



PRE-XVII CONGRESO ARGENTINO
de Vialidad y Tránsito

8º EXPOVIAL ARGENTINA

3 AL 6 DE NOVIEMBRE 2014

HOTEL PANAMERICANO - Buenos Aires, Argentina



Puentes en México: PROGRAMA DE SEGURIDAD

Francisco Javier Carrión Viramontes
Instituto Mexicano del Transporte

X CONGRESO INTERNACIONAL ITS

X SIMPOSIO DEL ASFALTO

II SEMINARIO INTERNACIONAL DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN



www.congresodevialidad.org.ar





ANTECEDENTES

- El desarrollo de la infraestructura carretera requiere de grandes inversiones.
- Necesario promover las asociaciones Público-Privadas (APP).
- Imperativo el desarrollo de nuevos modelos de negocio.
- Preciso modernizar el sector.



ANTECEDENTES

- La Secretaría de Comunicaciones y Transportes impulsa un programa de modernización cuyos objetivos son:**
 - Mejorar la seguridad**
 - Mejorar la calidad de servicio**
 - Reducir los costos de operación**
 - Fortalecer la capacidad institucional (planeación, ejecución, mantenimiento y gestión)**



ANTECEDENTES

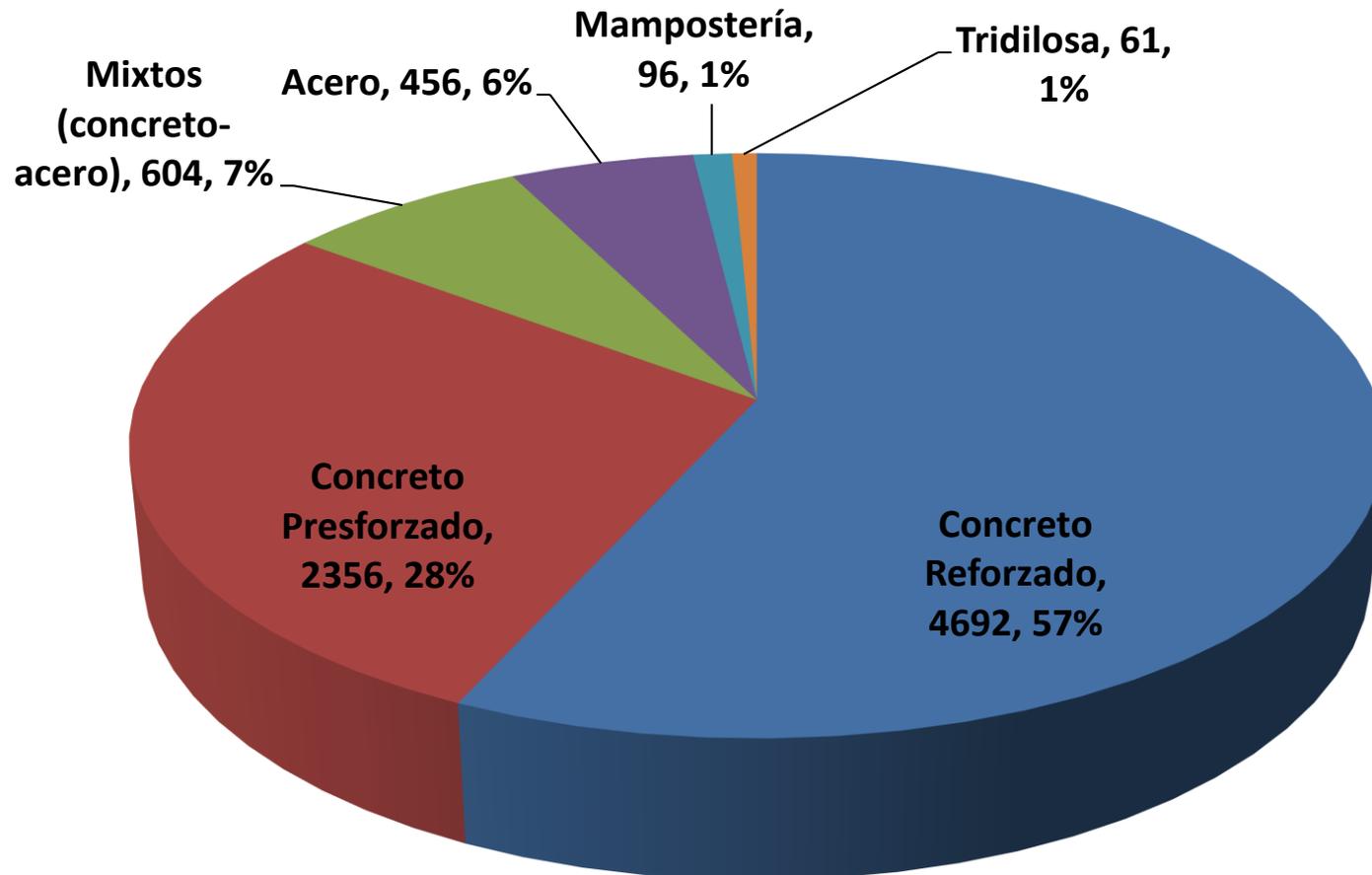
- El Programa de Seguridad en Puentes forma parte del plan integral de modernización de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, mediante el cual se busca incorporar nuevas tecnologías para la construcción, gestión y conservación de puentes.**



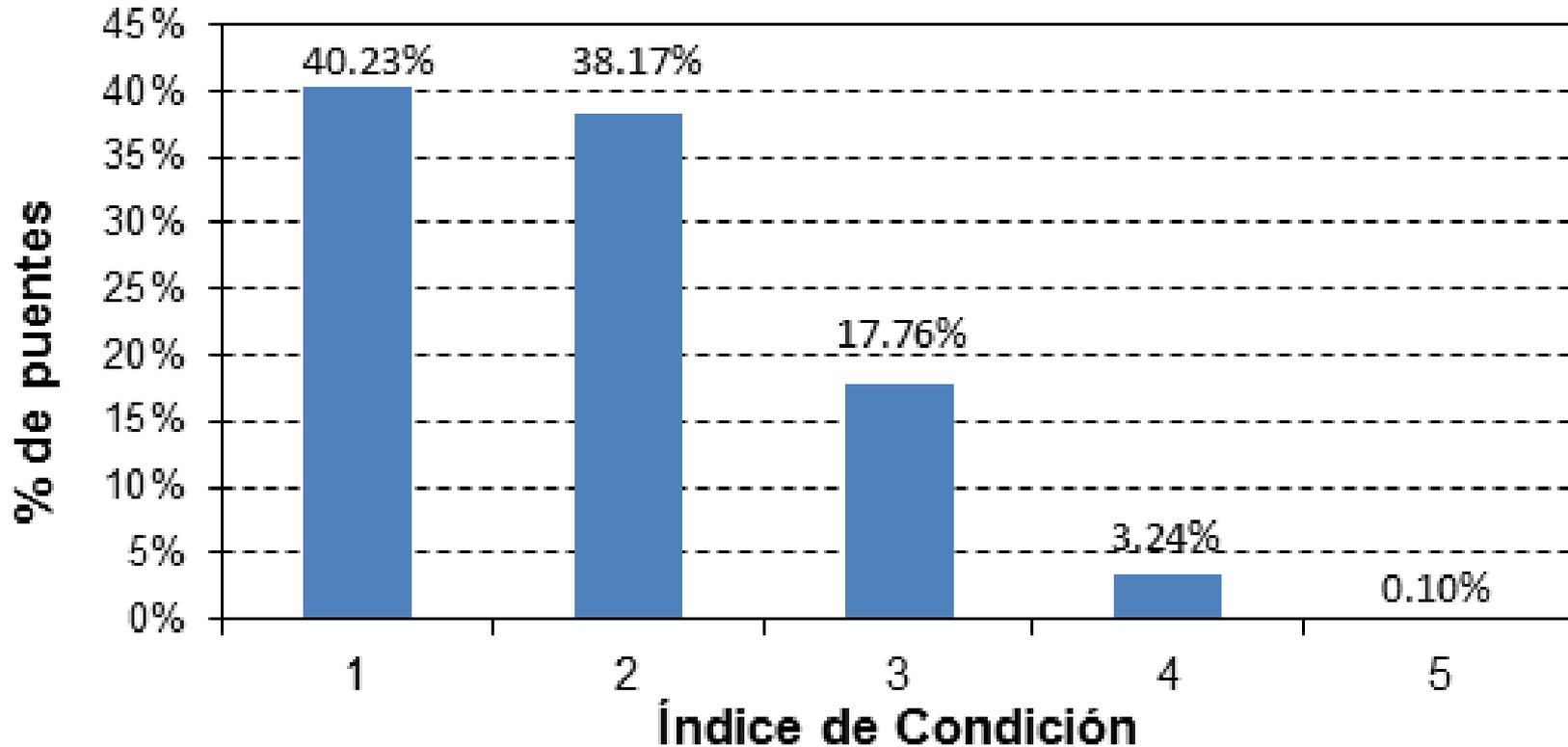
Situación actual de los puentes Mexicanos



