

# DISEÑO Y ESTRATEGIA PARA UN CENTRO DE MONITOREO DE PUENTES Y ESTRUCTURAS INTELIGENTES DE MÉXICO

F.J Carrión Viramontes, J.A Quintana Rodríguez, J. Alfredo López López &  
J.L Moreno Jiménez  
Instituto Mexicano del Transporte  
Km 12 Carretera Querétaro-Galindo  
Sanfandila, CP 76703  
Pedro Escobedo, QRO.  
[carrion@imt.mx](mailto:carrion@imt.mx)

## RESUMEN

La modernización del sector transporte en México requiere de nuevas tecnologías para garantizar eficientemente la conservación de la infraestructura carretera. Como parte de esa transformación, el Programa Nacional de Seguridad de Puentes de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), comprende la puesta en servicio del Centro de Monitoreo de Puentes y Estructuras Inteligentes (CMPEI).

Este proyecto incluye la instrumentación para el monitoreo remoto permanente de los puentes más importantes; pero también, una muestra representativa de los puentes más comunes en el inventario mexicano para desarrollar modelos paramétricos que sirvan para evaluar la capacidad de carga y vida útil dentro de un sistema de gestión de puentes para administrar en forma eficiente su conservación.

Para el monitoreo se propone una instrumentación permanente utilizando sensores de fibra óptica FBG, un sistema local de registro, almacenamiento y procesamiento preliminar de datos, un sistema de comunicación para enlace del puente con el CMPEI; y un sistema centralizado de registro para el almacenamiento, manejo y análisis de datos. Para la operación, se cuenta con diferentes niveles de información y alarmas para informar y actuar en situaciones críticas.

**Keywords:** Puentes, Monitoreo Estructural, Monitoreo Remoto

## 1. INTRODUCCIÓN

Las estructuras civiles siempre han estado presentes en cualquier sociedad y actualmente es difícil imaginar una sociedad sin edificios, carreteras, vías férreas, puentes, presas y demás obras de la ingeniería estructural; por otra parte, es un hecho que las estructuras actuales son más complejas tanto en tamaño y diseño; nuevos conceptos y materiales son usados frecuentemente para lograr una vida útil mayor y hacer frente a condiciones ambientales cada vez más severas. Muchas estructuras son ahora componentes importantes de sistemas integrados (por ejemplo los puentes en sistemas integrados de transporte), donde la evaluación continua de la condición estructural es necesaria y en algunos casos se requiere en tiempo real [1].

El monitoreo estructural se define como “Un proceso con el objetivo de proporcionar con precisión y a tiempo, información concerniente a la condición estructural y su desempeño” [2]. Actualmente, la *Federal Highway Administration* de los EUA [3], la red canadiense para el monitoreo inteligente para infraestructura innovadora (ISIS) [4], la Federación Internacional para Concreto Estructural (fib CEB-FIP) [5] y el organismo internacional de normalización (ISO) [6], han publicado guías, información y recomendaciones para el diseño e implantación de sistemas de monitoreo de la integridad estructural de puentes.

Una evaluación estructural se utiliza para determinar daño, deterioro, condiciones anormales de operación, realizar estudios de pronóstico, esquemas de mantenimiento preventivo, índices de confiabilidad y la vida residual de las estructuras [1], en tanto que un sistema de administración se diseña con el objeto de conocer el estado de un conjunto de estructuras para poder administrar los recursos humanos, financieros y tiempos de acuerdo al importancia económica, social, costo de la estructura y seguridad de los usuarios .

En México, el primer sistema de administración de puentes fue diseñado para manejar la información de todo el inventario de la Red Federal de Carreteras. A mediados de la década de los 90's, el Instituto Mexicano del Transporte, desarrolló un sistema de administración de puentes (SIAP) que incluía la evaluación estructural a partir de pruebas dinámicas, y una base de datos más completa que comprendía los datos de diseño, especificaciones, planos, historiales de inspección, historiales de mantenimiento y archivos fotográficos [7].

