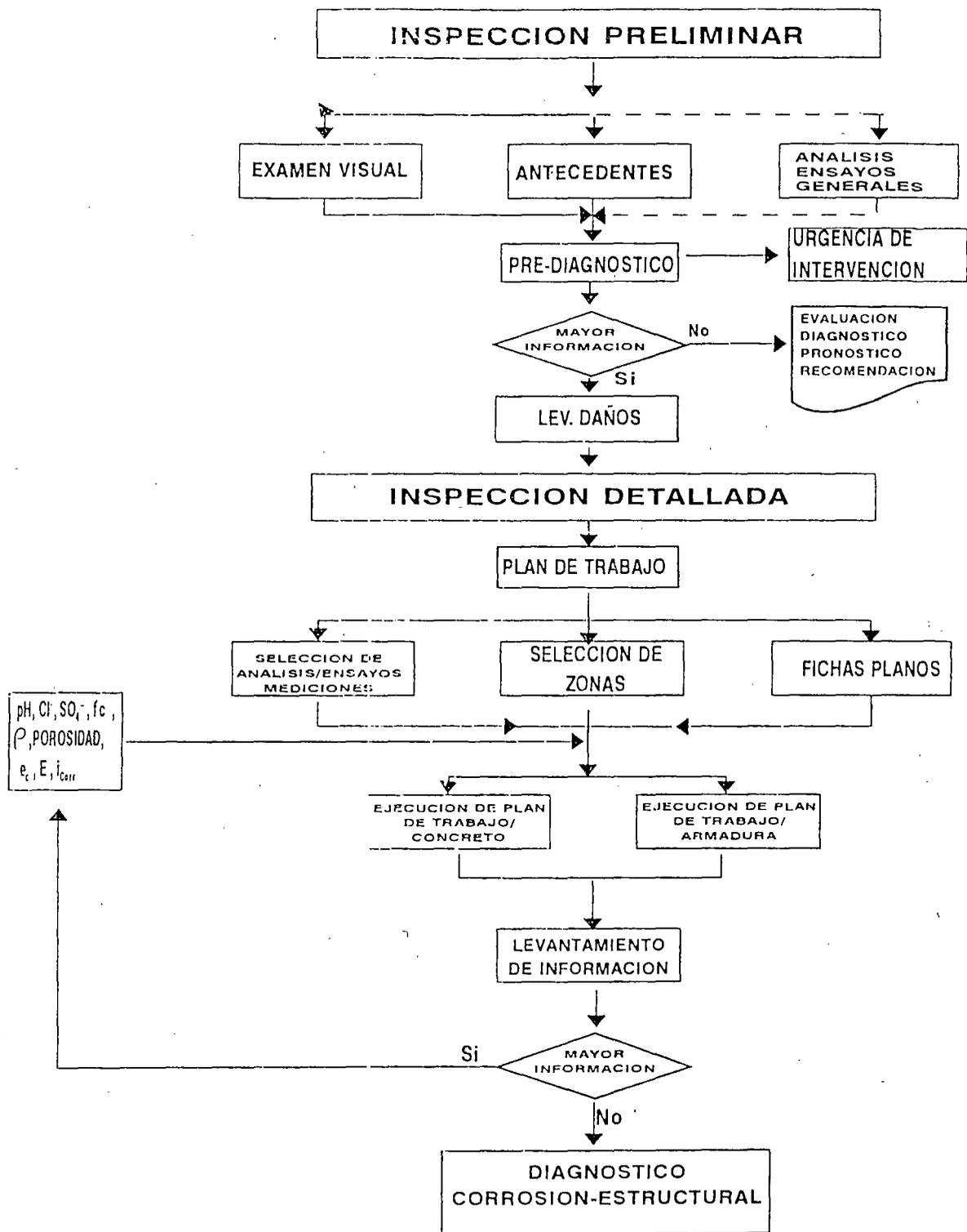


Figura II.1 ~~Pasos~~ *Etapas* para la Inspección en Obra

-
- g) Ejecución de mediciones, ensayos y análisis físico-químicos en el hormigón y/o en la armadura (sin necesidad de elaboración de Planes de Trabajo, o en base a ellos, según sea el caso).

La secuencia presentada no significa que todas las actividades deben ser necesariamente llevadas a cabo.

De acuerdo al tipo y magnitud de la información que se desee obtener se puede hablar de una Inspección Preliminar y de una Inspección Detallada.

Básicamente, la llamada Inspección Preliminar permitirá tener una idea general del contexto que rodea a la estructura con problemas. Puede estar sustentada en un visita previa y, de la necesidad de un análisis más profundo para la elaboración del diagnóstico correspondiente - lo cual dependerá principalmente, de la complejidad del problema y de la experiencia de la persona responsable de la evaluación - se procederá a la realización de actividades de preparación para la llamada Inspección detallada. *de los riesgos implicados*

Así, mientras que los puntos señalados como a) y b) constituyen pasos obligados en una inspección preliminar, la realización de ensayos, mediciones y/o análisis físico-químicos (g) pueden o no ser realizados en esta etapa, y las actividades de c) a f) sólo si se decide que es necesaria una inspección pormenorizada, para la elaboración del diagnóstico y/o con miras a una posterior reparación de la estructura.

La Inspección Preliminar permite la elaboración de un diagnóstico en algunos casos o de un pre-diagnóstico en aquellos más complejos.

En la Inspección Detallada se llevarán a cabo los ensayos y mediciones requeridas para obtener datos suficientes - en naturaleza y en número - y confiables, siguiendo los esquemas programados en la Inspección Preliminar, que permitan una evaluación acertada del problema y, eventualmente, definir los sistemas de intervención (pronóstico de vida residual, reparaciones, rehabilitación, etc.). Los puntos g) y h) son inherentes a los objetivos definidos para esta etapa.

Luego, como se muestra en el esquema de la Figura II.1, existen ciertas actividades propias de cada tipo de inspección - según han sido definidas - y otras, cuya ejecución estará condicionada a la naturaleza y características del problema.

2. INSPECCION PRELIMINAR

Como ya se ha indicado, en base a la información obtenida mediante esta etapa, es posible ya determinar la naturaleza y el origen del problema, o bien constituir sólo la etapa previa a un estudio más detallado.

Las actividades propias de esta etapa son:

2.1. Elaboración de una Ficha de Antecedentes de la Estructura y del Medio.

- a. **Estructura:** Se debe procurar recoger la mayor información posible referente a la edad o tiempo en servicio, naturaleza y procedencia de los materiales del hormigón, dosificación y resistencia característica del hormigón, tecnología de fabricación del hormigón, edad del inicio de los problemas, diagnósticos y/o reparaciones anteriores, niveles de tensiones de trabajo de los elementos o componentes estructurales, eventuales cambios de uso (Formulario 1).
- b. **Medio:** Información que permita caracterizar su agresividad. Es fundamental señalar la forma de interacción entre el medio y la estructura afectada; en este sentido, posteriormente corresponderá al criterio y experiencia del evaluador el determinar y calificar la intensidad de dicha interacción (de acuerdo a sus efectos, por ejemplo). Principalmente debe indicarse tal como se sugiere en el Formulario 2, los siguientes aspectos:
 - Tipo de atmósfera (predominantemente urbana, rural, marina, industrial, o una combinación de dos o más tipos) y estimación de la presencia de posibles contaminantes; aproximación de los ciclos de condiciones de temperatura, humedad relativa y vientos (o ventilación) atmosféricos y locales.
 - Tipo de aguas (naturales - salobres, dulces, subterráneas -, potable, de desecho - tras uso doméstico o industrial -, etc), su composición química y eventual contaminación.
 - Naturaleza del terreno o suelo (natural o de relleno, ácido o alcalino, resistividad eléctrica, características).
 - Presencia de corrientes de interferencia o erráticas y evaluación de posible contaminación.
 - Presencia de agentes químicos (sales utilizadas para deshielo, en plantas industriales, etc).

Formulario 1

FICHA DE DESCRIPCION Y ANTECEDENTES DE LA ESTRUCTURA

I. Datos Generales de la Estructura

I.1 Tipo de Estructura

Descripción básica de los componentes

Edificación

Puente

Muelle

Muro de Contención

Tanque de Almacenamiento

Plataforma Petrolera

Otro

I.2. Fecha de construcción de la estructura: _____

I.3. Uso general de la estructura: _____

I.4. Croquis de ubicación, coordenadas de la fachada, orientación y dirección del viento indicando el medio de exposición:

II. Datos Particulares de la Estructura

II.1. Propiedades de los materiales.

Tipos de cemento: _____ Tipo de Agua: _____

Naturaleza de los áridos: _____

II.2. Diseño del concreto.

Resistencia característica a la compresión: _____

Dosificación en cemento: _____ Dosificación de agregados: _____

Relación agua/cemento: _____ Uso de aditivos: _____

II.3 Propiedades de los materiales.

En obra

Prefabricado

Hormigón reforzado

Pretensado

Postensado

Tecnología de fabricación en obra: _____

Método de compactación: _____

Método de curado: _____

Formulario 1 (Cont)

DE DESCRIPCION/
FICHA Y ANTECEDENTES DE LA ESTRUCTURA.

III. Historial de Vida en Servicio de la Estructura.

III.1. Fecha de puesta en servicio: _____

III.2. Resistencia del hormigón a la compresión en obra: _____

III.3. Anomalías observadas durante la construcción: _____

III.3. Anomalías anteriormente detectadas:

III.4. Ensayos y mantenimiento.

Resultados de la prueba de carga: _____

Inspecciones rutinarias: _____

Ensayos Particulares: _____

Tipos de mantenimiento: _____

III.5. Reparaciones.

