



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](http://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)**



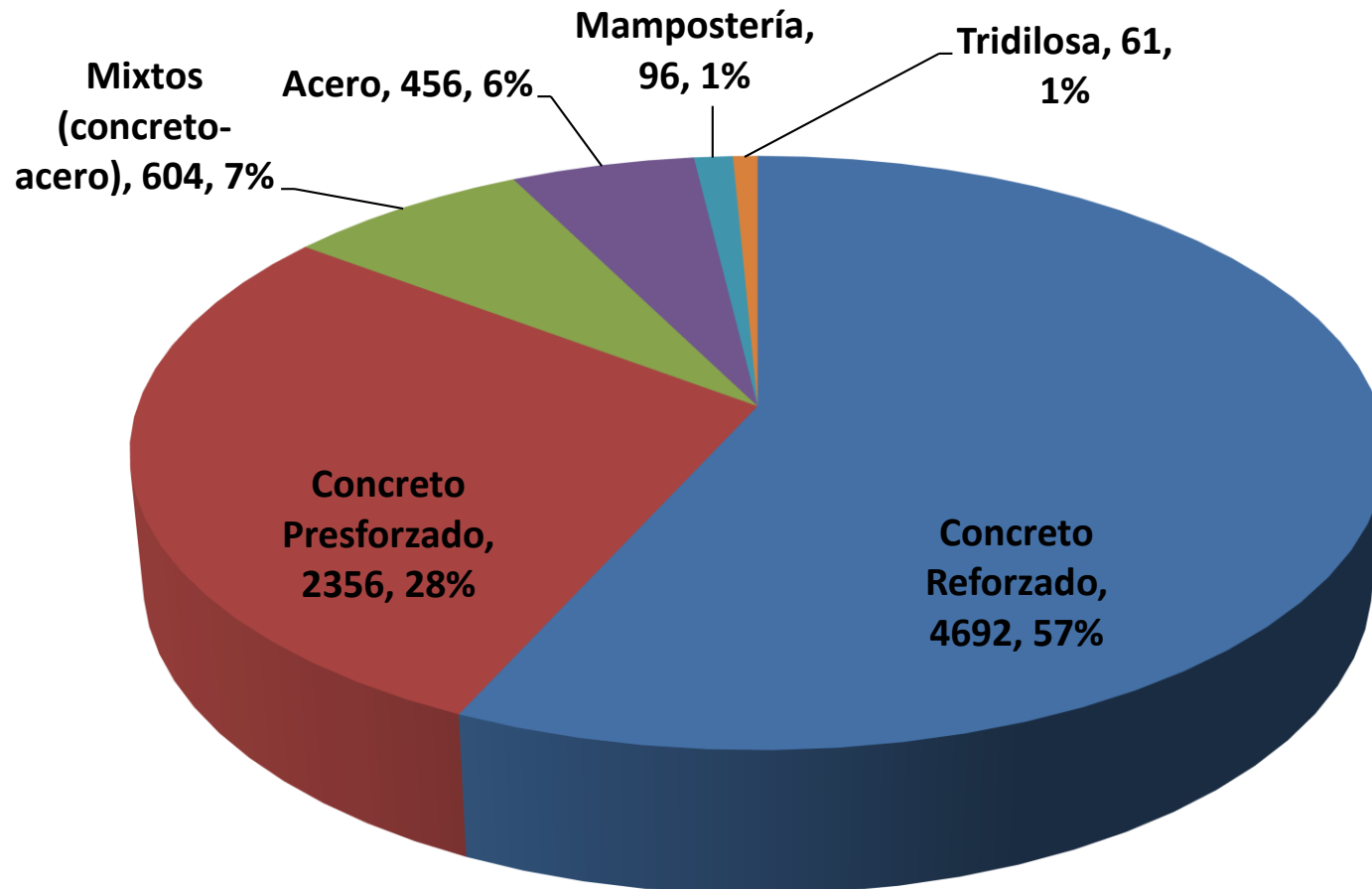
## ANTECEDENTES

- 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 incorporan nuevas tecnologías para la construcción, gestión y conservación de puentes.**