Adicionalmente la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) cuenta con el programa SIPUMEX, el cual es un sistema integral para la administración de puentes de la red federal de carreteras. Para poder planificar la conservación de la infraestructura, técnicos especializados realizan inspecciones visuales y otorgan una calificación a los puentes. De las observaciones realizadas, se pueden derivar inspecciones especiales según los problemas estructurales encontrados en los mismos. Una vez calificados los puentes, se establece un programa de mantenimiento de acuerdo al nivel de deterioro determinado por los técnicos especializados de la SCT. Es de destacarse que la antigüedad promedio de los siete mil doscientos puentes que conforman la red federal carretera rebasan ya los treinta y nueve años promedio de vida, incluyendo los más recientes que han sido construidos con altas especificaciones técnicas, tales como los puentes Río Papaloapan, Chiapas, Baluarte y Tampico. Asimismo, es importante señalar que la mayoría de los puentes están ubicados en zonas de alto riesgo ambiental que justifican el monitoreo permanente, particularmente por los cambios climáticos, caída de lluvias torrenciales y huracanes que cada vez son más severos.

Si bien es cierto que el SIPUMEX es una herramienta que ha sido útil para administrar los puentes mexicanos, éste se puede mejorar y actualizar aprovechando los desarrollos tecnológicos más recientes y considerando que existen riesgos que no pueden ser detectados por las inspecciones visuales, por lo que es necesario la existencia de un centro de monitoreo de puentes y estructuras inteligentes CMPEI el cual permita obtener la información del desempeño de los puentes en tiempo real y, de esta forma, aplicar medidas necesarias de forma inmediata. La necesidad de implantar sistemas de monitoreo remoto para las obras de infraestructura más importantes de México, es cada vez más apremiante en virtud del vertiginoso desarrollo del país; en especial, los puentes carreteros son elementos vitales para la red de comunicaciones que tiene una demanda creciente y cuya integridad se debe garantizar para incrementar los niveles de confianza de los usuarios y asegurar la inversión en este tipo de infraestructura.

Algunos de los aspectos que serán complementados en el actual SIPUMEX son:

**Seguridad:** Se garantiza la seguridad de los usuarios al contar con información en tiempo real sobre la condición estructural de los puentes, sobretodo después de presentarse fenómenos naturales atípicos como sismos, vientos fuertes, ó desbordamiento de ríos; ó bien, accidentes por errores humanos que afecten la integridad de los puentes.

**Conservación de la infraestructura carretera:** Dar seguimiento al comportamiento de los puentes a través de índices de desempeño estructural, mediante los cuales se podrán identificar los componentes estructurales vulnerables y planear las acciones de mantenimiento preventivo en forma eficiente y efectiva. Con esto, se identificará el daño en las estructuras en forma incipiente, por lo que las acciones de mantenimiento serán menos costosas y se podrá incrementar la vida útil de los puentes y, como consecuencia, producirá ahorros en inversión de nueva infraestructura. Por otro lado, el poder documentar en forma electrónica todas las memorias de cálculo, reportes de inspección, planos, archivos fotográficos, registros de operación, etc., permitirá realizar estudios de diagnóstico y prospectiva más confiables y precisos; esto sin considerar los ahorros indirectos que esto conlleva por tener una administración eficiente de la información.

**Presupuesto:** La documentación sobre el comportamiento estructural, el índice de desempeño y el monitoreo permanente de los puentes, permitirá demostrar que existe un sistema eficiente para la preservación de la infraestructura del transporte, con el que se podrán negociar pólizas de seguro en forma efectiva y a un menor costo. En un largo plazo, el monitoreo de puentes mediante un sistema de gestión efectivo, permitirá administrar los recursos financieros destinados a la conservación, atendiendo los casos más urgentes en forma anticipada y previendo los gastos futuros de acuerdo a los registros históricos de cada puente.

**Operación:** El CMPEI permitirá tener una vigilancia del tráfico de vehículos que circulan sobre los puentes y éstos podrán ser utilizados como pesadoras dinámicas, por lo que se podrán detectar vehículos sobrecargados que violan los reglamentos de pesos y dimensiones, con lo cual se podrá incrementar la vida útil de las carreteras y los puentes. La información proveniente del centro de monitoreo servirá para estudios de prospectiva y análisis de riesgos de la infraestructura carretera.