IV. Información adicional.

Fecha: _____ Elaborado por: _____ Nombre de la
Institución: _____

Formulario 2

FICHA DE DESCRIPCION DEL MEDIO

I. Agentes físico - químicos en contacto con la estructura.

| <input type="checkbox"/> Atmósfera | <input type="checkbox"/> Agua | <input type="checkbox"/> Suelo | <input type="checkbox"/> Otro medio |
|---|---|---------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> rural | <input type="checkbox"/> natural <input type="checkbox"/> dulce <input type="checkbox"/> salobre | <input type="checkbox"/> natural | <input type="checkbox"/> alta temperatura |
| <input type="checkbox"/> urbana | <input type="checkbox"/> doméstica <input type="checkbox"/> potable <input type="checkbox"/> residual | <input type="checkbox"/> relleno | <input type="checkbox"/> agentes químicos |
| <input type="checkbox"/> marina | <input type="checkbox"/> industrial | | <input type="checkbox"/> corrientes de interferencia |
| <input type="checkbox"/> industrial | | | <input type="checkbox"/> atmósfera específica |

II. Propiedades físicas y químicas del medio.

| <input type="checkbox"/> Atmósfera | <input type="checkbox"/> Agua | <input type="checkbox"/> Suelo |
|--|---|--|
| <input type="checkbox"/> humedad relativa: _____ | <input type="checkbox"/> cloruros: _____ | <input type="checkbox"/> cloruros: _____ |
| <input type="checkbox"/> temperatura: _____ | <input type="checkbox"/> sulfatos: _____ | <input type="checkbox"/> sulfatos: _____ |
| <input type="checkbox"/> régimen de vientos: _____ | <input type="checkbox"/> pH: _____ | <input type="checkbox"/> pH: _____ |
| | <input type="checkbox"/> temperatura: _____ | <input type="checkbox"/> potencial redox: _____ |
| | | <input type="checkbox"/> resistividad eléctrica: _____ |
| | | <input type="checkbox"/> humedad: _____ |
| | | <input type="checkbox"/> nivel freático: _____ |

* Si es posible, obtener datos meteorológicos medios.

2.2. Examen Visual General de la Estructura.

Este proceso debe permitir determinar si el problema se presenta por igual en todos los elementos de las mismas características, o si existen diferencias por causas locales (puntuales). Para ello, debe realizarse un examen diferenciado por elementos, registrando los signos aparentes de corrosión (manchas de óxido - color, extensión y curso -, fisuras - ubicación, dirección y dimensiones - zonas de desprendimiento del recubrimiento de hormigón con/sin exposición de la armadura), degradación del hormigón, así como cualquier otra seña particular que pudiera constituir un indicativo de algún agente externo.

En la Tabla II.1 (propuesta por el American Concrete Institute ACI)⁽⁴⁾ se presenta un ejemplo de cómo puede realizarse la tipificación de los daños y una clasificación según códigos e información adicional relevante; existen otras sugerencias interesantes, como la dada por la RILEM Draft Recommendation⁽⁵⁾.

Es importante elaborar un registro fotográfico amplio que acompañe las observaciones. Luego, además de binoculares (para acceder a zonas en donde no es posible una observación directa), se debe incluir una cámara fotográfica apropiada como parte del equipo necesario para llevar a cabo la inspección preliminar.

En el Formulario 3 se muestra una posible forma de presentación simultánea de la tipificación, de daños localizados en un croquis de la estructura y el respectivo reporte fotográfico.

Tal como se señaló antes, si el problema no es complejo y los evaluadores son experimentados, puede ser suficiente la información hasta aquí obtenida para dictaminar la(s) causa(s) y elaborar el pre-diagnóstico. Se procederá entonces a la elaboración de croquis/planos con el levantamiento de daños, para proceder a la rehabilitación.

En otros casos puede requerirse la realización de un mínimo de ensayos y/o mediciones - ejecutables en campo (a pie de obra) durante la inspección preliminar - complementarios a la información básica obtenida, para llegar al diagnóstico. Según el caso, pueden ser elegidos puntos o zonas representativas, en donde se efectúen alguno de los siguientes ensayos:

- Determinación de la eventual disminución del diámetro de la armadura.
- Localización de armaduras y medición del espesor de recubrimiento de hormigón.

Tabla II.1 Inspección Visual - Clasificación simplificada de daños.-

| LEYENDAS: | |
|-----------|----------------------------------|
| | DELAMINACION ACERO EXPUESTO |
| | REDES DE REPARACION |
| | GRIETA |
| | MANCHAS DE HUMEDAD |
| | MANCHAS DE OXIDOS |
| | CONCRETO FOFO |
| | CANGREJERA |
| | NUCLEO EXTRAIDO |
| | PROTUBERANCIA |
| | PROTUBERANCIA CON ACERO EXPUESTO |
| | LIXIVIACION |
| | INTEMPERISMO |

| CODIGO | DAÑO | DESCRIPCION | CAUSAS | DETALLES QUE DEBEN SER DADOS POR LA INSPECCION |
|--------|-----------------------------------|--|--|--|
| A1 | <i>Grietas o fisuras</i> | Rotura del hormigon superficial o profunda | Sobrecargas, contracción, corrosión | Dirección, ancho, longitud y profundidad |
| A2 | <i>Red de grietas</i> | Grietas estrechas y cortas formando una red | Cambio diferencial de volumen de hormigon superficial e interno. | Ancho de grietas, tamaño de red y superficie afectada. |
| B1 | <i>Gel de Exsudación</i> | Gel viscoso saliendo a través de los poros del hormigon. | Reacción alcali-agregado. | Superficie afectada, cantidad de depósito (laminas, estalactitas). |
| B2 | <i>Eflorescencia</i> | Costra blanca en la superficie del hormigon. | Lixiviación de hidróxidos con o sin formación de carbonatos | Superficie afectada, cantidad de depósito (laminas, estalactitas). |
| B3 | <i>Manchas de oxido</i> | Manchas de color marron-rojiza. | Corrosión de la armadura, del alambre de amarre. | Localización, intensidad, posible daño asociado. |
| B4 | <i>Manchas de humedad</i> | Zona superficial del concreto con indicios de humedad. | Escurrimiento externo o interno, condensación | Superficie afectada |
| C1 | <i>Protuberancia</i> | Daño localizado de poca profundidad superficial | Desarrollo de una presión interna local o expansión de partículas de agregado | Localización, profundidad |
| C2 | <i>Concreto fofo</i> | Sonido hueco al golpe de martillo. | Corrosión del acero de refuerzo o cangrejas. | Superficie afectada, grietas asociadas. |
| C3 | <i>Delaminación</i> | Fragmento de hormigon separado de la masa. | Presión interna por corrosión de la armadura, o por una fuerza externa aplicada. | Superficie afectada, profundidad. |
| C4 | <i>Intemperismo</i> | Desgaste de la superficie del hormigon, lavado de la pasta de cemento. | Acción del medio ambiente que produce <i>desgaste</i> usura en la superficie. | Superficie afectada, profundidad. |
| D2 | <i>Nidos de abeja (cangrejas)</i> | Vacios entre los agregados gruesos. | Falta de homogeneidad durante el vaciado del concreto. | Superficie afectada, profundidad, intensidad. |
| E1 | <i>Junta de construcción</i> | Demarcación en la superficie del hormigon porosas o no. | Junta entre dos colados. | Localización y posible daño asociado. |
| E2 | <i>Junta de dilatación</i> | Línea formada por la union de dos planos de hormigon | Espacio dejado para pequeños movimientos rotatorios | Abertura, obstrucciones y cualquiera asociado a su deterioro. |

OBSERVACION: Para cualquier daño reportado se deberá evaluar además el grado de deterioro del acero de refuerzo si está a la vista, estimando la pérdida de diámetro del refuerzo y el recuencimiento. En el caso de cabillas salientes de la superficie del concreto sin daños aparentes en este, se deberá además cuantificar el número de puntos.

Formulario 3

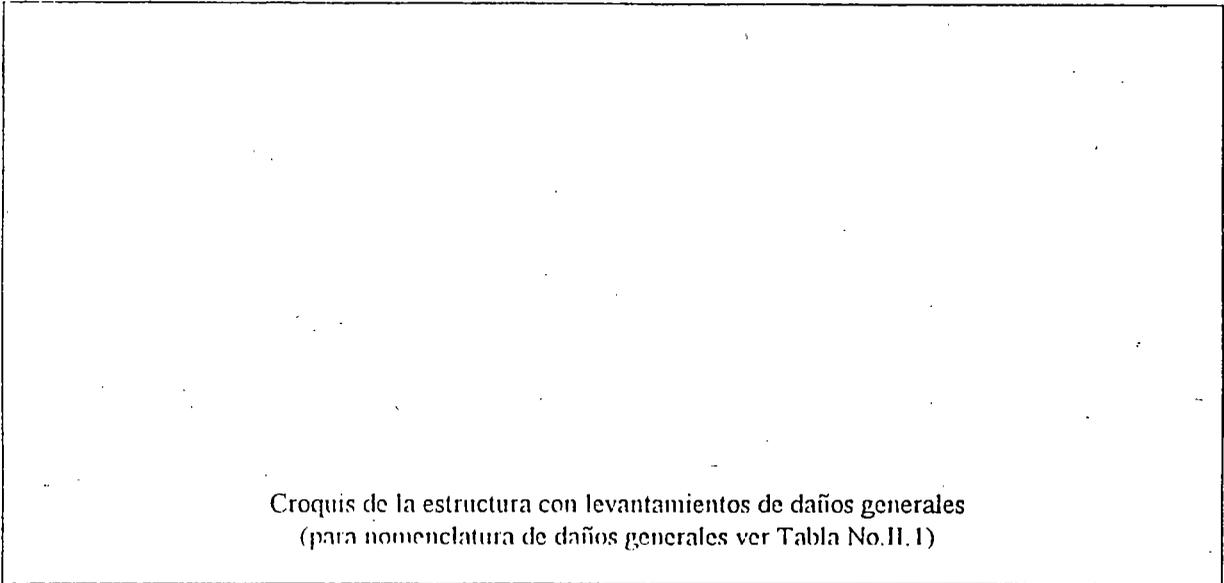
INSPECCION VISUAL GENERAL DE LA ESTRUCTURA