Inventario, por tipo de puente, en la red federal de carreteras de México (8265 puentes en total)

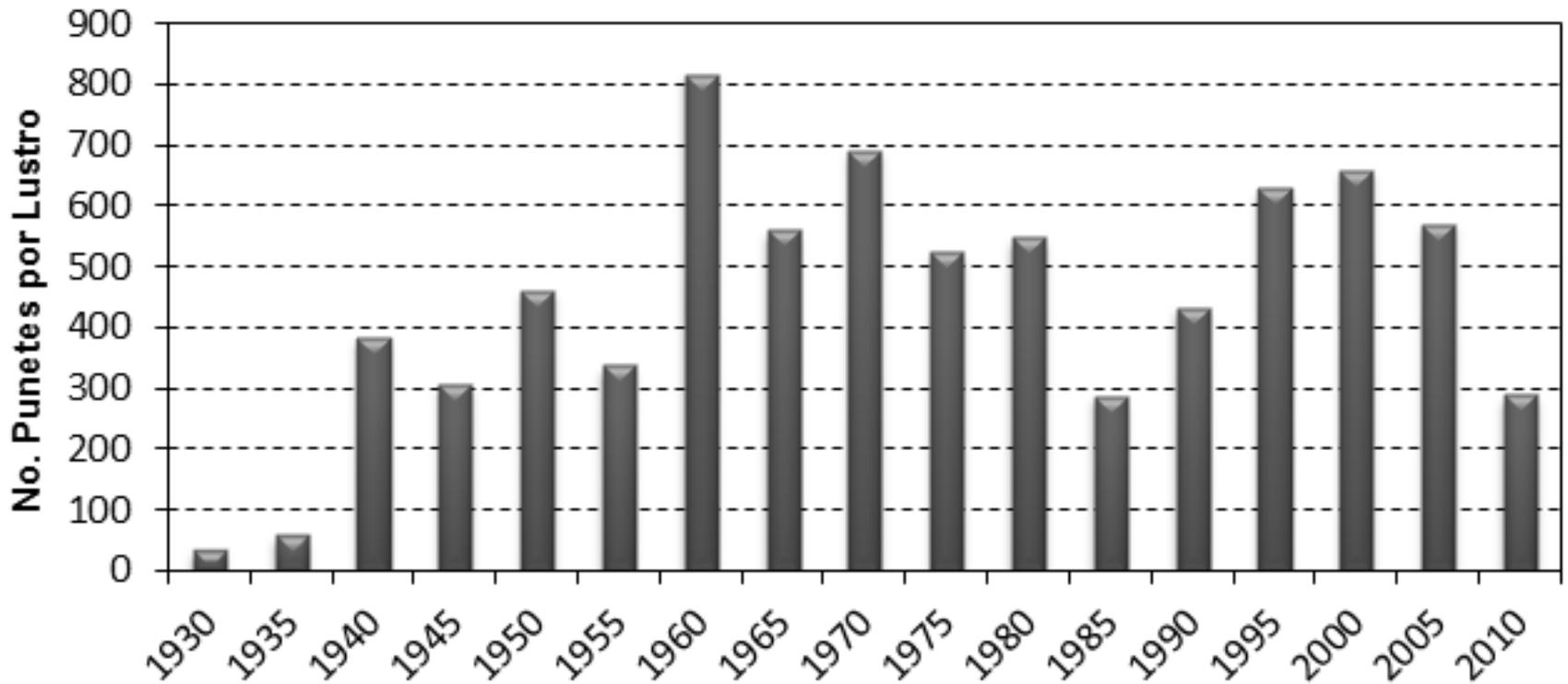


Calificación de la condición estructural

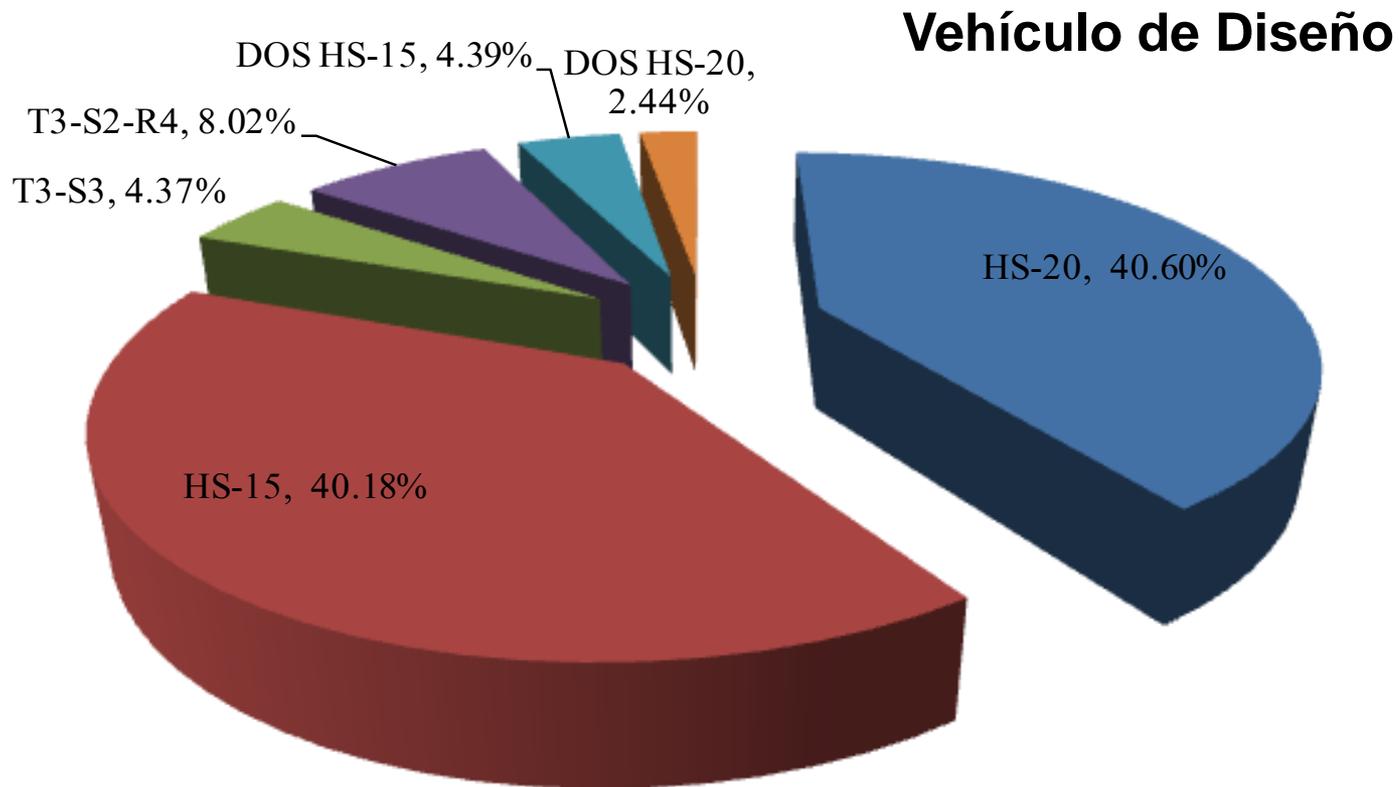


21 % del inventario tienen índice igual o mayor a 3

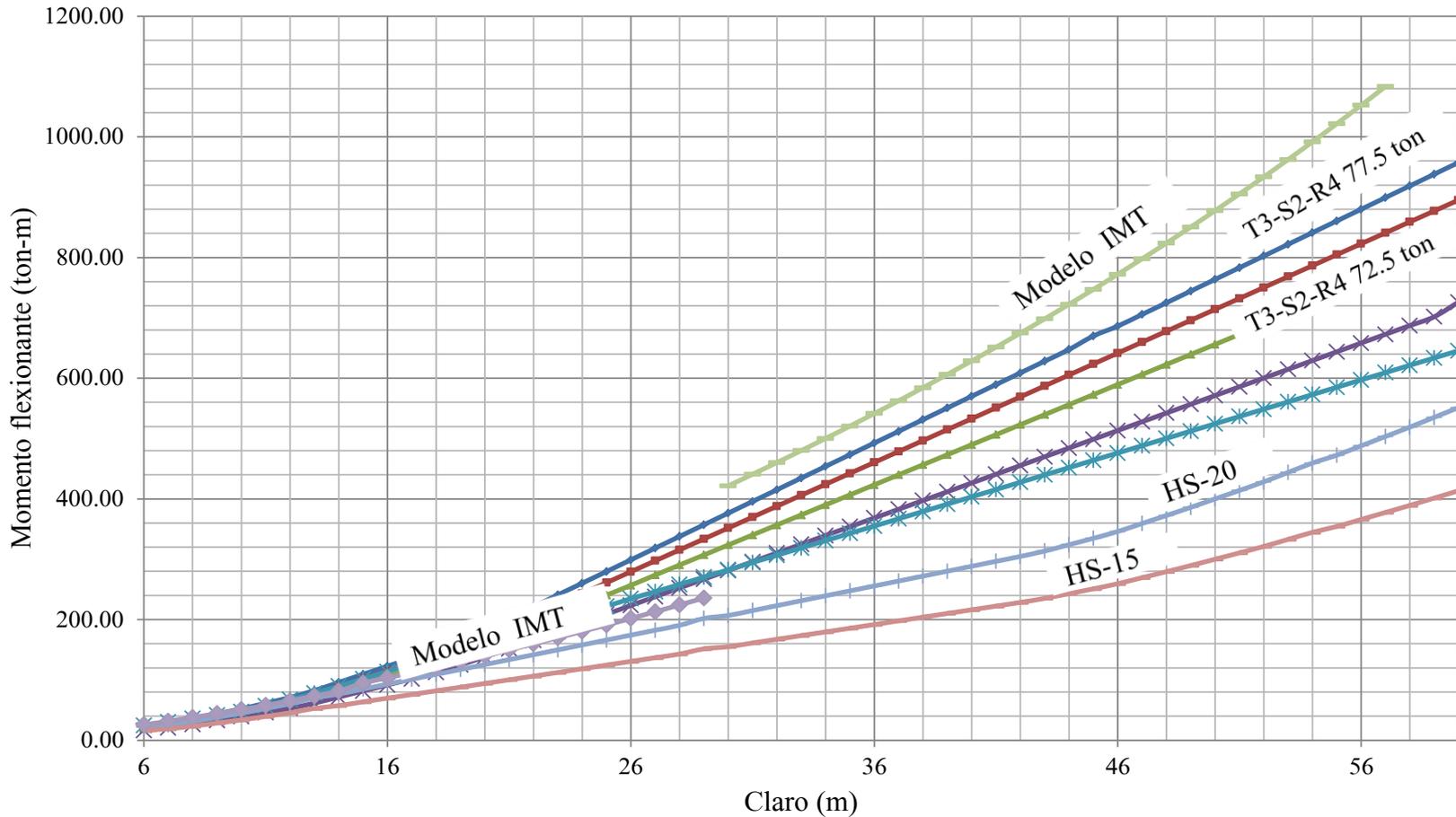
Edad del inventario de puentes



Dilema Códigos de Diseño – Cargas Actuales

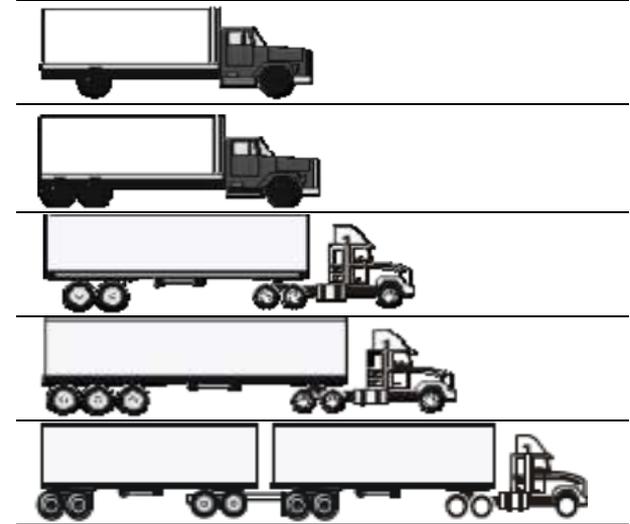


Dilema Códigos de Diseño – Cargas Actuales



Sobrecargados por tipo de vehículo

Tipo de Vehículo	Porcentaje de Sobrecargados
C2	4.6
C3	17.2
T3-S2	17.8
T3-S3	46.1
T3-S2-R4	39.4
Promedio	17.9



Niveles de sobrecarga por tipo de vehículo sobrecargado

Tipo de Vehículo	Peso Máximo Reglamentario*	Peso Promedio Sobrecargados	Sobrecarga Máxima
C2	17.5 (19.0)	21	27.9
C3	24.5 (27.5)	30.1	41.1
T3-S2	41.5 (46.5)	50.8	71.7
T3-S3	48.0 (54.0)	59.7	87.4
T3-S2-R4	66.5 (80.0)	80.9	103.1

*Valores en paréntesis indican máximo reglamentario por incentivos



En Síntesis

- ❑ México tiene 8265 puentes en su red federal (57% de concreto reforzado y 28% pre-esforzado).
- ❑ Más del 50% de los puentes tienen más de 30 años.
- ❑ El 21% requiere mantenimiento inmediato.
- ❑ Para más del 80% del inventario, el peso reglamentario de los vehículos de carga exceden las cargas de diseño.
- ❑ El 20% de los vehículos de carga circulan sobrecargados.



En Síntesis

- ❑ Las cargas vivas (volumen de carga, tránsito y configuraciones vehiculares) se incrementan cada vez más (4% anual).
- ❑ Necesidad de evaluar la capacidad de carga y vida remanente de los puentes para definir programas de mantenimiento.
- ❑ Imperativo el control de pesos y dimensiones.
- ❑ Necesidad de actualizar la normatividad para diseño, mantenimiento y regulación (fórmula puente).



Sistema de Administración de Puentes



Sistema de Puentes Mexicanos SIPUMEX

- Desarrollado en 1992.
- Opera bajo un sistema DOS y no se ha actualizado.
- Necesidad de ampliar su capacidad para incluir información digital:
 - Planos y memorias de diseño.
 - Reportes de inspección y rehabilitación
- Actualmente se está actualizando el sistema.