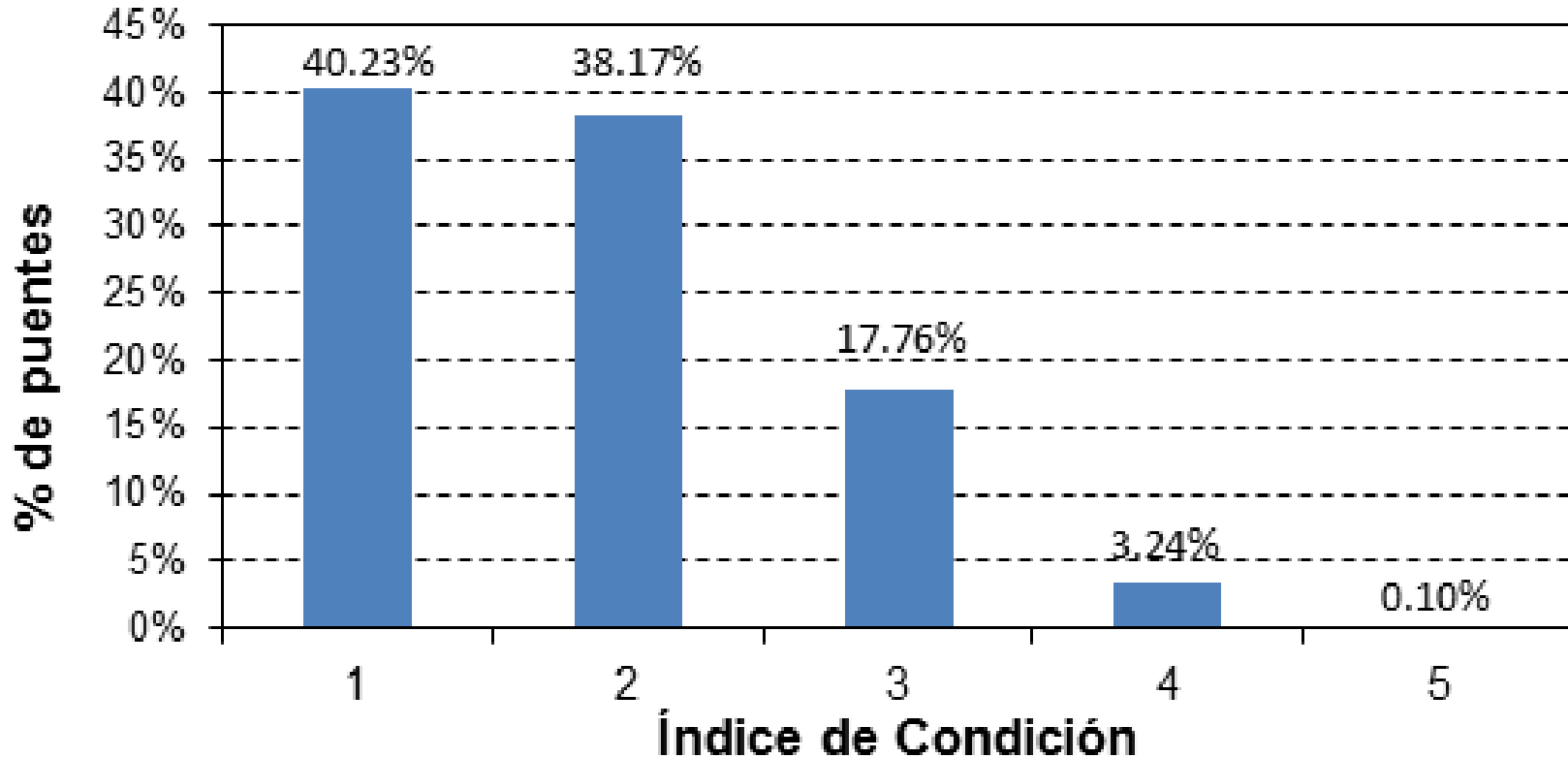


# Situación actual de los puentes Mexicanos

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



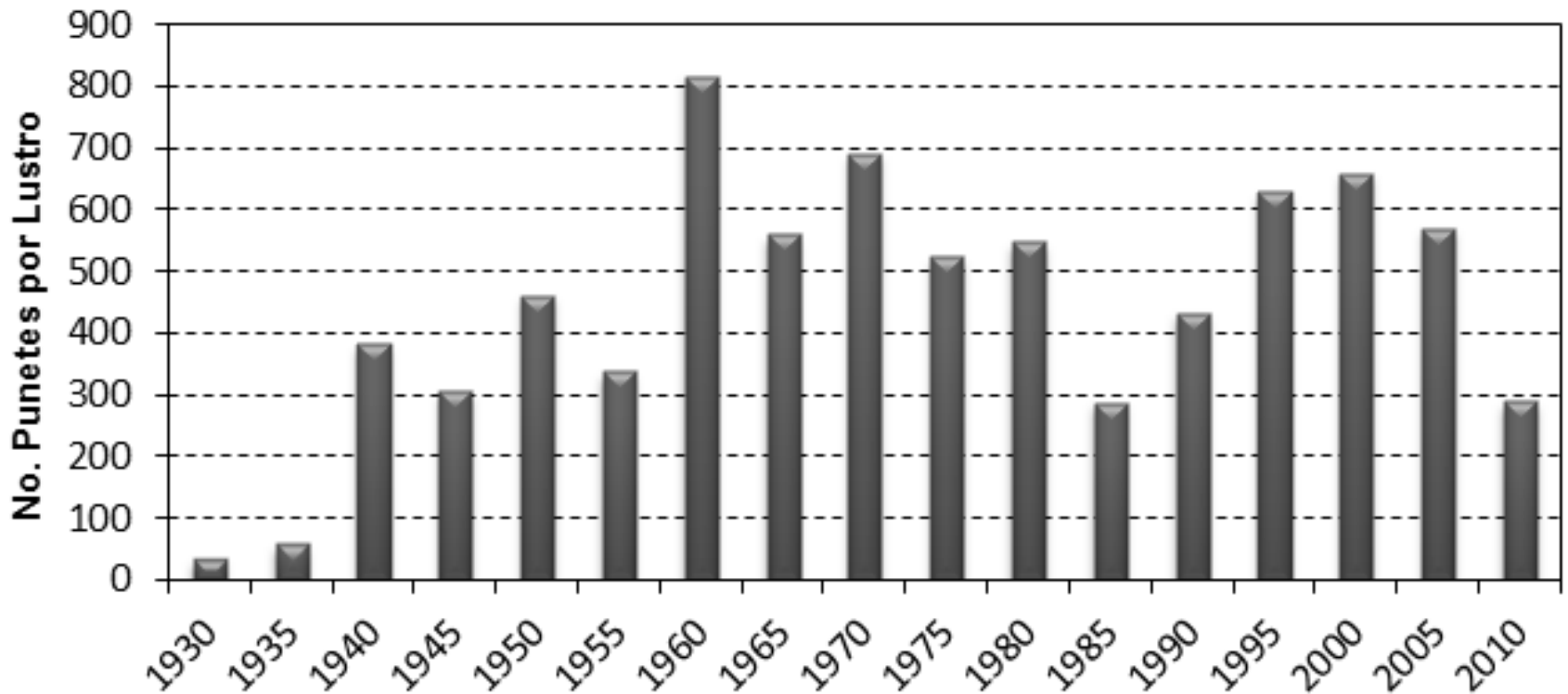