Tipo de Estructura: _____ Edad: _____

Ubicación: _____ Ambiente: _____

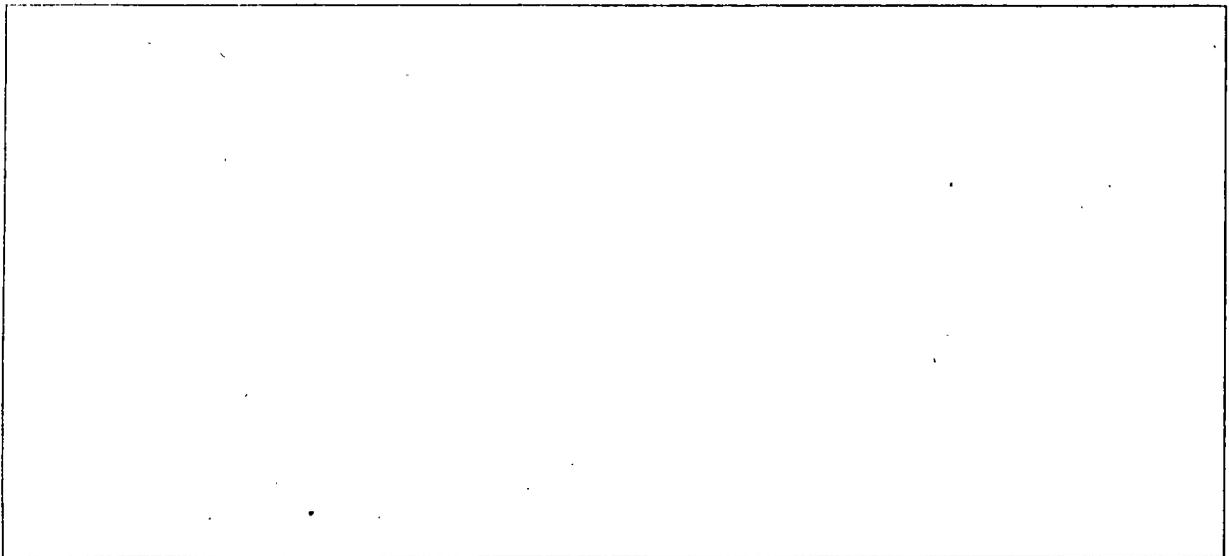
Orientación: _____ Fecha de inspección: _____

a) Tipificación de daños y localización en la estructura.



Croquis de la estructura con levantamientos de daños generales
(para nomenclatura de daños generales ver Tabla No.II.1)

b) Registro Fotográfico



c) Extensión y gravedad de los daños: _____

d) Ensayos mínimos a realizar:

| ENSAYO | LUGAR | RESULTADO |
|--------------------------------------|-------|-----------|
| Determinación de cloruros o sulfatos | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |
| Profundidad de carbonatación | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |
| Espesor de recubrimiento | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |
| | _____ | _____ |

e) Prediagnóstico: _____

-
- Determinación de la resistividad eléctrica del hormigón.
 - Medición de potenciales electroquímicos.
 - Determinación de la profundidad de carbonatación y presencia de iones cloruro cuali o cuantitativos en el hormigón.
cuali o cuantitativo

La ejecución de estos ensayos y mediciones requiere del uso de herramientas, equipos, materiales y reactivos; por lo tanto, es recomendable prever su utilización durante una inspección preliminar. Los métodos aplicables y los respectivos criterios de evaluación son tratados en el siguiente capítulo.

Los criterios para la elección de las zonas representativas pueden estar referidos a distintos factores (3.1. ~~aparte~~ a).

Finalmente, en otros casos los evaluadores pueden decidir que es imprescindible llevar a cabo una inspección detallada de la estructura, y que la realización de los ensayos y mediciones, tengan lugar sólo en dicha etapa.

3. INSPECCION DETALLADA

3.1. Plan de Trabajo

Si a partir de la inspección preliminar fue decidida la necesidad de llevar a cabo una evaluación más completa de la problemática en la estructura a través de una Inspección Detallada, la elaboración de un Plan de Trabajo constituye una etapa intermedia.

La concepción del Plan de Trabajo requiere de la evaluación de la información básica obtenida previamente (Antecedentes, Examen Visual General y, eventualmente, Resultados de los Ensayos y/o Mediciones de campo a pie de obra que conducen al pre-diagnóstico) y, en general, incluye las siguientes actividades:

a.- Elaboración de:

- Fichas, Croquis y/o planos para el levantamiento de daños.
- Plan de Muestreo.
- Tabla de tipificación de daños.

b.- Selección de:

- Las técnicas de ensayo/medición/análisis más apropiadas.
- Las zonas y el número en que serán efectuados los ensayos/mediciones.

c.- Planificación de:

- Materiales
- Equipamiento.

3.1.1. Elaboración del Plan de Muestreo

Una vez reconocida la estructura - a través de la inspección preliminar - debe hacerse una división de ella en zonas, clasificadas de acuerdo a ciertas características y/o condiciones, que sean representativas dentro del conjunto de la estructura. Luego, los puntos de muestreo serán identificados con cada una de estas zonas, de manera que la evaluación considere y enmarque cada situación particular.

La clasificación de las zonas debe estar basada en los objetivos de la inspección y orientada a facilitar la determinación de las causas que han originado los daños por corrosión en las armaduras. Se sugiere los siguientes criterios básicos:

- Diferenciar las zonas con distintas exigencias estructurales/mecánicas.
- Identificar las características originales (al ser puesto en obra) del hormigón.
- Diferenciar las zonas sometidas a distintos medios (agresivos, principalmente).
- Establecer grados de deterioro en el hormigón y en las armaduras.

En base a estos criterios, resulta muy útil realizar una división más específica de estas zonas - para la identificación final de las muestras - para lo cual debe distinguirse las subdivisiones por medio de términos apropiados. La terminología a emplear no está universalmente definida; sin embargo, es la práctica común la aplicación de la siguiente clasificación: *de*

- Elemento o Componente: Parte de la estructura sometida a una exigencia estructural/mecánica específica, tal como vigas, losas, pilares, paredes, cimentaciones.
- Lote: Conjunto de elementos o componentes fabricados con las mismas características y en las mismas condiciones.
- Fracción: Subconjunto de elementos o componentes de un lote sometidos a un mismo medio.

-
- **Muestra:** Conjunto de probetas extraídas de (o de mediciones efectuadas en) los componentes o elementos seleccionados como representativos de un lote. El tamaño de la muestra (número de ejemplares que constituyen la muestra) es variable, dependiendo principalmente de las dimensiones de la estructura y de la magnitud del problema.

La división de la estructura en base al grado de deterioro de las diferentes zonas estará soportada por los resultados del examen visual y de los ensayos previos eventualmente realizados.

Los croquis y/o planos de la estructura elaborados para el levantamiento de daños deben resumir esquemáticamente y de manera simple y clara los criterios de identificación aplicados, y lo mismo que en las tablas de tipificación de daños, deberá utilizarse términos (normalizados o previamente definidos en un glosario) que describan inequívocamente la situación que se desea reflejar.

3.1.2. Selección de técnicas y zonas de ensayo/mediciones/análisis.

Realizada la división de la estructura según los criterios arriba mencionados debe estimarse en esta etapa, que tipo de ensayos, mediciones y/o análisis deberán ser llevados a cabo en la inspección detallada, y en qué (y en cuántos) puntos de muestreo serán realizados. Acerca de los equipos y de la metodología para llevar a cabo estos trabajos se tratará en el siguiente capítulo.

3.1.3. Planificación de materiales y equipamiento.

En base a los resultados de las actividades expuestas en 2.1.a y b, se deberán tomar las provisiones en cuanto a la preparación de los equipos, materiales y reactivos a utilizar (calibración, preparación de soluciones, etc.) durante la inspección detallada (o paralelamente a las obras de reparación). Se reitera la necesidad de realizar un registro fotográfico extenso y tomar en cuenta que eventualmente sea necesario el uso de binoculares o de una cámara de video.

3.2. Ejecución de la Inspección Detallada.

El Examen Visual Detallado debe considerar la inspección minuciosa, tanto del hormigón (y/o de los acabados) como del estado de las armaduras.

La inspección debe abarcar todos y cada uno de los elementos, registrándose (Fichas, Planos/Croquis de Levantamiento de Daños) las anomalías observadas, las cuales están descritas en la Tabla II.1.

La inspección debe considerar la clasificación de las manchas de óxido (color, aspecto, extensión) y la morfología del ataque (uniforme o localizado, profundidad y extensión de picaduras, etc.).

La realización de ensayos y mediciones en el hormigón y en la armadura, así como la extracción de muestras a ser analizadas en laboratorio, puede ser llevada a cabo durante el examen visual detallado (ejecución del Plan Trabajo).

Pueden elaborarse fichas como las presentadas en el Anexo, para consignar los resultados de las actividades realizadas en la Inspección Detallada y el diagnóstico respectivo.

3.2.1. Ensayos a realizar en una Inspección Detallada^(1,3,4).

Como ya ha sido señalado, una parte muy importante de la información básica necesaria para poder efectuar un dictamen sobre las causas que han podido determinar la corrosión de las armaduras y su propagación, se obtiene realizando apropiados ensayos sobre las armaduras y el hormigón de la estructura.

Los ensayos mínimos a realizar serían los siguientes:

Para la evaluación del hormigón:

- Resistividad
- Ultrasonido
- Esclerometría
- Profundidad de Carbonatación
- Concentración de Cloruros
- Resistencia a la Compresión
- Porosidad

Para la evaluación de la armadura:

- Localización de la armadura y espesor de recubrimiento.
- La pérdida de diámetro del refuerzo y su límite elástico.
- La medición de potenciales
- La medición de la velocidad de corrosión

En la Tabla II.2 se resume la información de las técnicas más comunes, sus ventajas y limitaciones.

La metodología para realizar los ensayos y la toma de muestra serán tratados en los siguientes capítulos.