Monitoreo e Instrumentación de Puentes



MONITOREO E INSTRUMENTACIÓN DE PUENTES

- El monitoreo de la integridad estructural de puentes ha tenido un desarrollo importante debido a:**
 - Los avances en tecnología de sensores, sistemas de comunicación y sistemas de información.**
 - La posibilidad de evaluar la condición estructural de los puentes en forma remota y en tiempo real.**
 - El desarrollo de nuevos esquemas de inspección y evaluación de las estructuras.**
 - El potencial efecto que tiene sobre la seguridad y vida útil de los puentes.**



MONITOREO E INSTRUMENTACIÓN DE PUENTES

Ventajas

- Facilitan el manejo de la información.
- Dan lugar a sistemas de administración más efectivos que optimicen los procesos de conservación.
- Permiten evaluar y controlar los efectos de un creciente tráfico vehicular.
- Permiten estudiar el efecto de los fenómenos naturales que son cada vez de mayor intensidad y frecuencia por el cambio climático.
- Garantizan la integridad y seguridad de los puentes, incrementando los niveles de confianza de los usuarios.



JUSTIFICACIÓN DEL PROGRAMA

- Hay más de 8,200 puentes en carreteras federales y 2,500 en carreteras de cuota; más del 50% tienen más de 30 años en servicio y las condiciones de demanda (carga y tráfico) exceden aquellas consideradas en su diseño.
- 476 puentes requieren de rehabilitación debido al daño por corrosión.
- Se cuenta con experiencia en instrumentación, evaluación y prognosis de puentes.
- Puentes sobre ríos y canales con problemas de socavación que requieren de un seguimiento.
- Modernización del sector transporte.



BENEFICIOS

- ❑ Fortalecimiento de la imagen interna y externa de la Secretaría en materia de **seguridad, conservación y modernización**.
- ❑ Mayor **confiabilidad y seguridad** en la operación de los puentes de la red federal de carreteras
- ❑ Aumento en la **eficiencia y eficacia de los trabajos de conservación**.
- ❑ **Reducción en los gastos de conservación** por actuación oportuna en la rehabilitación ante la ocurrencia de daño.
- ❑ **Plataforma para el monitoreo** de carreteras, túneles y toda la infraestructura.
- ❑ **Promover el desarrollo tecnológico** en instrumentación y sistemas de monitoreo (CIVIÓNICA).



Centro de Monitoreo y Diagnóstico de Puentes y Estructuras Inteligentes

Concepto

- Sistema de monitoreo del comportamiento estructural de los **puentes más importantes** de México y los **puentes “tipo”, que representan a la mayoría de éstos.**
- Monitoreo en tiempo real que facilita la **evaluación del comportamiento y detección del daño** en operación normal y durante la ocurrencia de eventos extraordinarios.
- Instrumentación con sensores de fibra óptica monitoreo de **largo plazo.**
- Plataforma para complementar al Sistema de Administración de Puentes de la SCT (SIPUMEX), con **modelos de deterioro, estimación de vida útil y análisis económico.**

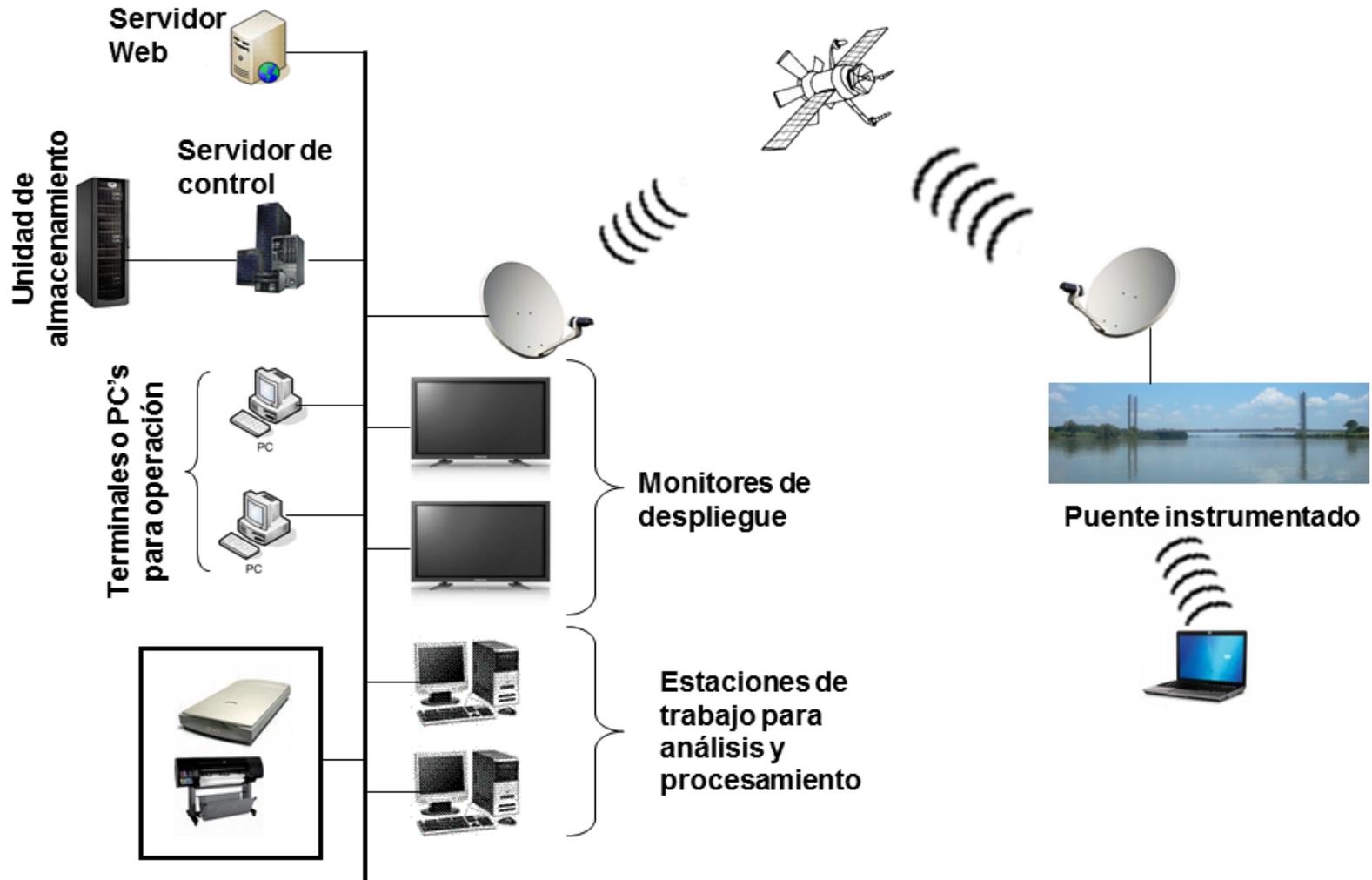


Centro de Monitoreo y Diagnóstico de Puentes y Estructuras Inteligentes

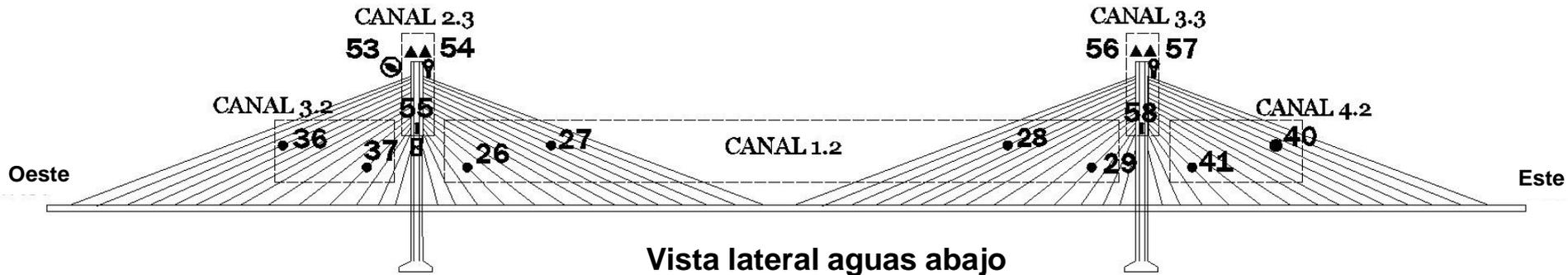
Beneficios/beneficiarios

Optimizar la inspección, evaluación y rehabilitación de puentes; aplicando los recursos en forma eficiente, apoyando actividades de vigilancia y creando un centro de alta tecnología con capacidad de expansión para la administración segura de activos de la SCT.