## **2. ESQUEMAS DE MONITOREO Y OPERACIÓN DEL CMPEI**

El éxito del monitoreo estructural depende en gran medida de la interpretación de la información y su uso para incrementar la seguridad de los usuarios, detectar daño, establecer esquemas de mantenimiento preventivo, obtener índices de confiabilidad de las estructuras y establecer pronósticos de falla, otra parte fundamental en el éxito del CMPEI es establecer las responsabilidades de todas las autoridades, dependencias y centros de investigación involucrados.

La primera etapa es clasificar la información obtenida de los datos recabados, esta clasificación queda enmarcada en cuatro estados: información inicial, información procesada, información de consulta e información para estudio.

**Información inicial.** Su evaluación es inmediata y se realiza a través de la comparación de una variable con datos históricos estadísticos, el control se realiza a través de límites de control establecidos con base en la media de una distribución estadística, color verde, alarmas intermedias instauradas si se sobrepasa un porcentaje de probabilidad superior al 95% o inferior al 5% con base en la distribución estadística de cada variable, color naranja, y alarmas críticas, si una variable esta por debajo del 5% de sus límites de diseño, color rojo.

**Información procesada:** Su evaluación requiere del análisis de un conjunto de variables complementadas con análisis estructural basado en técnicas de detección de daño, o simulación por elemento finito de modelos calibrados de la estructura. La finalidad de esta información es obtener índices de desempeño estructural, evaluación de daño respecto a un estado inicial a través de técnicas por vibraciones mecánicas o propagación de ondas, y en su caso localización de posibles zonas de daño y evaluación de daño mediante modelos de deterioro y predicción de vida útil para definir acciones preventivas de largo plazo. Adicionalmente se realiza un seguimiento de los puntos críticos, concentradores de esfuerzo o puntos de esfuerzo máximo en la estructura, en los cuales no existen sensores, sin embargo se puede desarrollar su seguimiento mediante simulación por elemento finito de modelos calibrados de la estructura y colocar alarmas como las utilizadas con la información inicial.

**Información de consulta:** Esta información se utiliza para comparar acciones accidentales durante la vida útil de la estructura, su uso es importante en el análisis de cargas y esfuerzos máximos durante la operación, recalibrar modelos de simulación de elemento finito cuando por una acción accidental la estructura tiene un comportamiento dinámico diferente al que tenía anterior al evento, calcular periodos de retorno en la caso de venidas de ríos, vientos huracanados ó sismos y para evaluar las acciones de mantenimiento efectuados sobre la estructura.

**Información para estudio:** Esta información se utilizará para la evaluación de nuevas técnicas de detección de daño, generación de nuevos enfoques para evaluación estructural, comparación entre técnicas inspección. Su análisis será realizado por centros de investigación y universidades interesadas en la evaluación estructural.

La información inicial y la información procesada son la base para garantizar la funcionalidad, seguridad y operación de las estructuras, así mismo con ellas se puede establecer la segunda etapa la cual consiste en la generación de una matriz de influencia y corresponsabilidad de acuerdo al tipo de alarma y actor involucrado en la seguridad de

los usuarios, administración mantenimiento y conservación de la estructura. La matriz de influencia y corresponsabilidad se puede ver en la figura 1.

Evento	Tipo de acción que realiza									
	DGST	DGCC	CAPUFE	Operador	Policía Federal	Protección Civil	IMT	UNAM	Contratista	
Sismo	Evaluación	Control de tráfico y evaluación	Control de tráfico y evaluación	Control de tráfico y evaluación	Control de tráfico	Control de tráfico	Evaluación y diagnóstico	Asesoría. Investigación y Desarrollo	Proyecto de rehabilitación y acciones de conservación	
Accidente										
Fuertes vientos										
Sobrecarga										
Lluvia intensa										
Fatiga	Evaluación	Planeación de la conservación	Planeación de la conservación	Planeación de la conservación	Apoyo	Apoyo	Análisis y diagnóstico	Asesoría. Investigación y Desarrollo	Proyecto de rehabilitación y acciones de conservación	
Corrosión										
Deterioro										
		Acción inmediata								
		Acción inmediata o de corto plazo								
		Acción de corto plazo								
		Acción preventiva								
		Investigación y desarrollo								