## Calificación de la condición estructural



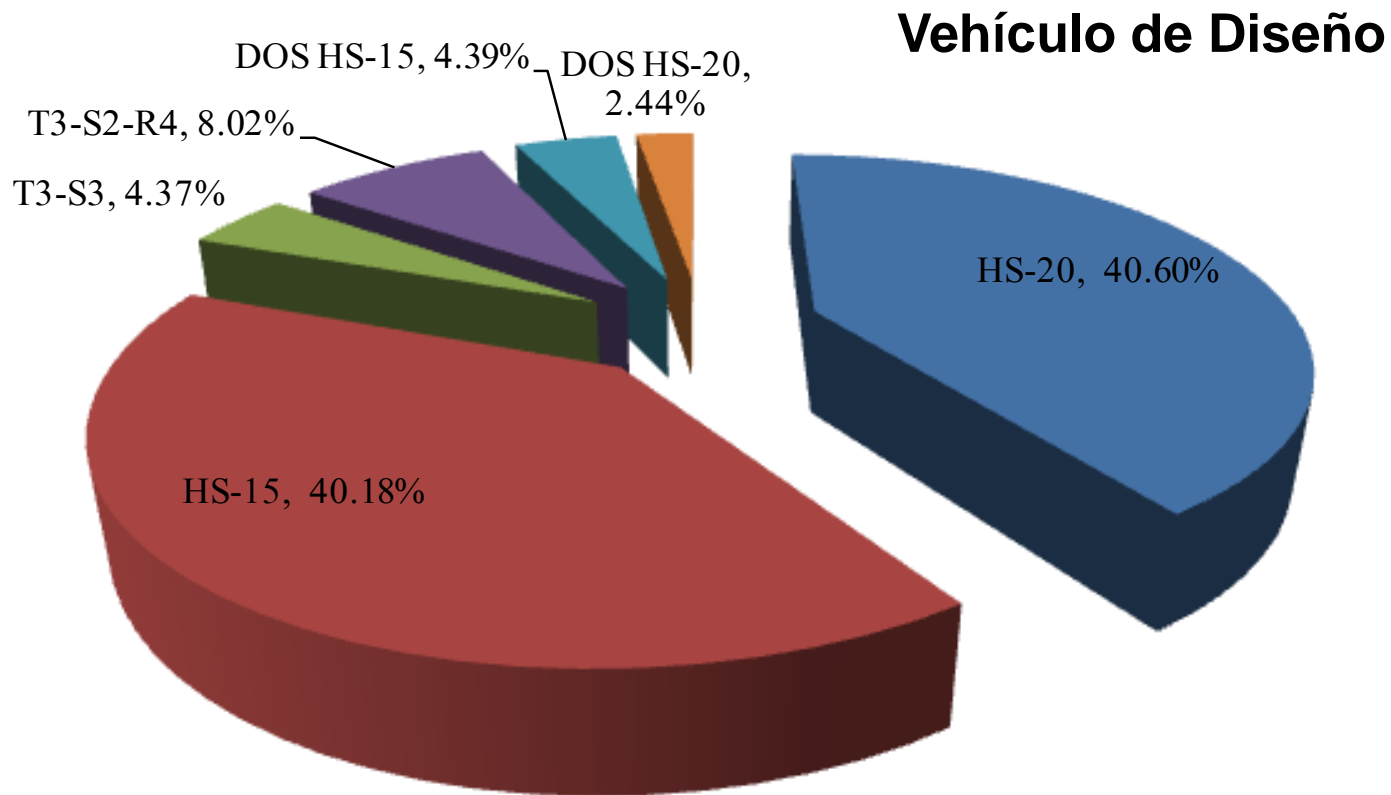
**21 % del inventario tienen índice igual o mayor a 3**