Esquema de Monitoreo Remoto



Esquema de Instrumentación



Simbología			
● Acelerómetro	↔ Deformímetro	☒ Panel Control	☉ E. climatológica
▲ Inclinómetro	x S. Desplazamiento	📹 Cámara video	⊥ S. temperatura

Esquema de Instrumentación





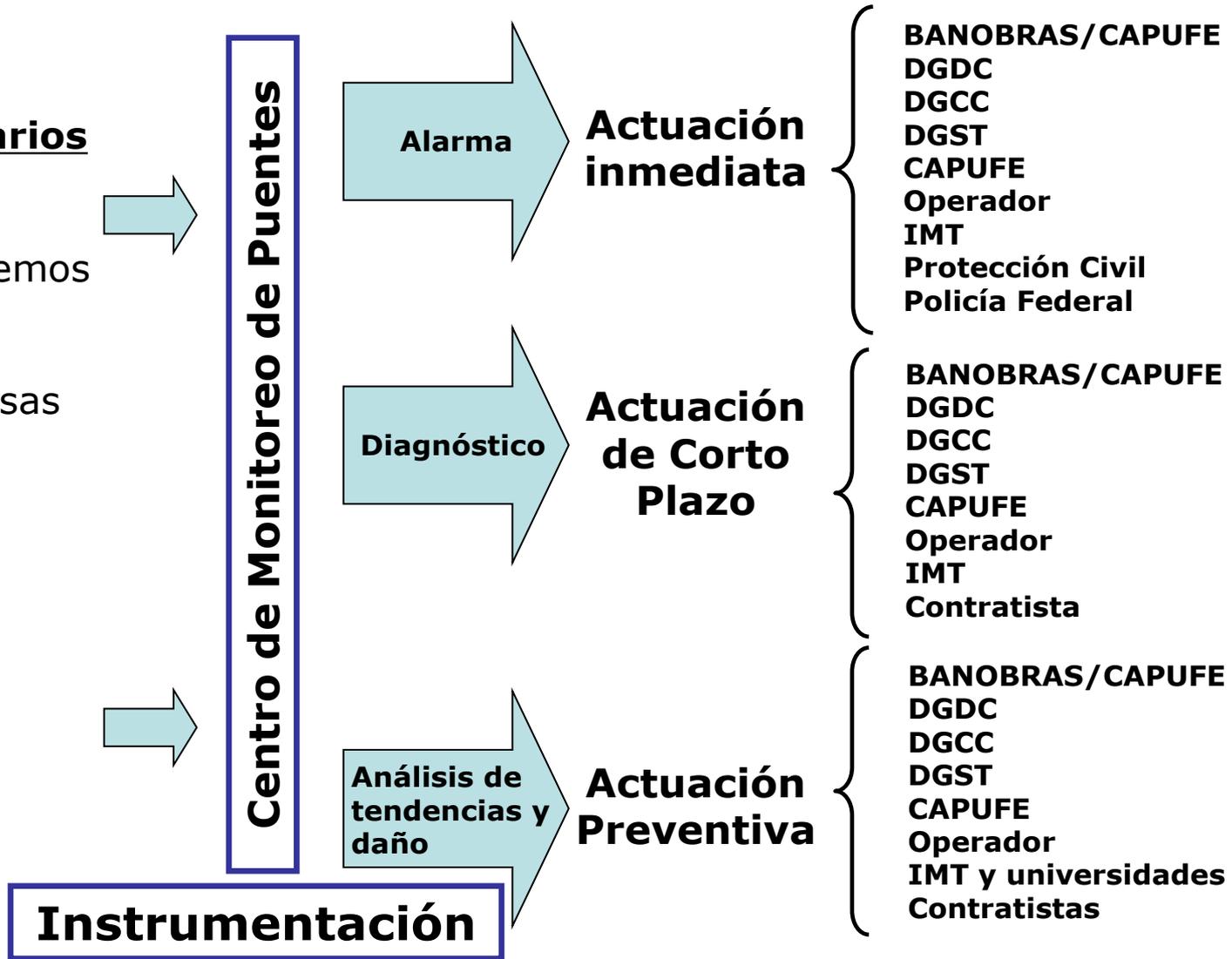
ESQUEMA DE MONITOREO Y OPERACIÓN

Eventos Extraordinarios

Sismos
Vientos extremos
Accidentes
Sobrecargas
Lluvias intensas

Eventos ordinarios

Fatiga
Socavación
Corrosión
Deterioro
Desgaste



MATRIZ DE INFLUENCIA Y CORRESPONSABILIDAD

	Tipo de acción que realiza								
Evento	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
Socavación									
Deterioro y Corrosión									

	Acción inmediata
	Acción inmediata o de corto plazo
	Acción de corto plazo
	Acción preventiva
	Investigación y desarrollo

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL – Puentes Especiales

Estrategia

Niveles de Actuación

Alarmas

- Nivel más Básico de monitoreo.
- Basado en las mediciones directas de deformaciones, aceleración, inclinación, temperatura y desplazamiento.
- Determinado por las condiciones normales de operación y la resistencia de los materiales constitutivos.
- Diseñado para la actuación inmediata.

Índices de Desempeño Estructural

- Segundo Nivel de monitoreo.
- Calcula índices de desempeño estructural a partir de las mediciones directas (frecuencias, modos de vibrar, ciclos térmicos, etc.)
- Diseñado para el monitoreo de largo plazo.
- Monitoreo de tendencias a largo y mediano plazos.

Detección y evaluación de Daño

- Nivel más sofisticado de Monitoreo.
- Se aplica ante la ocurrencia de eventos especiales y como resultado de pruebas controladas (pruebas de impacto).
- Basado en el análisis comparativo con un modelo calibrado de elemento finito.
- Para la evaluación y detección de daño estructural.

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL – Puentes Tipo

Estrategia

Niveles de Desarrollo y Actuación

Desarrollo de Modelos Paramétricos

- Basados en el monitoreo de los puentes “tipo”.
- Análisis estadístico y del comportamiento estructural de los puentes.
- Aplica modelos de deterioro, según tipo de puente.
- Determinado por las condiciones normales de operación y la resistencia de los materiales constitutivos.

Índices de Desempeño Estructural

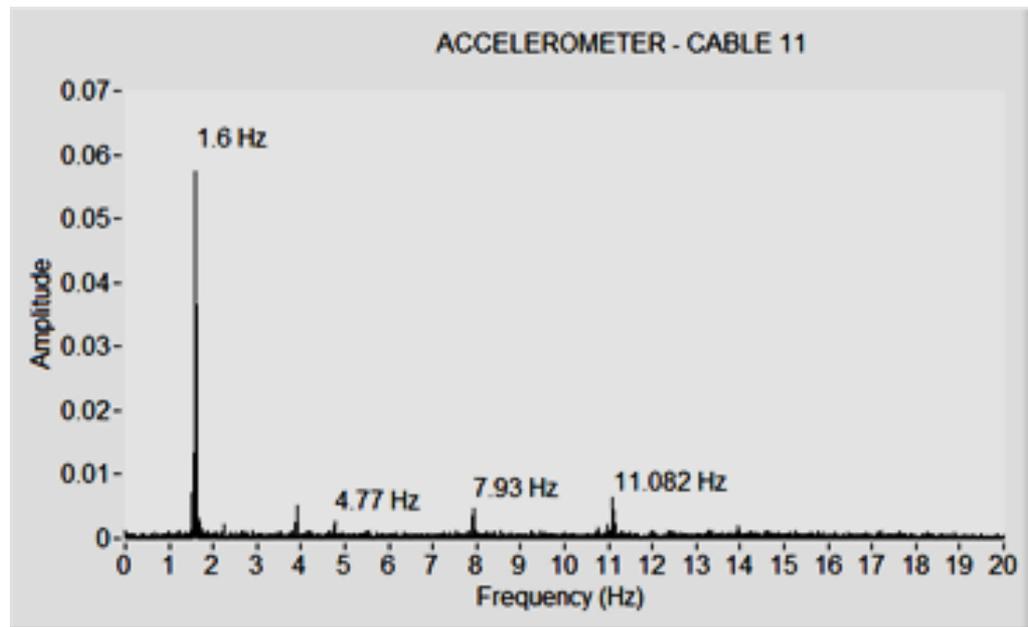
- Basados en pruebas dinámicas y estáticas de campo sencillas.
- Calcula índices de desempeño estructural a partir de las mediciones directas (frecuencias y deflexión estática).
- Diseñado para el monitoreo periódico de largo plazo.
- Monitoreo de tendencias.