“Figura 1 -Matriz de influencia y corresponsabilidad”

### 3. CAPACIDAD DEL CMPEI.

El Centro de Monitoreo y Estructuras Inteligentes tendrá una inversión inicial de 280 000 mil USD y una capacidad para monitorear 20 puentes o estructuras. Los primeros puentes considerados para el monitoreo son los que tienen mayor importancia en el país tomando en cuenta factores económicos, políticos, sociales, la inversión económica de la estructura y el historial de fallas registrado. Se tiene programado durante los primeros cinco años del centro de monitoreo, instrumentar y monitorear los puentes; Río Papaloapan, Tampico, Mezcala, Dovalí Jaime, Quetzalapa, Chiapas, San Cristóbal, El Carrizo y el Baluarte además de otros seis puentes, denominados puentes tipo, cuya finalidad es representar el 80% de los puentes de la red federal carretera a través de estudios paramétricos.

En un inicio el centro de monitoreo estará compuesto por cuatro servidores virtualizados, los cuales tendrán la tarea de realizar el enlace entre el CMPEI y los puentes instrumentados y el análisis estructural de cada uno de los puentes y además contará con una unidad de almacenamiento tipo SAN con capacidad de 8 TB, la idea básica es retener la información por períodos de tiempo de una semana y reutilizar el espacio, almacenando solamente los eventos críticos originados por cargas accidentales aperiódicas, las cuales son almacenadas como referencia para comparaciones históricas.

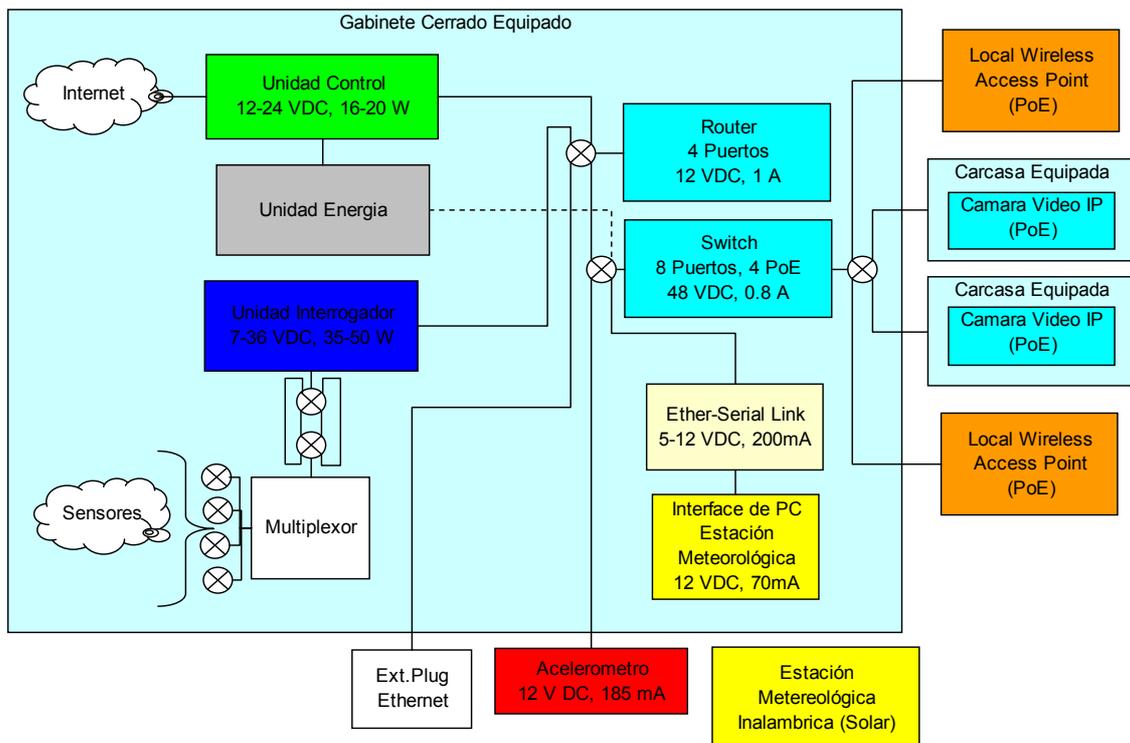
La información de cada una de las estructuras podrá ser consultada a través de una página de Internet, a cada usuario dependiendo de la responsabilidad recibirá mensajes periódicos con el estado de la estructura e inclusive recibirá alarmas críticas del comportamiento estructural para que se actúe conforme a procedimientos previamente establecidos.