Tabla. II.2. Ensayos más comunes en la evaluación de corrosión de las armaduras

| ENSAYO | CAPACIDAD DE DETECCIÓN | APLICACION | VENTAJAS | LIMITACIONES |
|---|------------------------|--|--|--|
| Medición de Resistividad | Cualitativa | Problemas por presencia de Cl ⁻ | Permite pre seleccionar áreas con potencialidad corrosiva. Medida rápida | Interpretación compleja de los resultados Disponibilidad de equipo de Medida Hormigón carbonatado |
| Medición de Potenciales | Cualitativa | Cualquier Estructura | Permite pre seleccionar áreas con potencialidad corrosiva. Medida rápida | Interpretación compleja de los resultados |
| Medición de velocidad de corrosión | Cuantitativa | Cualquier Estructura | Permite, una vez conocido el tipo de corrosión, evaluar la pérdida de sección de la armadura. | Interpretación Disponibilidad del equipo adecuado que permite compensación del IR <i>Caida exponencial</i> |
| Medición de Resistencia a la compresión y volumen de vacíos | Cuantitativa | Cualquier Estructura | En conjunto con volumen de vacíos ó relación agua/cemento ó contenido de cemento, evalúa calidad del hormigón. | Ensayo Destructivo |
| Definición de Profundidad de Carbonatación | Cuantitativa | Estructuras con Calidad del hormigón de baja a mala. | Prueba sencilla que permite identificar fácilmente este fenómeno y el tiempo para alcanzar la armadura | Ensayo Destructivo |
| Perfil de cloruros | Cuantitativa | Cualquier Estructura | Permite determinar la calidad del hormigón y el tiempo para que se presente la corrosión del refuerzo. | Ensayo Destructivo Interpretación compleja apoyo estadístico |

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Feliu y C. Andrade (Coords)(1989) Manual de Inspección de Obras Dañadas por Corrosión de Armaduras. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM) y el Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, Madrid, España.
2. Helene. Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Hormigón. 2 Ed. São Paulo, PINI, 1992.
3. Repette. Contribucao à Inspeção e à Avaliação da Segurança de Estruturas Acabadas de Hormigón Armado. Porto Alegre 1991. Dissertação (Maestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Granda do Sul.
4. ACI Comitee 364. Guide for Evaluation of Concrete Structure Prior to Rehabilitation ACI Materials Journal. Sept-Oct.1993
5. RILEM Draft. Recommendation for Damage Classification of Concrete Structure. Materials and Structures, 1994,27.
6. Raharinaivo. J.M.R. Genin. Sobre la Corrosión de las Armaduras de Hormigón en Presencia de Cloruros. Materiales de Construcción. Vol. 36, No. 204. Oct-Nov. 1986
7. Cotton, G. Wilkinson (1988) Advance inorganic Chemistry. John Wiley & Sons Inc. USA
8. Takewaka, S. Matsumoto y M. Khin (1989). Nondestructive and. Quantitave Evaluation for Corrosion of Reinforcing Steel in Concret using Electrochemical Inspection System. American Concret Institut, SP 128-22
9. Ausin y cols. Medida de la Velocidad de Corrosión de Armaduras en Estructuras de Hormigón. Desarrollo y Evaluación de un corrosímetro portátil (LG-ECR) adaptable a distintas técnicas electroquímicas. Hormigón y acero No.
10. Rodríguez Santiago, L.M. Ortega Basagoiti y A.M. García Guillot. Medida de la Velocidad de Corrosión de las Armaduras en Estructuras de Hormigón, mediante un equipo desarrollado dentro del Proyecto EUREKA EU-401. Hormigón y Acero No 189. 1994.

Severe Corrosion of a Gulf of Mexico Bridge

J.J. Carpio, G. Hernández-Duque, and L. Martínez
Instituto de Física UNAM, Av. Agustín Melgar s/n, Campeche, Camp. 24030, México

T. Pérez-López
Facultad de Química UNAM, Ciudad Universitaria, Ciudad, D. F. 04510, México

The severe corrosion on the largest Mexican bridge over seawater was studied. The bridge has been in service since 1982 in the tropical environment of the Gulf of Mexico. It is supported by sets of piles hammer-driven into sea soil. The concrete piles exhibited cracks up to 4 m long above the sea level, which apparently were caused by the marine environment as well as the construction procedures.

In principle, concrete provides protection against corrosion of reinforcing steel. However, the reinforcement (rebar) may corrode from exposure to aggressive environments, defects in construction, or changes in the environment.

Reinforced concrete structures are often exposed to marine environments where degradation by corrosion occurs frequently.¹² Chlorides and sulfates, oxygen, and other deleterious agents in seawater damage concrete and corrode rebar. Several techniques can characterize corrosion processes in real concrete structures: half-cell potential mapping, electrical resistivity measurement, determination of profiles and critical content of chlorides, carbonation depth measurement, ultrasonic pulse velocity and hammer-impact measurements, visual examination, and delamination detection.³⁻⁹

Half-cell potential measurements in concrete approximately indicate the

corrosion or protection condition of rebar. They are performed frequently on real concrete structures because they identify zones with different corrosion probability. The general test

method is described in the ASTM C 876-87 standard.¹⁰ The standard states that at potentials above -200 mV vs CSE (copper/copper sulfate electrode), the probability for corrosion is very low (less than 5%), while below -350 mV, corrosion is very probable (greater than 95%). However, half-cell potentials between these two values are uncertain and may not accurately determine the rebar condition.^{7,8,10}



FIGURE 1
Sets of piles support the bridge deck.

The electrical resistivity of concrete and the oxygen availability are parameters that control the corrosion rate of rebar. Their values depend on the moisture content in the concrete pores. In real structures, measurement of electrical resistivity is preferred to moisture content determinations because it does not require coring the concrete. In general, electrical resistivity values are in good agreement with what is indicated by half-cell potential measurements. Thus, when the resistivity is greater than 12 kilohm-cm, corrosion is unlikely. For resistivity ranging between 5 and 12 kilohm-cm, corrosion will probably occur. For values lower than 5 kilohm-cm, corrosion is almost certain.^{7,8}

Carbon dioxide from the air penetrates concrete, reacts with the cement constituents, and reduces its alkalinity.⁷ Thus, the normal protection against corrosion provided by the concrete can be lost as a result of carbonation. Steel reinforcement will corrode if moisture and oxygen are available at that level. The main factor controlling the rate of carbonation is humidity. Water-saturated concrete is effectively free from carbonation, while concrete exposed to an atmosphere with 70% relative humidity shows the greatest depths of carbonation. Uncarbonated concrete has a pH range between 12.5 and 13.2, which provides good protection against corrosion. However, this protection is lost when the pH decreases to values below 11. If chloride ions are present in the reinforcement zone, protection may be triggered even at higher pH values, the precise value depending on the chloride concentration in this zone. The critical value for corrosion to occur is related to the chloride-hydroxyl ion concentration ratio. Hausmann has shown that when this ratio is higher than 0.6, corrosion of the rebar is possible.¹²

Chlorides are found in old and new concrete.¹³ Chlorides penetrate hardened concrete exposed to marine spray. When they reach the rebar, corrosion occurs with a progressive accumulation of rust, which causes

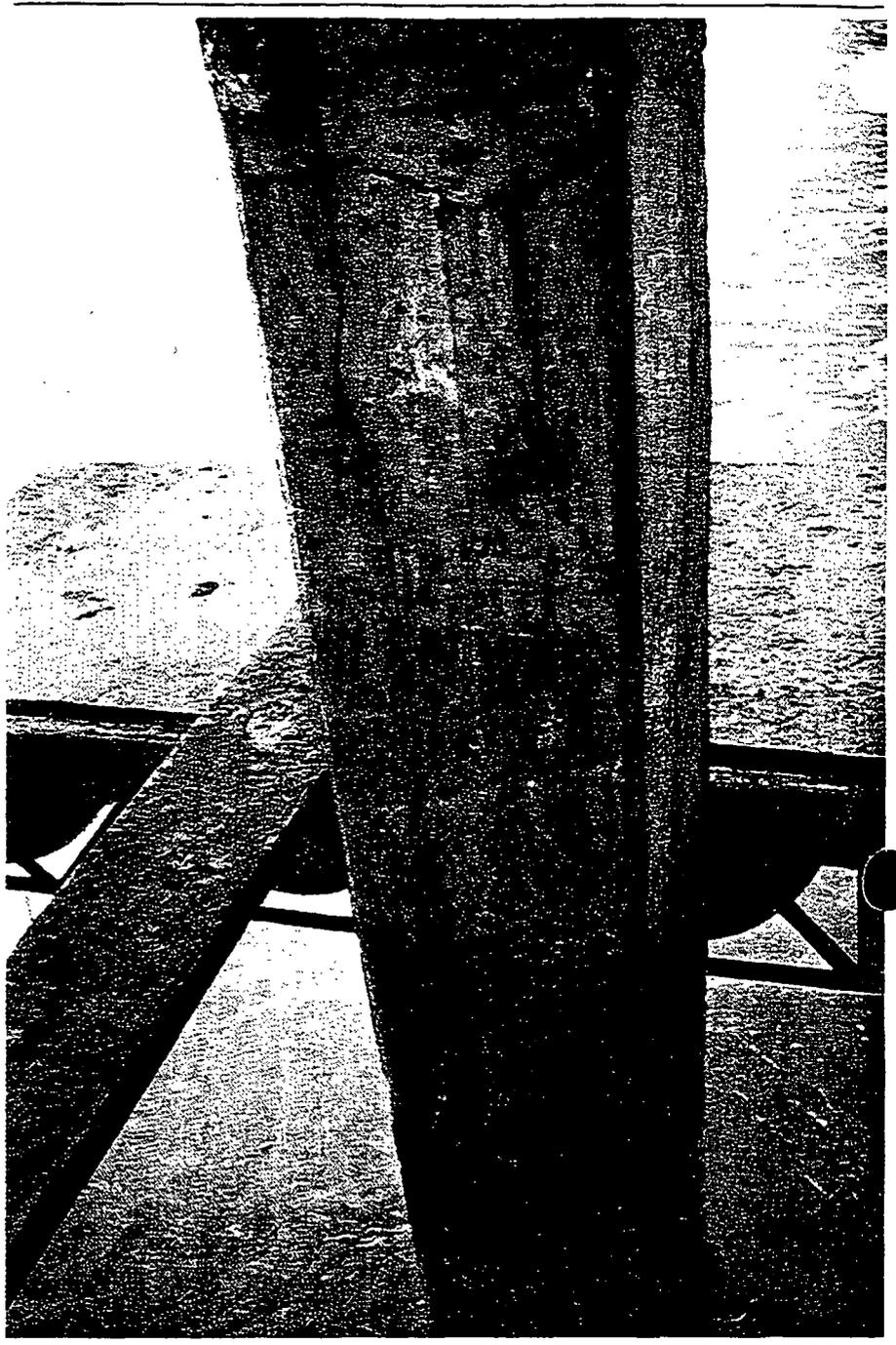


FIGURE 2
Face C of pile with a long crack.

concrete cracking and spalling.