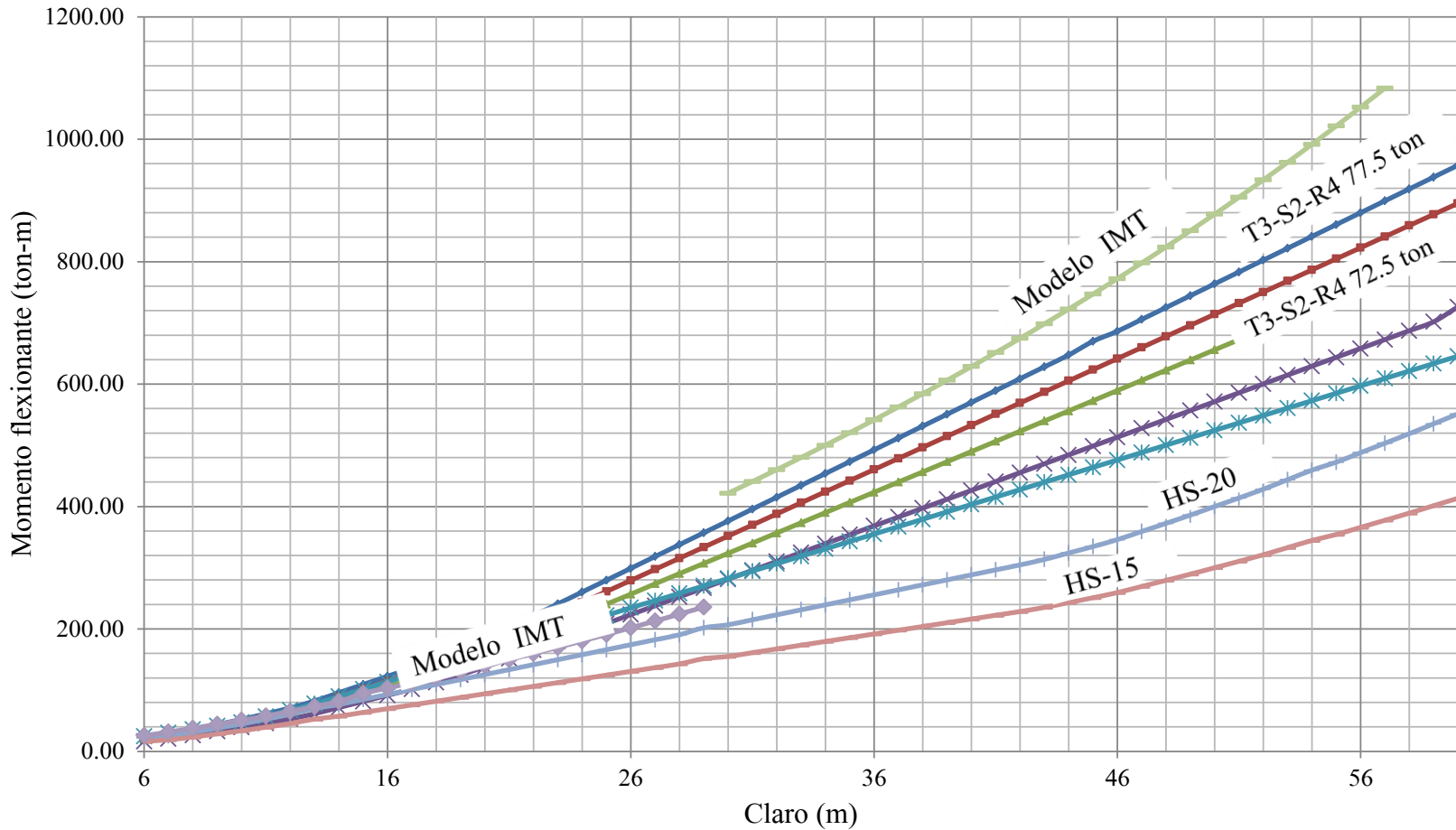
## Edad del inventario de puentes



# Dilema Códigos de Diseño – Cargas Actuales

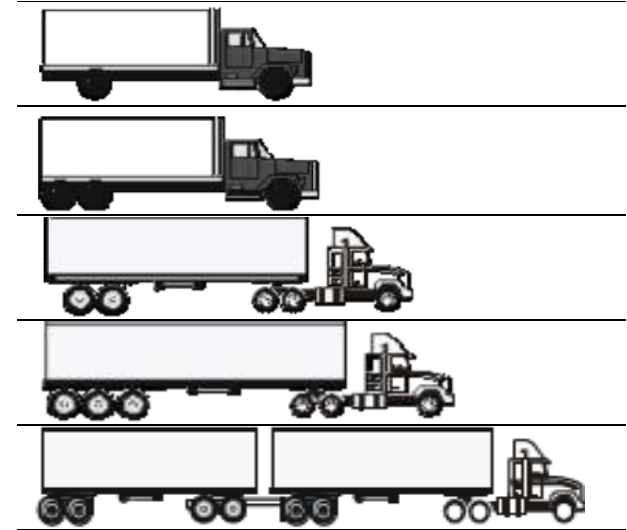


# Dilema Códigos de Diseño – Cargas Actuales



## 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
<b>C2</b>	17.5 (19.0)	21	27.9