#### 4. TIPO DE INSTRUMENTACIÓN Y COMUNICACIÓN UTILIZADA PARA LOS PUENTES DEL CMPEI

El concepto básico de la instrumentación permanente se basa en el uso de sensores de fibra óptica, los cuales han demostrado ser estables a largo plazo, no se afectan por la acción de campos electromagnéticos, no requieren mantenimiento y son de un costo relativamente bajo.

La integración del sistema se hará en laboratorio para asegurar que las conexiones ópticas y la operación general del sistema sean adecuadas; de tal forma que únicamente se trasladen para instalarse directamente en el puente y sólo se hagan reparaciones en caso de fallas o incidentes que llegaran a afectar un cable o una conexión. Lo anterior, reduce el tiempo y costos de instalación.

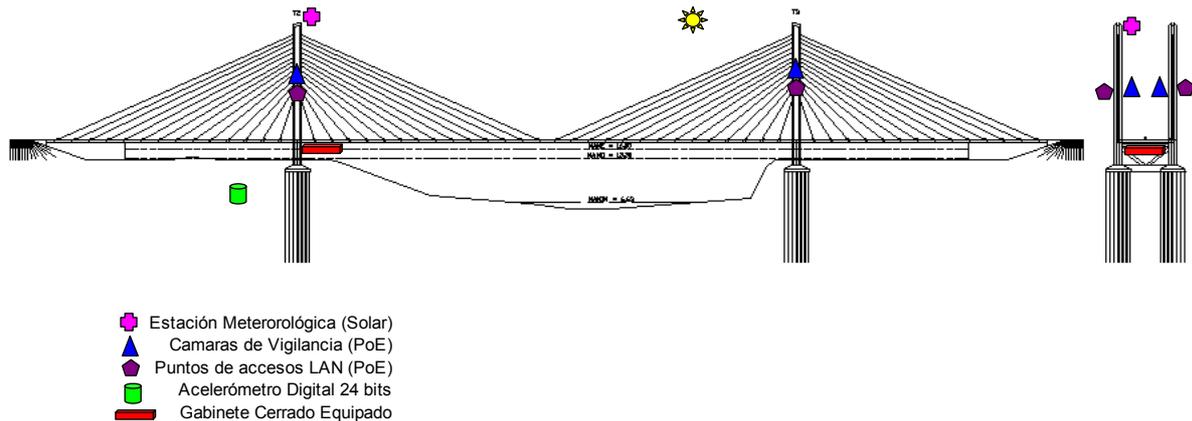
El procedimiento de instalación se detallará en la etapa de desarrollo de la ingeniería de instrumentación y la configuración integrará los sensores ópticos con cámaras de video para vigilancia remota del puente, una estación climatológica para correlacionar los datos ambientales, un sismógrafo, un sistema autónomo con celdas solares para alimentación eléctrica del sistema y un centro local de conexión y control alojado en un gabinete con control ambiental que proteja a los equipos de temperaturas y humedad excesiva. La configuración general del sistema se esquematiza en la figura 2.