Detección y evaluación de Daño

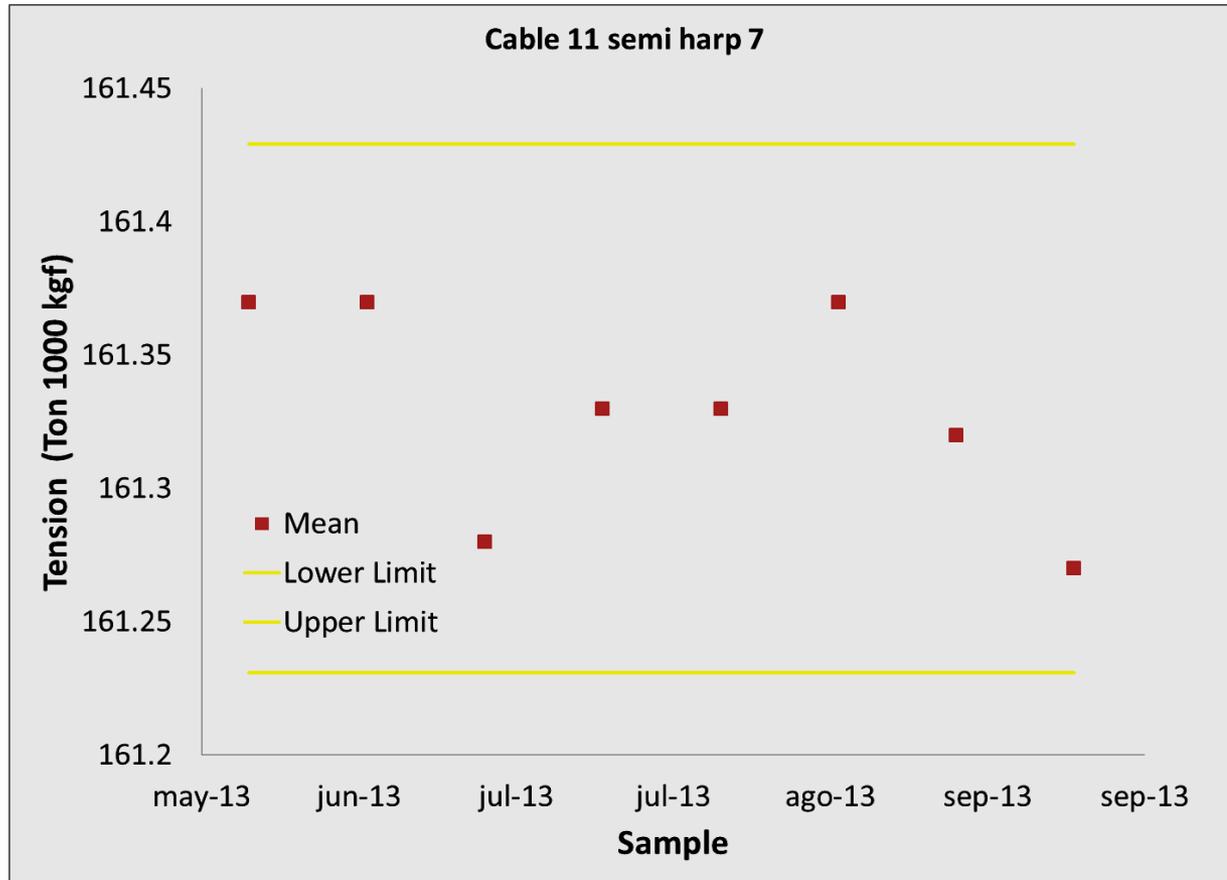
- Se aplica ante la sospecha de daño estructural y como resultado de pruebas controladas (pruebas de impacto).
- Basado en el análisis comparativo con los modelos paramétricos desarrollados.
- Evaluación y detección de daño estructural basados en modelos probabilísticos.

Resultados típicos

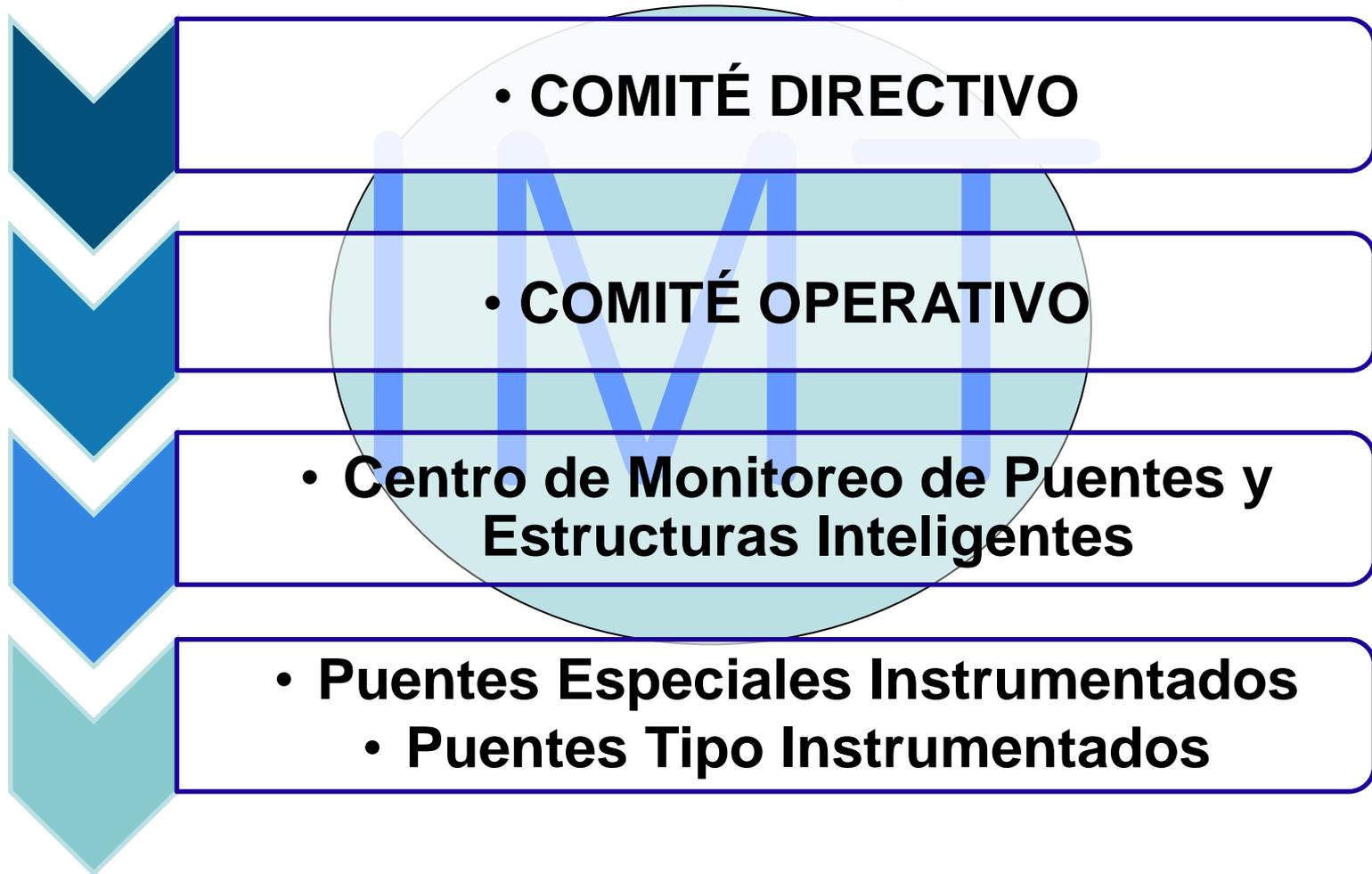
Espectros de frecuencia de los sensores de aceleración en cables