<b>C3</b>	24.5 (27.5)	30.1	41.1
<b>T3-S2</b>	41.5 (46.5)	50.8	71.7
<b>T3-S3</b>	48.0 (54.0)	59.7	87.4
<b>T3-S2-R4</b>	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.**



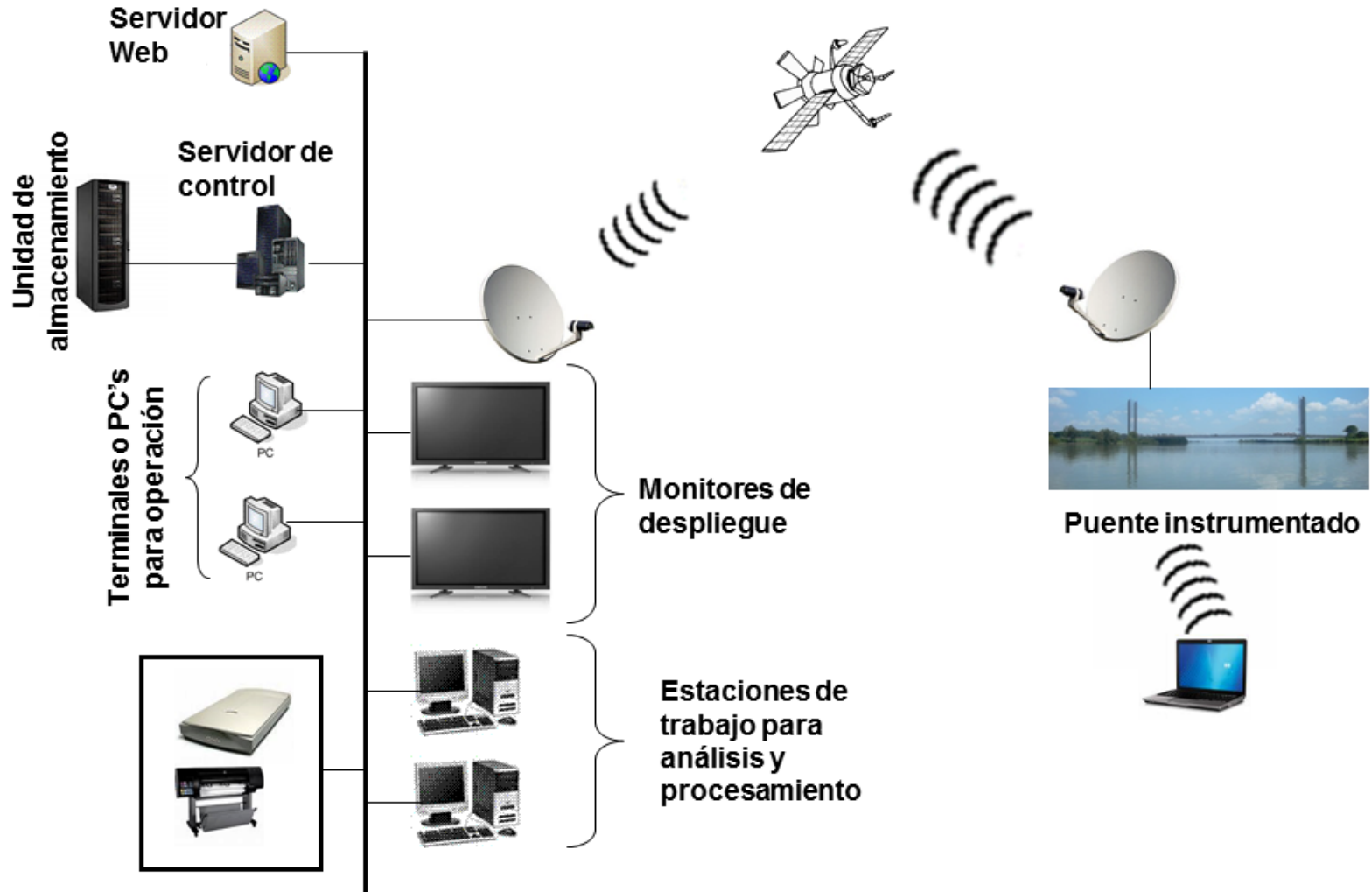
# Centro de Monitoreo y Diagnóstico de Puentes y Estructuras Inteligentes