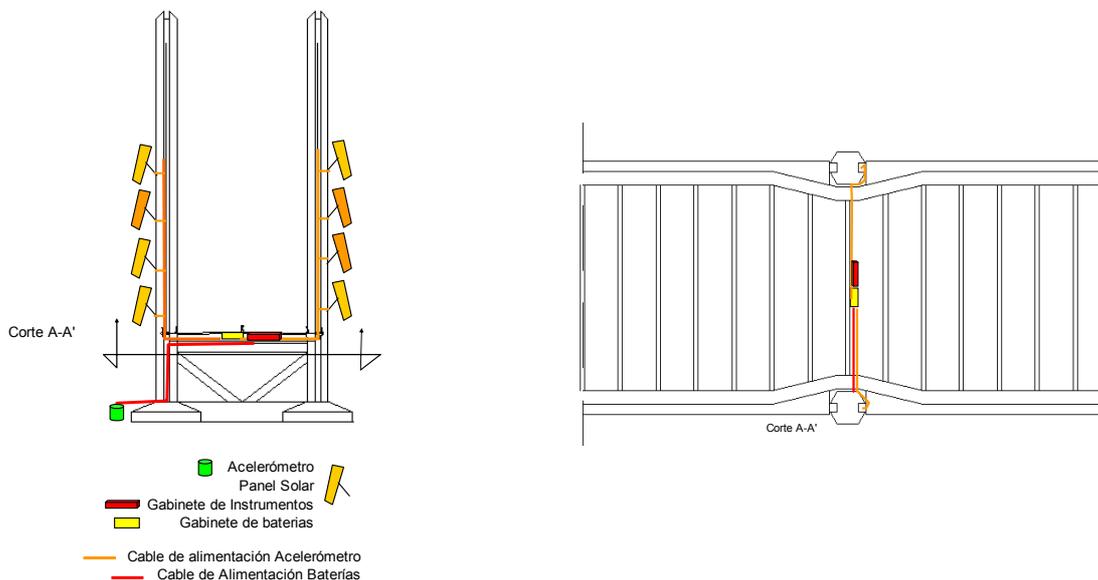
“Figura 2 - Esquema de instalación de los equipos respecto al gabinete del centro local de adquisición y control en el puente”

La ubicación de todos los equipos por puente se establecerá bajo el criterio de que deben localizarse en zonas inaccesibles para el público en general, para evitar actos de vandalismo y robos.

La instalación de los sensores se hará siguiendo las especificaciones que se definan y contratando servicios especializados para el uso de grúas y andamios específicos, y personal de apoyo con sistemas de seguridad apropiados. En la figura 3 se muestra el diagrama de ubicación de los diferentes sensores y equipos; y la figura 4 muestra la configuración del sistema autónomo de alimentación eléctrica con celdas solares y un banco de baterías para un puente típico.



“Figura 3 - Esquema de ubicación típica de los sensores y equipos”



“Figura 4 - Diagrama de configuración de un sistema típico de alimentación eléctrica”

El enlace remoto se manejará considerando las diferentes opciones de conexión inalámbrica de servicios de Internet, ya sea mediante un módem con telefonía celular, o una tarjeta de comunicación 3G, enlace satelital, comunicación por microondas, según se cuente con los diferentes servicios en la zona de ubicación del puente. En la mayoría de los casos cuando sea posible se optará por tener un sistema de comunicación redundante para que la posibilidad de quedarse sin comunicación sea la mínima posible. Adicionalmente cada uno de los puentes instrumentados tendrá un disco local de

almacenamiento donde se podrá alojar información hasta por 7 días, por lo que en caso de pérdida de comunicación con el CMPEI esta podrá ser recuperada directamente.

El sistema local de registro y almacenamiento de datos, se podrá configurar de forma remota, ya sea desde el Centro de Monitoreo o mediante una computadora en el puente con enlace inalámbrico mediante sistemas Point Access.

## **5. BENEFICIOS DEL CMPEI**

La configuración de un sistema de instrumentación y equipos para monitorear el desempeño de cada puente en forma remota, permitirá dar seguimiento del desempeño de cada uno de manera que se puedan identificar variaciones normales y anormales en su comportamiento y analizar los comportamientos anormales en forma específica.

Con esto se podrán elaborar reportes mensuales en los que se informará de cómo se comportó cada puente a través de factores o índices de desempeño; a su vez, se dará seguimiento a variables críticas y se informará de la presencia de alarmas (condiciones que excedan los niveles normales de servicio) para identificar problemas específicos de acuerdo a las condiciones en que se hayan presentado dichas alarmas. El seguimiento continuo permitirá identificar problemas específicos en el puente como puede ser la sobrecarga, el efecto de eventos extraordinarios o ambientales.