The higher the chloride ion content, the greater is the probability of corrosion. To predict the probability of corrosion, it is necessary to know the chloride concentration in the concrete next to the reinforcement and the position of the carbonation front relative to it.^{6,13}

This summary is the result of the study of the severe corrosion and mechanical damage on piles that sustain

the longest bridge in service in Mexico. The bridge links the Isla del Carmen with the mainland Campeche on the coast of the Gulf of Mexico in the Yucatan Peninsula.

Bridge Description

The 3.2-km bridge has been in service since 1982. The structure consists of more than 100 I-beam prestressed decks, a 30-m span supported by a massive reinforced-concrete

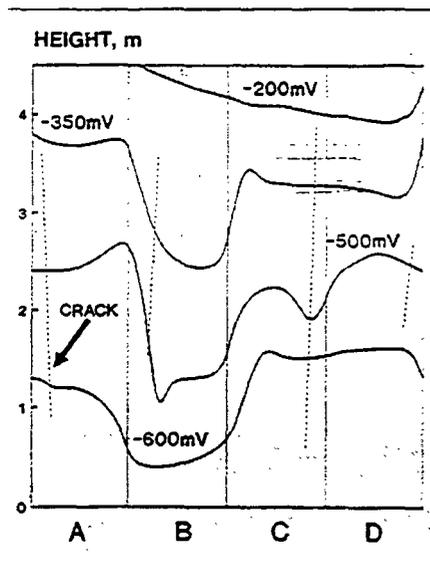


FIGURE 3

Half-cell potentials (CSE) and crack patterns on the four faces of the pile. A large portion above the water level is less than -350 mV, an active potential for corrosion.

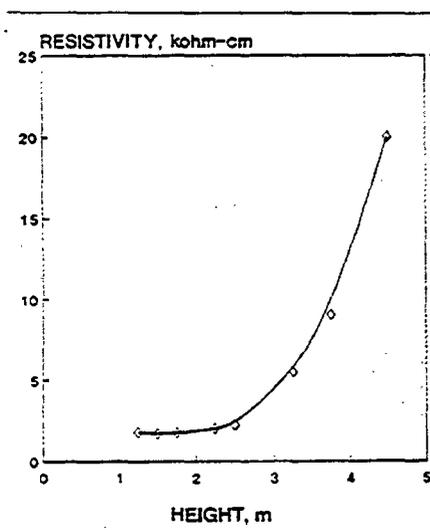


FIGURE 4

Resistivity of concrete measured by the four-electrode technique. A large resistivity drop was evident in a large portion of the pile above sea level.

block over 12 to 14 piles. The reinforced concrete piles are more than 20 m long and have a cross section of 45 by 45 cm. The piles are exposed to three different environments: the soil into which they were driven, seawater, and the marine atmosphere.

Premature concrete cracking and corrosion of rebar were observed on these piles four or five years after construction. The general crack pattern is shown in Figures 1 and 2. It appeared that the piles were over-

hammered when driven into the marine soil. This provoked the cracks (approximately 4 m long) from the top of the pile to seawater level. Corrosion of the rebar contributed to crack development.

One-third of the piles were repaired in 1987. The cracks were filled with resin. The pile was surrounded with a steel mesh and a cement paste, which were then covered by fiberglass elements. In 1993, the same repair technique was performed on the rest of the piles.

Experimental Procedure

The measurements in this report were performed on one set of 12 piles.

Half-Cell Potentials

Half-cell potentials were measured on the surfaces of the piles. First, electrical continuity between the piles was tested at areas where rebar was exposed by cracks and at points where opening the concrete was necessary. The voltage drop between two locations was measured with a high-input impedance voltmeter. Steel was considered electrically continuous when the voltage drop measured zero. The grid pattern for half-cell potential measurements was as follows: three points in each face every 0.30 m along the entire length of the pile from its top to the seawater level (lower tidal zone). The reference was a CSE. A first analysis was made to identify zones probably affected by corrosion.

Electrical Resistivity

The four-electrodes technique used in soils was used to measure the electrical resistivity of the concrete. An electrical current was applied through two extreme electrodes, and the correspondent voltage response with the two intermediate electrodes were measured to calculate the electrical resistance.^{7,14} The electrodes were spaced 3 cm apart, one-half cm deep. Two electrical resistivity measurements were taken on one face of the pile at different levels starting from the seawater line. On some piles, measurements were taken on four faces at the same level.

Carbonation Depth

Concrete carbonation can be determined on laboratory specimens as well as on real concrete structures by applying a convenient pH indicator solution on a freshly exposed concrete surface.¹⁵ Phenolphthalein (1% solution) is generally used because it helps determine pH changes between 8 (concrete color remains the same) and 9.5 (concrete color turns purple-red). Thymolphthalein was used to identify concrete zones where pH was either below 9.3 (colorless) or above 10.5 (purple). Testing with both indicators was performed on "cracks" made with a dry-cutting saw and on the concrete surfaces of piles without protection.

Chloride Profiles

Chlorides from an external environment are the main reagents that determine the time-to-depassivation of steel in concrete; therefore, knowing the chloride concentration profiles and critical contents is very important. In real structures, these data can be obtained from concrete cores. In this study, cylindrical specimens (10 cm diam) were taken from different piles at various levels above seawater. Chloride concentration profiles were drawn using the electron microprobe technique: A flat specimen was obtained from an original concrete core, and the surface was analyzed.

Crack Pattern

To understand rebar corrosion, a complete statement of concrete cracks was performed. Both location and dimension (length and width) were determined.

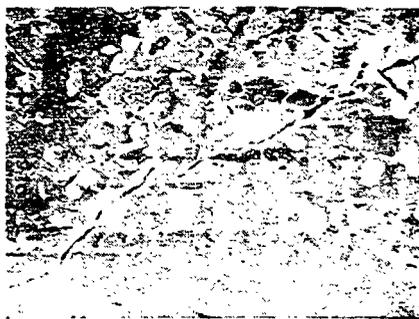
Results and Discussion

Half-Cell Potentials

The isopotential curves on pile surfaces are shown in Figure 3. The plot represents the four faces, A, B, C, and D, of the pile. At the minimum tide level (zero level in vertical scale), half-cell potentials were well below -600 mV vs CSE. The -500 mV vs CSE isopotential curve had signifi-



(a)



(b)

FIGURE 5

(a) Cuboidal crystals of NaCl in the core sample; (b) NaCl crystal-rich areas were found near cracks in concrete.

cant variations but was never located above a 2.7-m level. Isopotential corresponding to -350 mV vs CSE had the lowest position at 2.40 m. When concrete cores were extracted, severe corrosion of the rebar was observed in areas presenting these potential values. This condition was observed even at zones 3.3 m above seawater level. A safe region was found where potentials were above -200 mV vs CSE; this area is limited to the top-most part (above 3.9 m level) of the pile in faces C and D.

Concrete Cracks

Presumably, cracking was initiated during construction when piles were hammered to penetrate about 10 to 12 m of marine soil. Highway engineers detected small cracks on the concrete surface of piles early after construction. Further cyclic loading on the pile (service loads and seawater horizontal forces) contributed to growing and widening of the initial cracks. Concrete expansion due to reaction products between seawater and the cement constituents as well as corrosion products of the rebar presumably contributed to crack development. All piles visually exhibited long and wide vertical cracks (Figure 2). A correlation was found between cracks and the potential measurements. This can be seen in Figure 3. Face B, for example, exhibits low potential values because of the relatively small and closed crack on its surface. Faces A and C have long and wide cracks, and the -500 and -600 mV vs CSE isopotentials

were measured. Other researchers have found similar results.^{6,11}

Electrical Resistivity of Concrete

Resistivity values on a pile surface ranged from 20 kilohm-cm near the bridge deck to about 2 kilohm-cm near the water level (Figure 4). The drop in resistivity is very significant. According to known electrical-resistivity criteria, rebar corrosion can be possible at values below 5 kilohm-cm. These values are observed at levels as high as 3 m above minimum tide level.

Carbonation Depth

No carbonation was detected in the concrete surfaces of the piles, nor in artificially made cracks. The environment is considered marine-rural, containing very low carbon dioxide. Analysis on crushed material from cores showed that the pH of concrete was about 12, which means that the concrete was sound and could protect the rebar if chlorides or other de-passivating reagents were not present.

Chlorides Profiles

Chlorides were found in concrete sample cores at 2 m above sea level. The scanning electrode microscopy (SEM) micrographs in Figure 5 show the presence of sodium chloride crystals near crack surfaces. Chloride-rich areas were found in the cement part of the mortar. The dark central region in the micrograph in Figure 6 is rich in chloride ranging from 1 to 6 wt%. The platelets are sections of crushed sea shells, which could indicate that



FIGURE 6

Microstructure of the core concrete. The dark region is cement where chlorides are found, and the platelets are crushed sea shells.

shore sand and possibly seawater was used during construction. The chlorides quantitative calculations are variable. If the electron beam is focused in the sodium chloride crystal, rich areas of the chloride may be more than 20 wt% of concrete sample. The chloride measurements are averaged over larger areas. The chloride penetration profile is depicted in Figure 7. Although the scattering is significant, chloride ranged from 5% near the external surface to about 1% near the oxide layer of the rebar. These measurements should be considered carefully because the microstructural distribution of chloride is rather inhomogeneous. When concrete cores were extracted, the oxide layer covering the rebar was very moist, and consistently some points in the oxide microanalysis exhibited high chloride content. High chloride content was also found in seawater paths—cracks and interfaces between steel wire or rebar and concrete.