## Beneficios/beneficiarios

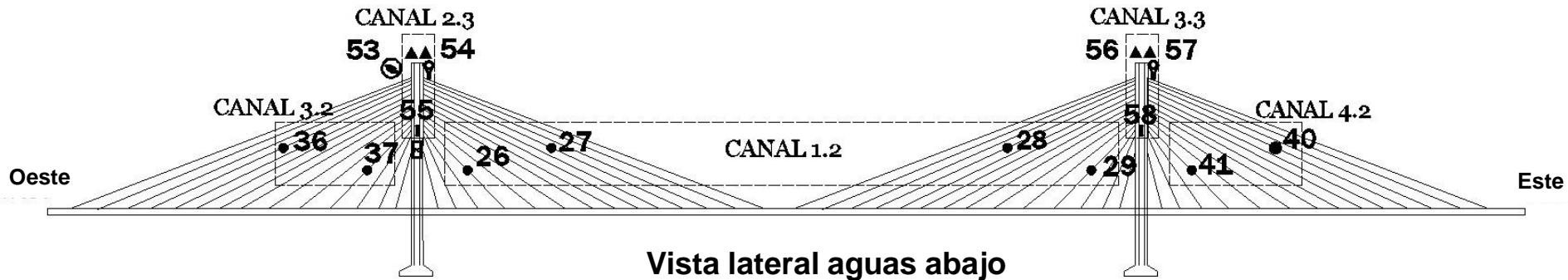
Optimizar la inspección, evaluación y rehabilitación de puentes; aplicando los recursos en forma eficiente, apoyando actividades de vigilancia y creando un centro de alta tecnología con capacidad de expansión para la administración segura de activos de la SCT.