Resultados típicos



Centro de Monitoreo y Diagnóstico de Puentes y Estructuras Inteligentes





PLATAFORMA DE DESARROLLO TECNOLÓGICO E INVESTGACIÓN

Estimación de Capacidad de Carga

- **Puentes Tipo y puentes Especiales.**
- **Diseño de pruebas y técnicas de evaluación.**
- **Desarrollo de modelos paramétricos y criterios de calificación.**

Prognosis

- **Aplicación de algoritmos para la detección de daño en estructuras.**
- **Evaluación y calificación de daño.**
- **Modelos para el pronóstico de deterioro estructural.**



Corrosión



Corrosión

- La corrosión en puentes es en México un problema severo, especialmente en la zona sureste por sus condiciones de temperatura y humedad.
- 2001 se inició el Plan Nacional de Evaluación de la Corrosión, donde se identificaron zonas de riesgo y más de 400 puentes con potencial riesgo de falla por corrosión.
- En 2000, México se incluye dentro del programa DURACON , que es un programa Iberoamericano para promover estudios y programas de evaluación de la corrosión y rehabilitación por corrosión.
- En 2002, el IMT inicia un proyecto para elaborar un mapa nacional de la agresividad ambiental por corrosión.

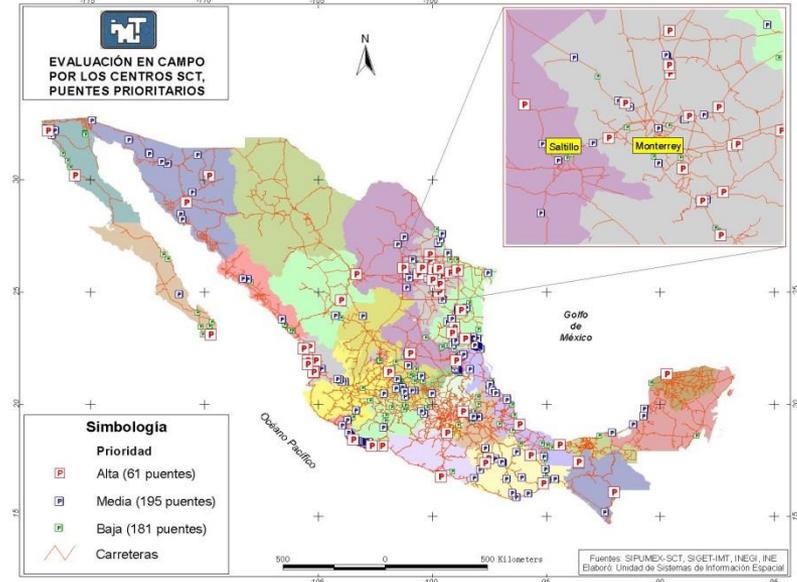
PLAN NACIONAL DE EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN POR CORROSIÓN EN PUENTES

OBJETIVOS

- Determinar el grado de deterioro por corrosión de los puentes en México
- Diseñar métodos de rehabilitación
- Establecer nuevos criterios de durabilidad para el diseño de la nueva infraestructura
- Aplicar tecnología del SIGET

BENEFICIO SOCIAL

- Uso óptimo de los recursos disponibles para la conservación
- Información actualizada de la condición estructural para la toma de decisiones
- Contar con métodos sistemáticos y objetivos de inspección
- Incremento de la vida útil de la infraestructura
- Tecnología por exportar a Iberoamérica



PLAN NACIONAL DE EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN POR CORROSIÓN EN PUENTES



AHORRO

Reducción del costo de inspección de puentes, que en otros países corresponde a \$200 000 pesos por puente, lo cual para un inventario de 8 200 puentes de la red federal, implica un costo total de \$1 640 millones de pesos.



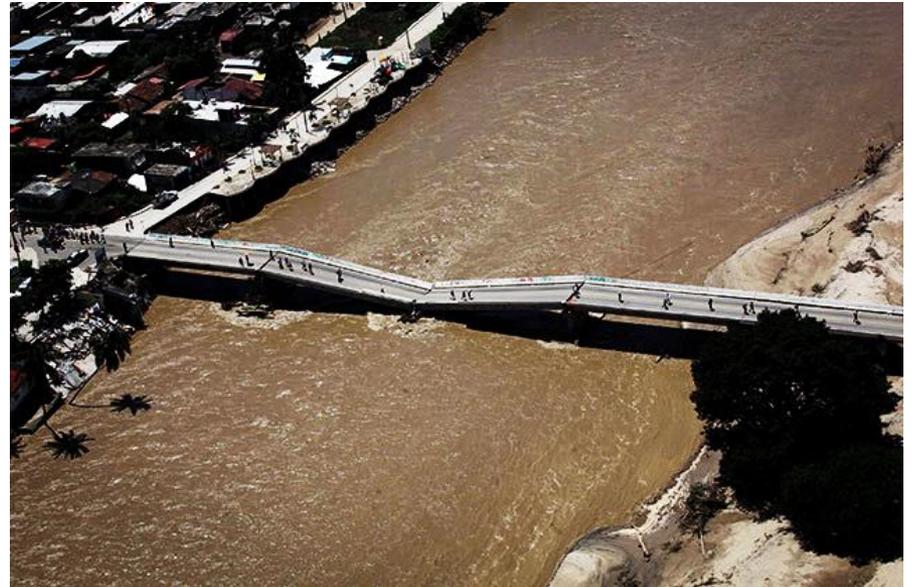
Evaluación de Riesgo por Socavación



Socavación

- Principal causa de falla de puentes en México.
- Por el cambio climático se han incrementado las lluvias y los caudales en los ríos, aumentando el riesgo de socavación de los puentes.
- Antes de 1970, los criterios de diseño consideraron cimentaciones poco profundas, por lo que puentes con más de 40 años de edad tienen mayor riesgo de falla.
- Necesidad de estudios de vulnerabilidad que consideren las zonas de riesgo tomando en cuenta la probabilidad de ocurrencia de lluvias intensas y grandes caudales, así como el tipo de diseño de puente y su edad.
- Más de 40 puentes se han identificados en riesgo por socavación.

Socavación



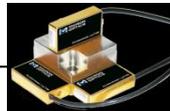
Socavación

- ❑ Instrumentación en apoyos con sensores de aceleración (acelerómetros) en los 3 ejes (x, y, z), para medir amplitudes y frecuencias de vibración.
- ❑ Detectar variaciones en el modo de vibrar de los apoyos y calificar los cambios en la base de los apoyos debidos a la socavación.