Sulfur-Rich Expansion Products

Figure 8 is an SEM micrograph in which needle-like crystals are revealed in the cement voids. These sulfur-rich crystals can be associated with ettringite. Ettringite is a deleterious expansion product of sulfur reactions in concrete.^{16,17} Therefore, crack formation could be related to these expansion products.

Summary

Severe corrosion and mechanical damage were found on the bridge piles. Cracks propagated along the piles, several meters in length and

crossing the full section many times. The cracks opened to widths ranging from a few tenths of a millimeter to about 2 cm. Potential measurements at and above sea level indicated that long portions of the piles were thermodynamically active from the corrosion point of view. Most of the pile was measured at potentials below -350 mV vs CSE, which means corrosion activity. The very active zone below -500 mV was about 3 m above sea level; consistently, the resistivity dropped significantly in the same region. Apparently, chloride was introduced into the mortar during pile fabrication through shore sand and probably seawater. Further chloride was introduced by diffusion and seawater directly penetrating the cracks. Sulfur-rich products were found and were associated with the cracks in the concrete.

Conclusion

The condition of the bridge motivated a repair procedure, which will

be analyzed in the future. However, basic lessons from this experience can be drawn:

- The use of shore sand and seawater should be strictly banned in concrete construction.
- Hammered-pile bridge construction techniques should be revised when microcracks are likely to form during the hammering.

References

1. N.J.M. Wilkins, P.F. Lawrence, "The Corrosion of Steel Reinforcements in Concrete Immersed in Seawater," Conf. on Corrosion of Reinforcements in Concrete Construction, London, June 1983.
2. M. Makita, "Marine Corrosion Behavior of Reinforced Concrete Exposed at Tokyo Bay," in Performance of Concrete in Marine Environment, ACI SP-65 (Detroit, MI: American Concrete Institute, 1980), pp. 271-290.
3. E.A. Baker, K. L. Money, C.B. Sanborn, "Marine Corrosion Behavior of Bare and Metallic-Coated Steel Reinforcing Rods in Concrete, in Chloride Corrosion of Steel in Concrete," ASTM STP 629 (Philadelphia, PA: ASTM, 1977), pp. 30-50.
4. R. Browne, "Mechanisms of Corrosion of Steel in Concrete in Relation to Design, Inspection and Repair of Offshore and Coastal Structures," in Performance of Concrete in Marine Environment, ACI SP-65 (Detroit, MI: American Concrete Institute, 1980), pp. 169-204.
5. N. Nielsen, B. Fespeid, "Corrosion Behavior of Reinforced Concrete under Dynamic Loading," CORROSION/85, paper no. 261 (Houston, TX: NACE, 1985).
6. L. Lemoine, A. Raharinaivo, Structures en Beton Armé au Contact de l'Eau de Mer Soumises à la Fatigue et à la Corrosion, Bull. Liaison Lab. P. et Ch., Paris, 142 (1986).
7. P.R. Vassie, A Survey of Site Tests for the Assessment of Corrosion in Reinforced Concrete, TRRL Laboratory Report 953, Crowthorne, Berkshire (1980), p. 33.
8. J.L. Dawson, "Corrosion Monitoring of Steel in Concrete," in Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction, ed. A.P. Crane, (Ellis Horwood Ltd., London: Soc. of Chem. Ind., 1983), pp. 175-191.
9. S.G. McKenzie, Corrosion Prevention & Control, 2 (1987): p. 11.
10. Annual Book of Standards, ASTM C 876-87, "Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete" (Philadelphia, PA: ASTM).
11. G. Grimaldi, P. Brevet, G. Pannier, A. Raharinaivo, British Corrosion Journal 21, 1 (1986): p. 55.
12. D.A. Hausmann, MP 11 (1967): pp. 19-22.
13. A. Raharinaivo, J.M.R. Genin, Materiales de Construcción 36, 204 (1986): p. 5.
14. S. Feliú, C. Andrade, Manual de Inspección de Obras Dañadas por Corrosión de Armaduras, (Madrid: CSIC, 1992), p. 122.
15. A. Raharinaivo, P. Brevet, G. Grimaldi, J. Carpio, "Techniques for Assessing the Residual of Lifetime of Reinforced Concrete

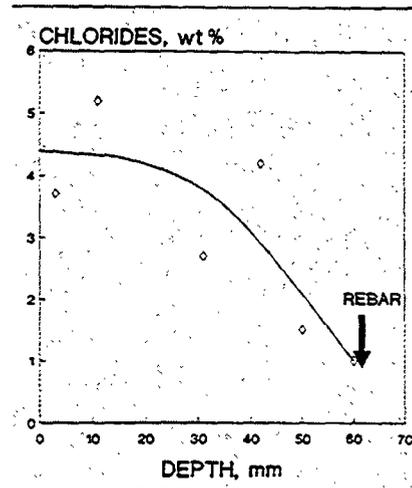


FIGURE 7
A chloride profile was created from analyzing a core drawn at a point 3 m above sea level.



FIGURE 8
Sulfur-rich crystals are associated with ettringite.

Civil Works," 9th European Congress on Corrosion, paper no. BU097, The Netherlands, October 1989.

16. W.R. Holden, C.L. Page, N.R. Short, "The Influence of Chlorides and Sulphates on Durability of Concrete," in Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction, ed. A.P. Crane, (Ellis Horwood Ltd., London: Soc. of Chem. Ind., 1983), pp. 143-150.
17. C. Larive, Les Réactions de Dégradations Internes du Béton, Rapport de Laboratoire, Serie Ouvrages d'Art OA-6, LCPC, Paris, 1990.

Technical Editor's Note: *The degradation process described was "built in" from the project's start. Infrastructure ages normally. This is serious in itself without incorporating flaws that can be avoided with proper construction specifications and procedures.*

Presented as paper no. 288 at CORROSION/94 in Baltimore, Maryland.

Corrosión en estructuras de concreto reforzado

Un problema común de durabilidad

*Dr. Ing. Pedro Castro Borges
**Ing. René M. Castillo Salazar
***Dr. Ing. Juan J. Carpio Pérez

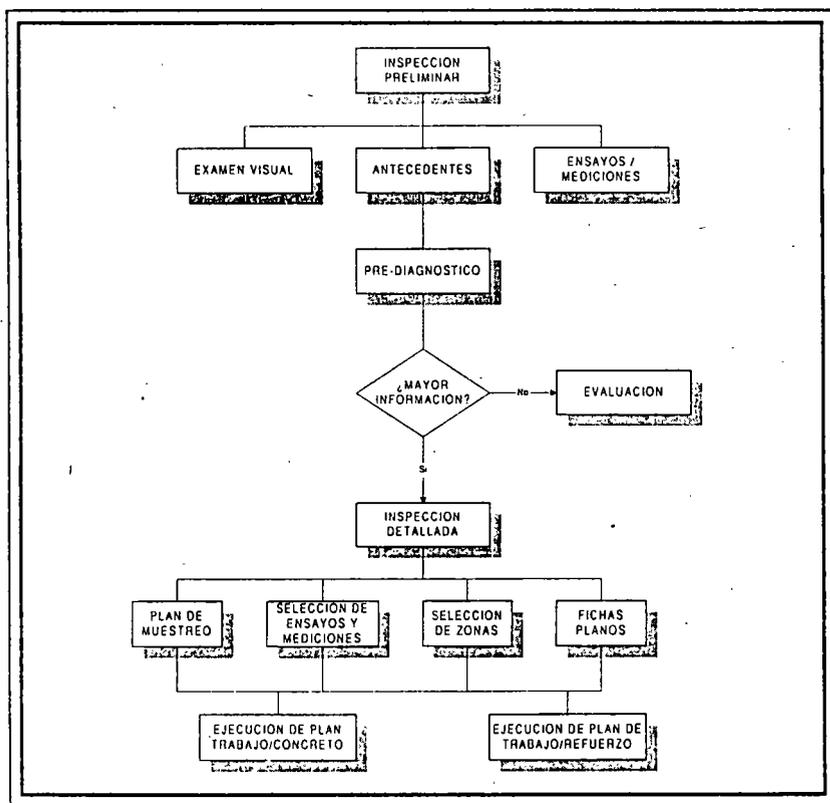


Figura 1. Inspección en obra: procedimiento general (ref. 2)

En este artículo trataremos el tema sobre inspección de daños en estructuras por corrosión del acero de refuerzo

INSPECCION PRELIMINAR

La inspección preliminar en una estructura dañada por corrosión constituye una etapa muy importante en la evaluación y posterior reparación ya que a través de ella se obtiene -directa o indirectamente- la información requerida para realizar luego una inspección detallada que proporcione un diagnóstico y recomendaciones para darle solución al problema. En esta parte se presenta una metodología para realizar la inspección preliminar.

Descripción del procedimiento de inspección

El procedimiento empleado en la inspección de las estructuras consiste primeramente en una inspección preliminar y, posteriormente, si se requiere, una inspección detallada. En general, la inspección en obra que se recomienda^{1,2} consta de los siguientes pasos:

- ❖ Elaboración de un ficha de antecedentes de la estructura y del medio

*Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida.