# 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





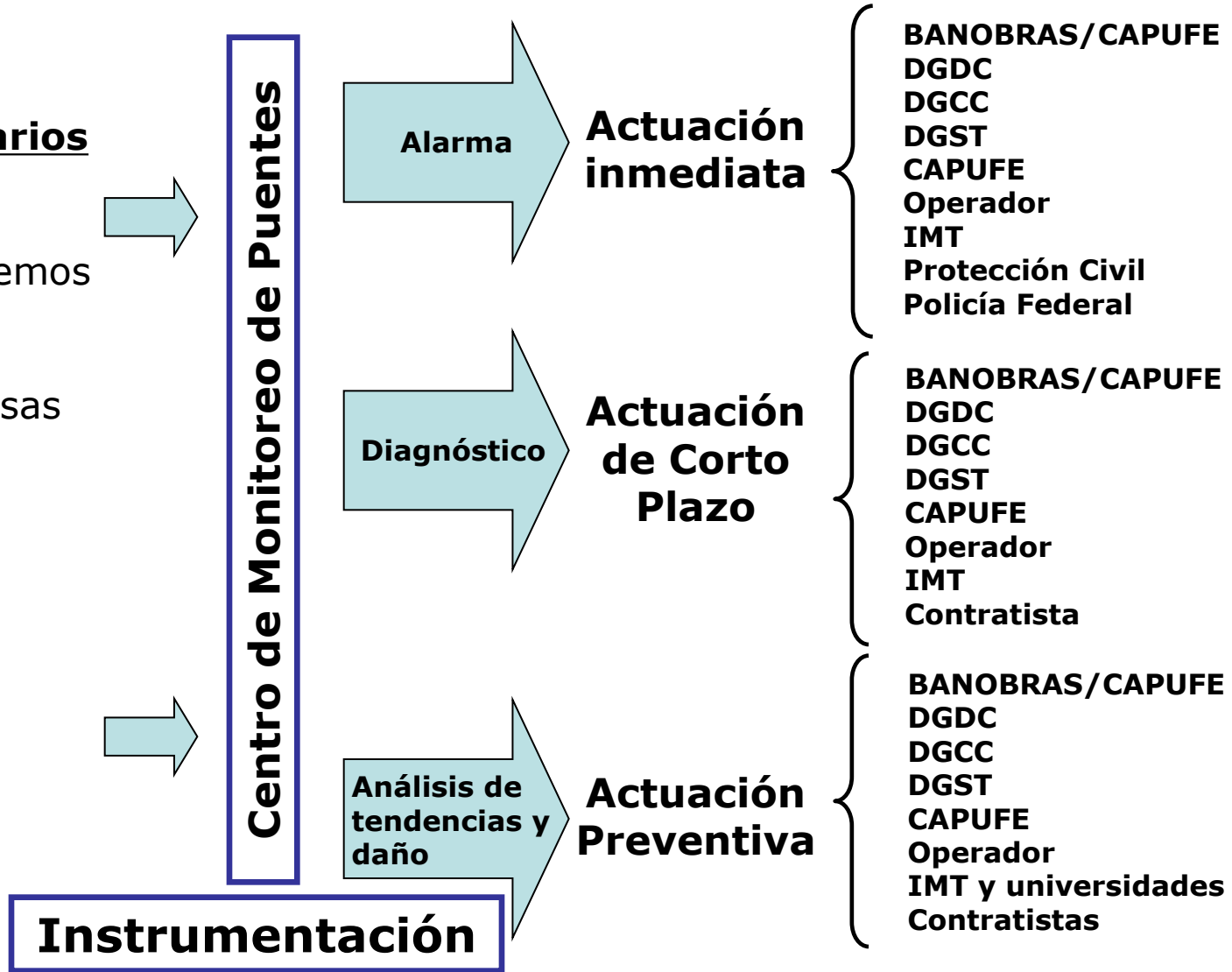
## ESQUEMA DE MONITOREO Y OPERACIÓN

### Eventos Extraordinarios

Sismos  
Vientos extremos  
Accidentes  
Sobrecargas  
Lluvias intensas

### Eventos ordinarios

Fatiga  
Socavación  
Corrosión  
Deterioro  
Desgaste



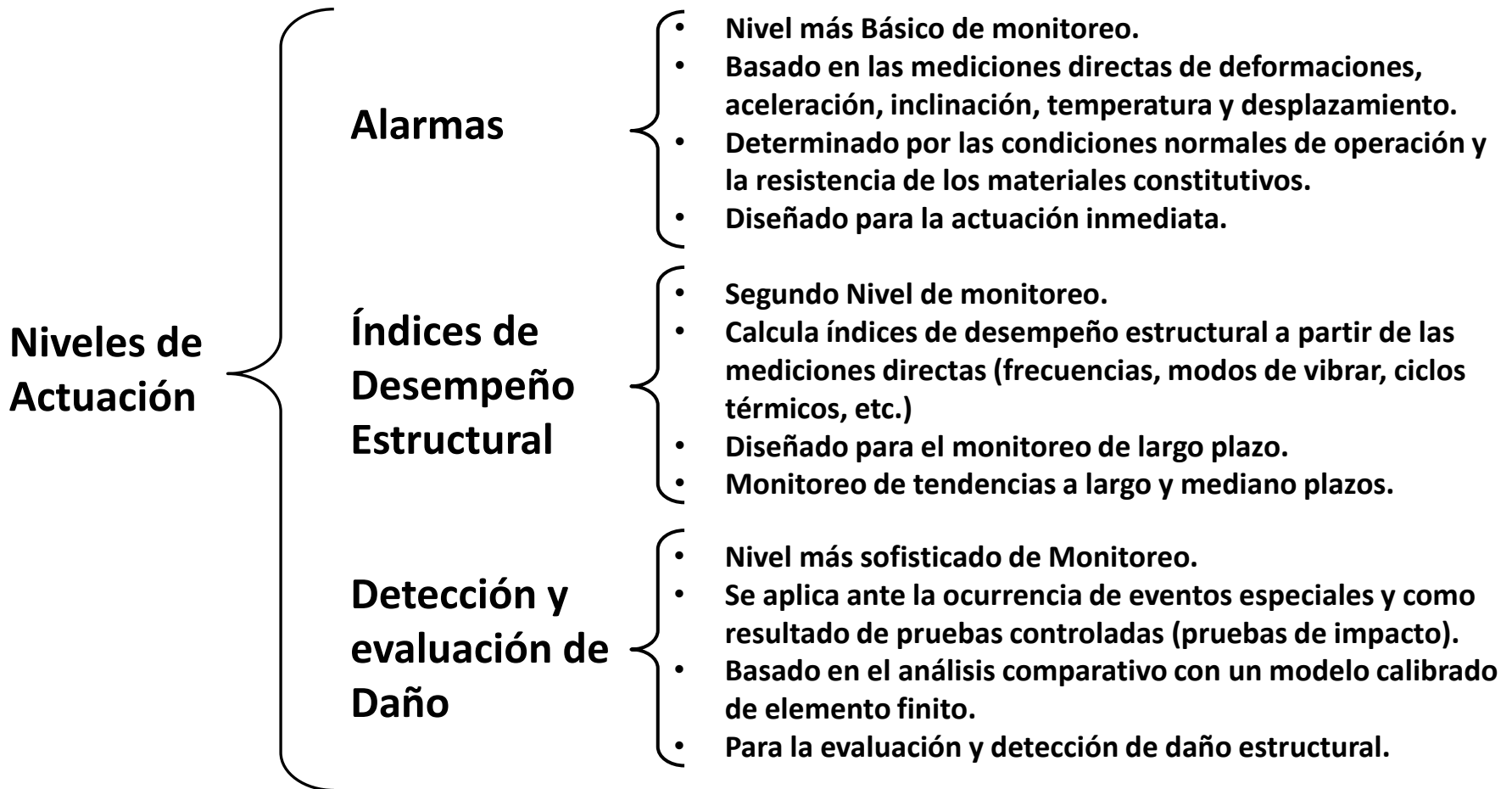
## MATRIZ DE INFLUENCIA Y CORRESPONSABILIDAD

	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