Por otra parte, se podrán elaborar reportes anuales del comportamiento detallado que se realiza utilizando un modelo calibrado de elementos finitos y que permite efectuar estudios de detección y evolución de daño, y para determinar acciones concretas en caso de daño severo en cada una de las estructuras instrumentadas.

En general, el mayor beneficio de este sistema es que permite dar un seguimiento continuo de cada puente, con el que se incrementa su seguridad y al detectar problemas en forma oportuna, reduce los costos de mantenimiento e incrementa su vida útil. La facilidad de contar con datos en tiempo real permite establecer procedimientos de evaluación estructural con variables de control previamente identificadas y acotadas, facilita y reduce los gastos en mantenimiento, siendo más eficiente en todas las acciones de conservación que se hagan.

Las metas anuales del CMPEI para los primeros 5 años de funcionamiento son mostradas en la tabla 1.

Para lograr lo anterior, el funcionamiento del CMPEI contempla 3 niveles de operación: el primer nivel corresponde al monitoreo continuo del comportamiento estructural del puente (niveles de alarma), mediante el cual se evaluarán las mediciones directas de los sensores relacionados con los elementos estructurales críticos. El segundo nivel corresponde al monitoreo y evaluación de los índices de desempeño estructural (monitoreo de largo plazo), los cuales se calcularán de las mediciones directas de los sensores y estarán encaminados a dar valores indicativos del comportamiento global del puente y poder vigilar las tendencias y variaciones de largo plazo. Finalmente, el tercer nivel corresponde al análisis detallado para determinar la condición estructural del puente y la detección de daño, con lo cual se podrán establecer programas de mantenimiento preventivo y correctivo. De esta manera, el CMPEI entregará a la SCT informes bimestrales de cada puente en los que se reportarán los resultados del monitoreo continuo de las variables estructurales y del monitoreo de los indicadores de desempeño estructural de los puentes. Asimismo, semestralmente se entregarán los informes de los

análisis de evaluación estructural y detección de daño, junto con la propuesta de los programas de mantenimiento preventivo que se consideren necesarios.

En caso de eventos extraordinarios (sismos, accidentes, vientos atípicos), se elaborarán informes adicionales en los que se analizarán el comportamiento de los puentes durante dichos eventos y el efecto final que éste pudiera tener sobre el puente. Los informes se entregarán a CAPUFE, la DGCC o dependencia encargada del mantenimiento de los puentes, según corresponda.

Por otra parte, cuando ocurra un evento extraordinario que requiera de una acción inmediata o ponga en riesgo la integridad del puente, el CMPEI emitirá alarmas a las instancias responsables de la administración y seguridad del puente, para que se tomen as acciones correspondientes según el caso

“Tabla 1 - Metas anuales”