** Auxiliar de Investigador

***Programa de Corrosión del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche.

Tabla 1.- Clasificación de daños en las estructuras (ref. 2)

| Código | Daño | Descripción | Causa | Detalles proporcionados en inspección | |
|--------|----------------------------|--|---|---|----------------------|
| A1 | Agrietamiento (general) | Separaciones irregulares del concreto sin formación de modelos o patrones | Sobrecarga, corrosión, contracciones | Dirección, profundidad | ancho, Agrietamiento |
| A2 | Patrón de agrietamiento | Como el anterior sólo que éstos siguen un patrón (una dirección ya sea perpendicular o paralela al refuerzo) | Cambios diferenciales de volumen entre el concreto interno y externo | Area de la superficie, ancho | |
| B1 | Exudación | Material de tipo viscoso que va exudando a través de los poros del concreto | Reacción álcali en el agregado | Severidad | |
| B2 | Incrustación | Cubierta blanca en la superficie del concreto | Lixiviación de la cal del cemento | Severidad, humedad, Depósitos en superficie | |
| B3 | Manchas de óxido | Manchas de color café | Corrosión del refuerzo o de alambres pegados a la superficie | Severidad | |
| B4 | Humedad | Agua acumulada en la superficie | Filtraciones, depósitos | Severidad | |
| C1 | Brotos (pop-out) | Depresiones superficiales y cónicas | Desarrollo de presiones internas, por ej. Expansión del agregado | Area de superficie, profundidad | |
| C2 | Desprendimientos (spall) | Fragmentos separados de una masa considerable de concreto | Inducción de esfuerzos internos, por ej. por la corrosión del refuerzo o por fuerzas externas | Area, profundidad, Pérdida de concreto | |
| C3 | Delaminaciones | Esquirlas delgadas | Formación de esfuerzos internos sobre un área grande | Area, profundidad | |
| C4 | Intemperismo | Pérdida de la superficie del concreto | Acción del medio ambiente, despoja el acabado y la pasta de la superficie | Area, profundidad, Defectos de construcción | |
| D1 | Desgarramiento | Similar a las grietas | Adhesión a la cimbra o molde | Ancho, profundidad | |
| D2 | Alveolado (panal de abeja) | Vacíos entre el agregado grueso | Falta de vibración | Ancho, profundidad | |
| E1 | Juntas de construcción | Línea en la superficie del concreto, puede ser biselado o de apariencia porosa | Juntas entre dos colados | Cualquier deterioro asociado a éstas, Características de construcción | |
| E2 | Juntas de tablero | Ranuras en la superficie del concreto | Marcas formadas para evitar agrietamientos por contracciones en los tableros | Cualquier deterioro asociado a éstas | |

(con base en información documental y/o visita previa).

- ❖ Examen visual general de la estructura.
- ❖ Levantamiento de daños.
- ❖ Selección de zonas para examen detallado de la estructura (elaboración del Plan de Muestreo).
- ❖ Determinación de las técnicas de ensayo/medición/análisis más apropiadas.
- ❖ Selección de zonas para la realización de ensayos/mediciones/análisis físico-químicos en el concreto y en el refuerzo.
- ❖ Examen visual detallado en zonas seleccionadas.
- ❖ Ejecución de mediciones, ensayos y análisis físico-químicos en el concreto y/o en el refuerzo.

¿PRECIOS UNITARIOS?

SISTEMA CAPUE (En Excel)
Catálogo Auxiliar de Análisis de
Precios Unitarios de Edificación
Edición 57 / Julio'96



- ◆ *Elabore sus análisis de precios y sus presupuestos de obra con facilidad, seguridad y rapidez.*
 - ◆ *Con la libertad de una aplicación Windows.*
 - ◆ *Con la facilidad de una herramienta EXCEL.*

ALCANCES

- Base de datos de 800 análisis de precios unitarios de aplicación práctica y 1500 precios de adquisición de materiales
- Adaptación instantánea del sistema para cualquier localidad de la República Mexicana
- Herramientas para realizar análisis y presupuestos de obra
- Explosión de insumos, control de consumos y gastos de obra
- Costos horarios de maquinaria
- Estudios de indirectos y factor de salarios
- Actualización trimestral de base de datos

SIRVIENDO A LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION

¡ ADQUIERALO HOY MISMO !

Tels.: 598 43 48 • 598 63 83 • 658 73 11 • 658 31 99

Calle Don Juan Manuel N° 10 Col. San José Insurgentes

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN
Unidad Mérida
CORROSION EN EL ACERO DE REFUERZO
FICHA DE ANTECEDENTES

ESTUDIO: Monitoreo de la corrosión en estructuras de concreto reforzado en el Puerto de Progreso, Yuc.
OBRA: Centro de Estudios Técnicos del Mar (CETMAR)
FECHA: Jun-94
LUGAR: Progreso, Yucatán

A) DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA:
LOCALIZACIÓN: Carretera a P. de Abasco s.m.
ORIENTACIÓN: Vigas en voladizo N-S, Vigas E-O
TIPO DE OBRA: Escuela pública
TIPO DE ESTRUCTURA: Concreto reforzado

B) DATOS ESPECÍFICOS DE LA ESTRUCTURA:

| | | | |
|--|------------------------|---|-------------------------|
| Características del concreto: | | Características del acero de refuerzo: | |
| Dosificación Cemento: | No disponible | Grado: | 42 |
| Arena: | No disponible | Resistencia a la fluencia: | 4200 kg/cm ² |
| Agua: | No disponible | Tipo de recubrimiento: | no disponible |
| Grava: | No disponible | | |
| Tipo de cemento: | Tipo 1 | Detalles constructivos | Plano No: |
| Resistencia a la compresión a los 28 días (f _c): | 250 kg/cm ² | cimentación | 715-1 |
| Relación a/c: | no disponible | columnas | 715-1 |
| | | trabes | 715-2 |
| | | losas | 715-2 |
| Reglamento usado: | NTCC-77 RDF | | |
| concreto fabricado en: | obra | | |

C) HISTORIAL DE SU VIDA DE SERVICIO:

Edad de la estructura: 8 años
Mantenimiento dado: pintura

Reparaciones previas: reparación de concretos en partes desprendidas por la corrosión del acero
En algunas columnas se pintó el refuerzo con pintura antioxidante.

D) DATOS DEL MEDIO:

Tipo de atmósfera: marina
Temperatura ambiente: 26.1 °C
Humedad relativa: 79%
Precipitación pluvial: 468 mm
Tipo de suelo: friccional (arena de playa)
Tipo de agua manto: agua de mar alta salinidad
Agentes agresivos en el ambiente: cloruros y sulfatos

Figura 2.- Modelo de ficha de antecedentes de la estructura para la inspección preliminar.

La inspección preliminar consiste en un examen visual para determinar todos los síntomas que pudiera tener la estructura, así como un número pequeños de ensayos que permitan ubicar el problema (en este caso recaen en los incisos a al c). Esta inspección permite tener una idea general del ambiente que rodea a éstas. En base a la complejidad del problema y de la experiencia de la persona responsable de la evaluación, se procederá a la preparación de actividades para la llamada inspección detallada.

La inspección detallada tiene por objeto cuantificar la extensión del deterioro mediante ensayos y mediciones y definir los sistemas de intervención (pronóstico de vida residual, reparaciones, rehabilitación, etc.).

En la figura 1 se muestra un esquema donde se puede observar las actividades propias de cada tipo de inspección.²

Con base en la información obtenida en esta etapa se pueden determinar las cualidades y el origen del problema, o para realizar un estudio más detallado. La inspección preliminar consiste en lo siguiente:

ANTECEDENTES DE LA ESTRUCTURA Y DEL MEDIO

Antes de empezar la inspección de la estructura se debe reunir toda la información de ésta en una ficha de antecedentes de la estructura y del medio. Esta debe contener lo siguiente:

Datos generales de la estructura

Primeramente se debe examinar toda la documentación y planos antes de salir al campo a inspeccionar la estructura. El tipo de información útil que se debe obtener es:

- ❖ Localización y ubicación de la estructura.

- ❖ Tipo de estructura (si es de concreto reforzado, presforzado, etc.)
- ❖ Tipo de obra (si es edificio público apartamentos, puentes, naves industriales, etc.)

Datos específicos de la estructura

En este inciso se debe detallar la siguiente información:

- ❖ Detalles constructivos, incluyendo cimentaciones, juntas, refuerzo, etc.
- ❖ Características del concreto: naturaleza y procedencia de los materiales constituyentes de éste, así como la dosificación y resistencia características, especificaciones y tecnología utilizadas para su fabricación, etc.
- ❖ Planos, croquis y detalles estructurales.

Historial de su vida de servicio

La historia de la vida de servicio corresponde a los datos desde su fecha de construcción hasta los primeros síntomas de deterioro, así como reparaciones previas. En resumen, esta sección debe contener:

- ❖ Edad de la estructura, así como mantenimiento y reparaciones previas.
- ❖ Edad de inicio de los problemas, niveles de tensiones a las que está sujeto el elemento o elementos estructurales, etc.

Datos del medio

El ambiente en el cual la estructura está expuesta debe ser investigado, ya que nos permite caracterizar su agresividad. Es primordial señalar la forma de interacción entre el ambiente y la estructura, y corresponde al criterio y experiencia del evaluador el determinar y calificar la intensidad de dicha interacción. La información básica necesaria es:

❖ Tipo de atmósfera. Puede clasificarse en urbana, rural, marina, industrial, o una combinación. Debe señalarse, además, su grado de contaminación así como las condiciones de temperatura, humedad relativa, y vientos.

❖ Tipos de agua. Se clasifican en naturales (salobres, dulces, subterráneas), potable, de desecho (uso doméstico e industrial); asimismo, es importante investigar su grado de contaminación.

❖ Naturaleza del terreno o suelo. Debe señalarse si es natural o de relleno, ácido o alcalino, así como su resistividad eléctrica, características especiales y evaluación de posible contaminación.

❖ Presencia de agentes químicos. Por ejemplo sales utilizadas para el deshielo, en plantas industriales, etc.