Sistema Local



Acelerómetro 3D



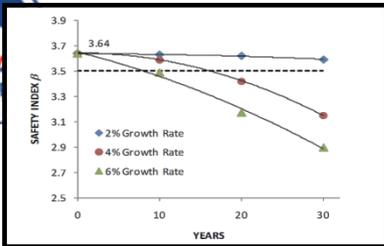
Centro de Monitoreo de Puentes y Estructuras Inteligentes

SCT-IMT

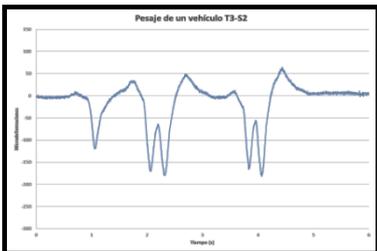




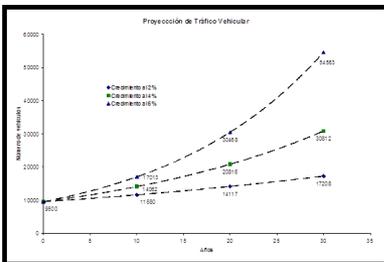
Programa Integral de Seguridad en Puentes



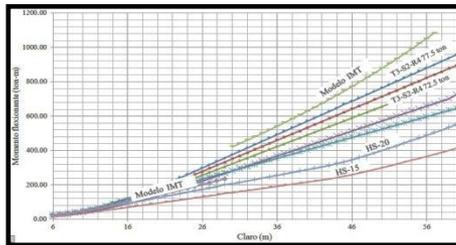
Índice de confiabilidad



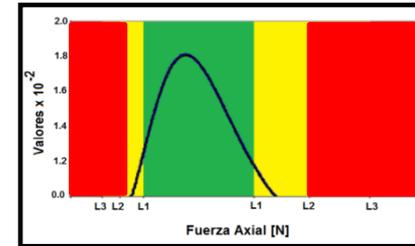
Pesaje Dinámico



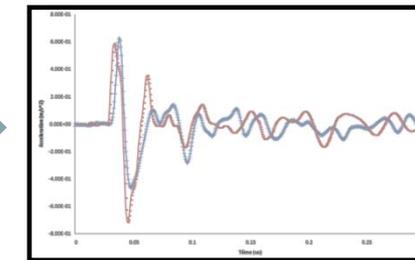
Proyección Vehicular



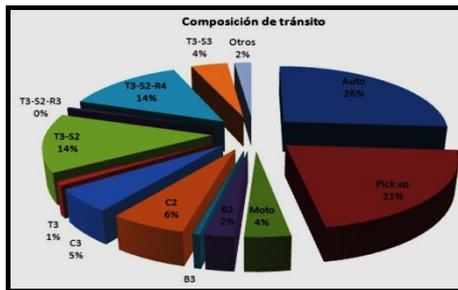
Evaluación estructural de puentes



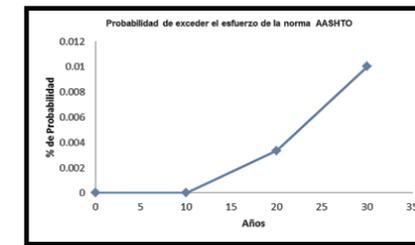
Alarmas de monitoreo



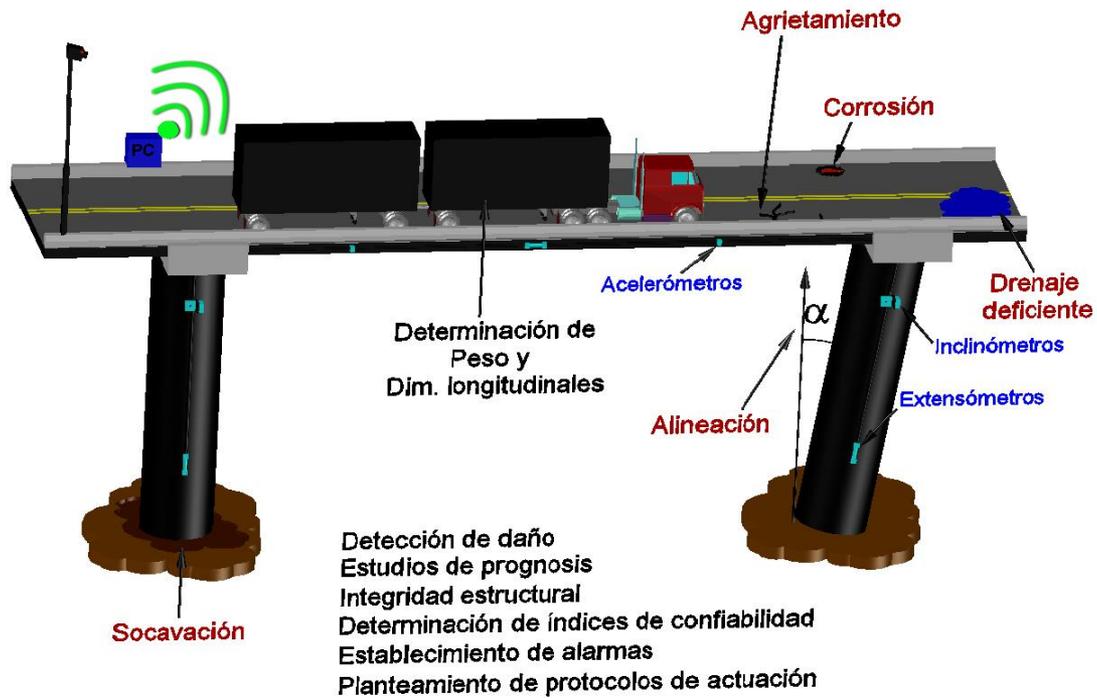
Detección de Daño

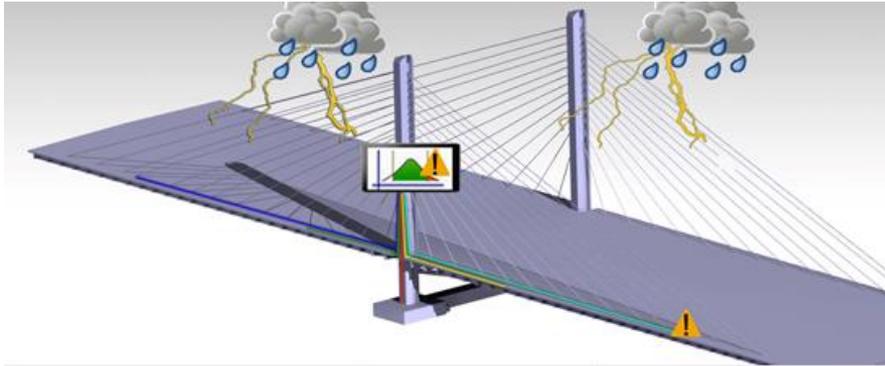


Composición del flujo vehicular

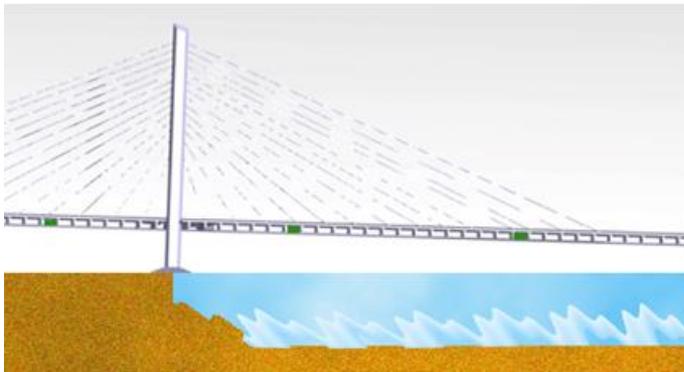
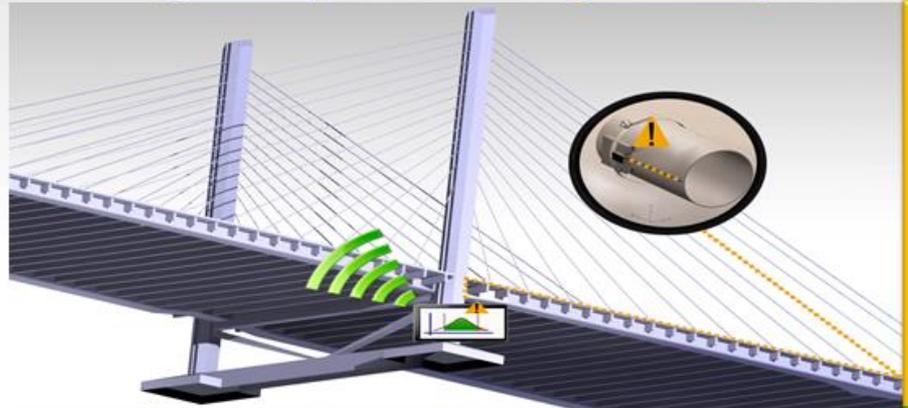


Estudios de Prognosis





Prognosis de Daño



Análisis e Investigación



*Gracias por su
Atención!*

Francisco J. Carrión
carrion@imt.mx