Año	Meta
2010	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicio de la adaptación del laboratorio de Desempeño Vehicular y Materiales.</li> <li>2. Adquisición del equipo para el almacenamiento, monitoreo remoto, procesamiento y análisis de la información estructural de los puentes.</li> <li>3. Puesta en Funcionamiento del centro de Monitoreo.</li> <li>4. Puesta en funcionamiento del laboratorio de Fibra óptica.</li> <li>5. Instrumentación, transmisión y recepción de información del Puente Río Papaloapan.</li> <li>6. Instrumentación, transmisión y recepción de información del Puente Mezcala.</li> <li>7. Establecer los niveles de alarma de los puentes Papaloapan, Mezcala, Chiapas, San Cristóbal</li> <li>8. Monitoreo remoto de los puentes Papaloapan, Mezcala, Chiapas, San Cristóbal y 6 puentes tipo.</li> </ol>
2011	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Instrumentación, transmisión y recepción de información del Puente Río Quetzalapa.</li> <li>2. Instrumentación, transmisión y recepción de información del Puente Tampico.</li> <li>3. Incorporación del monitoreo remoto de los puentes Quetzalapa, Tampico, Baluarte e Infiernillo II.</li> <li>4. Conocer el índice de desempeño en tiempo real de los puentes Papaloapan, Mezcala, Chiapas, San Cristóbal</li> <li>5. Programas de Mantenimiento y conservación de los puentes Papaloapan, Mezcala, Chiapas, San Cristóbal</li> <li>6. Establecer los niveles de alarma de los puentes Quetzalapa, Tampico, Infiernillo II y Baluarte</li> </ol>
2012	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Instrumentación, transmisión y recepción de información del Puente Dovalí Jaime.</li> <li>2. Incorporación del monitoreo remoto de los puentes Dovalí Jaime y el Carrizo.</li> <li>3. Conocer el índice de desempeño en tiempo real de los puentes Quetzalapa, Tampico, Infiernillo II y Baluarte.</li> <li>4. Programas de Mantenimiento y conservación de los puentes Quetzalapa, Tampico, Infiernillo II y Baluarte.</li> <li>5. Establecer los niveles de alarma de los puentes Dovali Jaime y El carrizo.</li> </ol>
2013	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conocer el índice de desempeño en tiempo real de los puentes Dovali Jaime y El carrizo.</li> <li>2. Programas de Mantenimiento y conservación de los puentes Dovali Jaime y El carrizo.</li> <li>3. Desarrollo de modelos paramétricos con los seis puentes tipo para establecer la metodología de evaluación del 93% de los puentes de la red federal carretera.</li> </ol>
<b>Total</b>	Adaptación del Laboratorio de Desempeño Vehicular y Materiales para instalar el CMPEI (figuras 4, 5) Equipamiento del centro de monitoreo Instrumentación de 5 puentes Monitoreo remoto de 16 puentes

## CONCLUSIONES

En la actualidad en México no existe en México una instancia para dar un seguimiento de la condición estructural de los puentes en tiempo real y de manera continua, debido a que se realiza una inspección global para evaluar el índice de desempeño de la estructura en periodos de 10 años ó cuando el daño es inminente, esto conlleva a tener fuertes inversiones en el mantenimiento correctivo, que ocasiona una disminución de la vida útil de la estructura, así como en la seguridad de los usuarios.

El Monitoreo Continuo y Remoto de los puentes más importantes del país, permite evaluar la infraestructura de forma continua, evaluar los índices de desempeño de la estructura de manera oportuna ante la sospecha de algún daño, conocer su desempeño bajo condiciones de carga normales y anormales esporádicas, abatir costos debidos a la realización de inspecciones especializadas, detectar condiciones anormales de manera automática y dar un seguimiento del desempeño estructural a través de modelos de deterioro y confiabilidad con los cuales se pueden establecer programas de mantenimiento preventivo.

La implementación del CMPIE es tecnológicamente y económicamente viable debido a los avances en la tecnología de adquisición de datos, su accesibilidad en el mercado, el abatimiento de los costos, el aumento de vida útil de los sensores de fibra óptica y el desarrollo de técnicas experimentales para la evaluación estructural.

## REFERENCIAS

1. Aktan A. E., and Grimmelsman K. A., (1999). The Role of NDE in Bridge Health Monitoring, Proceedings of the SPIE: *Conference on Nondestructive Evaluation of Bridges and Highways II*, SPIE 3587, Newport Beach, California
2. Glisic B. and Inaudi D. (2007). Fibre optic methods for structural health monitoring. John wiley & sons, Ltd.
3. Aktan, A. E., Catbas, F. N., Grimmelsman, K. A., and Pervizpour, M. (2002). Development of a Model Health Monitoring Guide for Major Bridges, Drexel Intelligent Infrastructure and Transportation Safety Institute, FHWA R&D Contract DTFH61-01-P-00347.
4. ISIS Canada. (2001). Guidelines for Structural Health Monitoring, Design Manual No. 2.
5. fib TG 5.1. (2002). Monitoring and Safety Evaluation of Existing Concrete Structures, State-of-the-Art Report, Final Draft.
6. ISO/TC 108/SC 2 Mechanical Vibration. (2002). Evaluation of Measurement Results from Dynamic Tests and Investigations on Bridges, ISO/DIS 18649:2002(E).
7. Carrión F., Quintana J., López J., Balankin A., Samayoa D. (2006). Metodologías de inspección no destructivas aplicables a sistemas de gestión de puentes, Publicación técnica No. 302, Sanfandila, Querétaro.