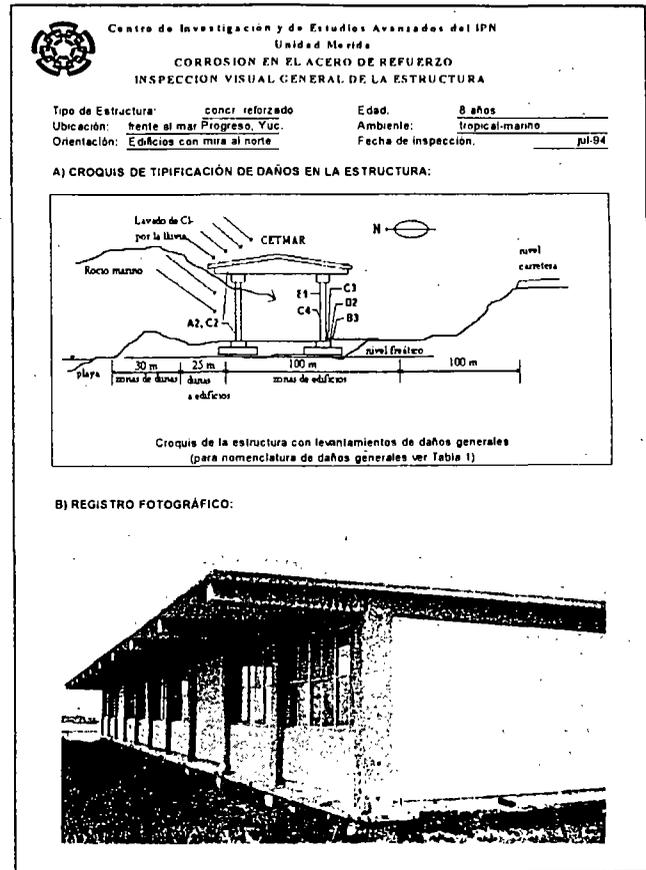
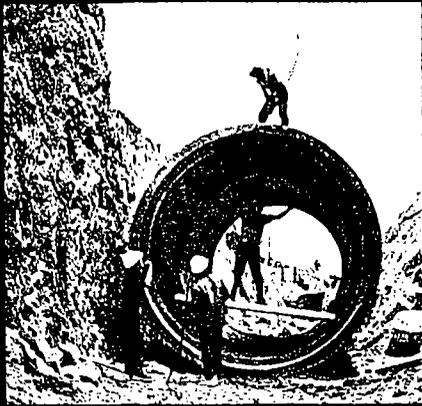


Figura 3a.- Formato de la inspección preliminar de la estructura.

MANDENOS POR UN TUBO



pero que sea.....

DYSA
ECOLOGIA



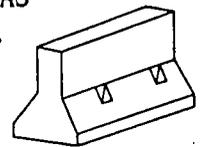
CONEICO

Miembro del:
Consejo Nacional de
Industrias Ecologistas A.C.



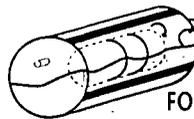
LOS PRIMEROS Y UNICOS
FABRICANTES DE
TUBERIA ECOLOGICA
QUE CUMPLEN CON LAS
ESPECIFICACIONES HIDROSTATICAS
ASTM C 361 C 443 PARA EL TLC.

- Tubería para drenajes, alcantarillado e instalaciones sanitarias.
- Fabricación de brocales, coladeras, areneros, codos, pozos de visita, postes para cerca, fantasmas para carreteras, guarniciones.



**BARRERA DYSA:
DIVISORIA
DE CARRETERAS**

- Fosas sépticas tratadas ecológicas
- Cubrimos las especificaciones necesarias



FOSA SEPTICA

SURTIMOS PEDIDOS A TODA LA REPUBLICA
Gabriel Mancera No. 1141 México 12, D.F.

Tels.: 559-22-55 559-56-00 575-39-41 559-09-11 559-29-31 575-39-51
Fax.: 559-01-10 559-29-31 575-23-37

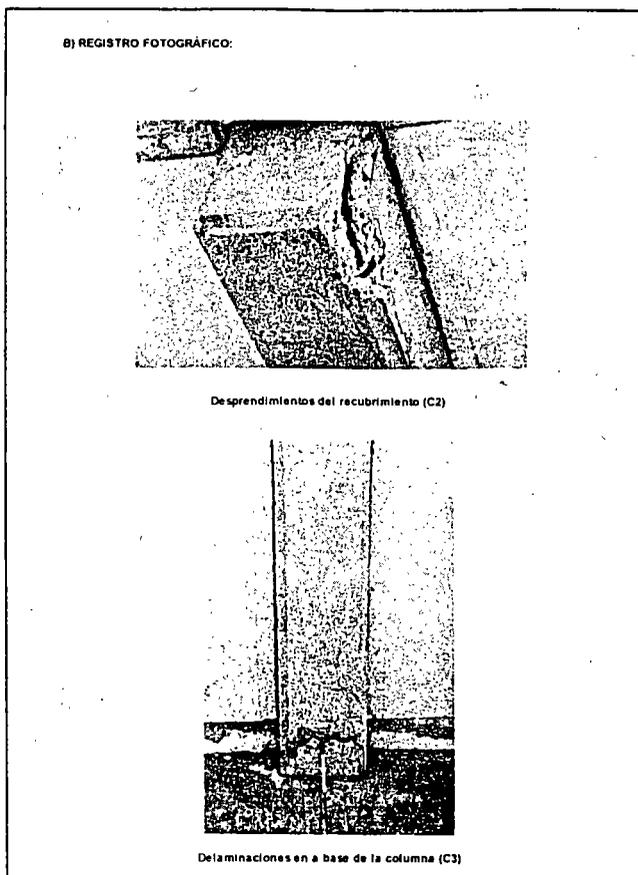


Figura 3b.- Formato de la inspección preliminar de la estructura.

Fotografías

Las fotografías son un excelente método para preservar la información y pueden ser de gran valor para análisis posteriores. Además de una cámara fotográfica se pueden utilizar binoculares en zonas en donde no es posible una observación directa.

Utilización de formas para registro

Durante este proceso de evaluación se puede realizar un formato para registrar toda la información obtenida. Un ejemplo de este formato se puede observar en las figuras 3a, 3b y 3c, en cuyo croquis [sección a) de la figura], están asentados los códigos de la tabla los diferentes tipos de daños.

ENSAYOS MINIMOS

Una vez hechos los pasos anteriores, si el problema no es complejo y el evaluador es experimentado, puede ser suficiente la información hasta aquí obtenida para determinar la o las causas y elaborar un diagnóstico. Si el evaluador indica que se requieren más datos para realizarlo, se pueden hacer una serie de ensayos o mediciones que se ejecutan en obra durante la inspección preliminar. Estos ensayos mínimos a realizar son:

- ❖ Medición del espesor del recubrimiento de concreto.
- ❖ Determinación de la profundidad de carbonatación.
- ❖ Determinación de los iones de cloro y sulfatos en el concreto.

Estos ensayos se deben realizar en zonas de la estructura que sean representativas del daño observado. Estas zonas pueden ser:

- ❖ Zonas expuestas a las condiciones ambientales más agresivas.
- ❖ Zonas sometidas a las mayores exigencias mecánicas y estructurales.

❖ Presencia de corrientes de interferencia.

La selección de los datos anteriores puede organizarse para que la toma de ellos sea ágil y rápida. Véase un ejemplo de ficha de antecedentes en la Figura 2. Los datos presentados corresponden a una inspección de una escuela localizada en la costa yucateca.

EXAMEN VISUAL GENERAL DE LA ESTRUCTURA

Se recomienda una visita de inspección a la estructura antes de planear cualquier investigación. Esta inspección visual debe ser siempre minuciosa y sistemática, poniendo atención tanto a aquellas áreas que muestren daños como a las que estén en buenas condiciones, para efectos de comparación. En términos generales la inspección visual consta de:

Levantamiento de daños

La inspección visual implica elaborar croquis o planos donde se muestre un levantamiento de daños el cual debe permitir determinar si el problema se presenta por igual en todos los elementos de las mismas características, o si existen diferencias por causas locales (puntuales).

Para tal efecto debe realizarse un examen detallado de cada elemento, registrando los signos aparentes de corrosión, es decir, las manchas de óxido (color, extensión, y curso), fisuras (ubicación, dirección y dimensiones), zonas de desprendimiento del recubrimiento de concreto con o sin exposición del refuerzo, etc.).

La Tabla 1 (ref. 2) muestra los tipos de daños que se pueden observar en las estructuras así como un código de clasificación para diferenciarlos en el levantamiento de daños.

Mét. de Yaroslavtziev.

Se obtuvo a partir de la observación directa de varios puentes de la URSS:

Aplicable para suelos granulares.

$$d_s = K_f K_v (C + K_H) \frac{V^2}{g} - 30 D_{85}$$

donde:

K_f - coef. que depende del tipo de pila (figs 11a, 11b y 11c)

K_v - coef. definido por la expresión:

$$K_v = -0.28 \left(\frac{V^2}{g b_1} \right)^{1/3} \quad (\text{fig } 12)$$

b_1 - ancho expuesto de la pila (m) (figs 11a, 11b y 11c)

V - velocidad media de la corriente aguas arriba de la pila, después de producirse la socavación general. (m/s)

g - aceleración de la gravedad (m/s²)

K_H - coef. definido por la expresión:

$$K_H = 0.17 - 0.35 \frac{H}{b_1} \quad (\text{fig } 13).$$

H - tirante de la corriente frente a la pila (m). Debe considerarse el tirante para la avenida de diseño considerando el lecho de estiaje, do, más la socavación general.

C - coef. de corrección que depende del sitio donde estén colocadas las pilas.

$C = 0.6$ para pilas en el cauce principal

$C = 1.0$ para pilas fuera del cauce principal.

D_{85} - diámetro tal que el 85% del material del fondo es menor (m). Yaroslavtziev recomienda que cuando este valor sea menor de 0.5 cm se desprece el el segundo término del segundo miembro de la ecuación.

El método es aplicable siempre y cuando $d_0/b_1 > 2.0$.

El presupuesto para la Alternativa 1 importa la cantidad de \$ 356,058.05 (trescientos cincuenta y seis mil cincuenta y ocho pesos 05/100 M.N.) más el I.V.A.