# 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**

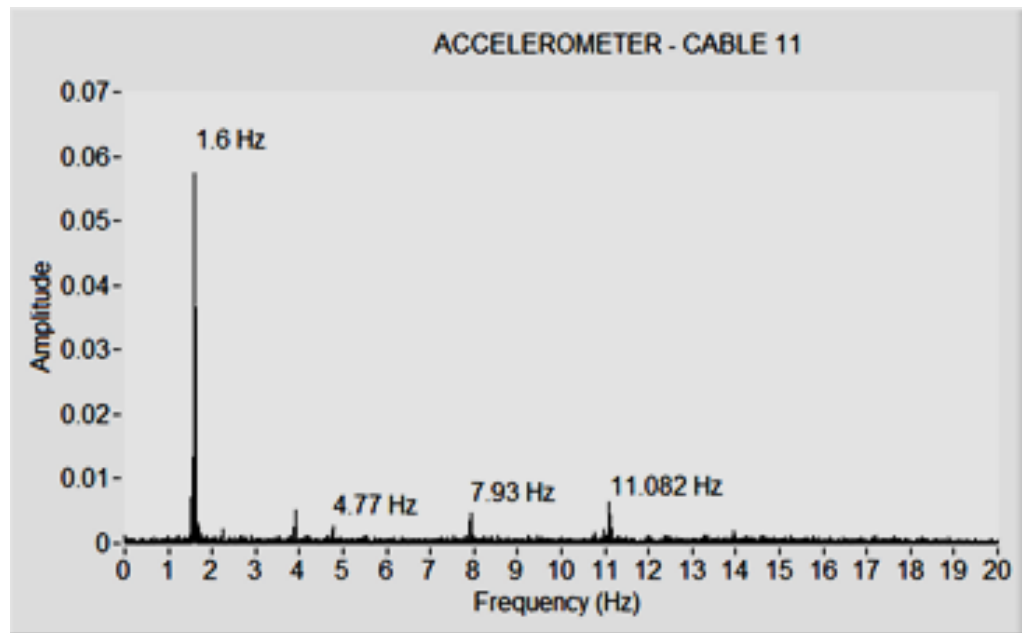
- Basados en pruebas dinámicas y estáticas de campo sencillas.
- Calcula índices de desempeño estructural a partir de las mediciones directas (frecuencias y deflexión estática).
- Diseñado para el monitoreo periódico de largo plazo.
- Monitoreo de tendencias.

**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.

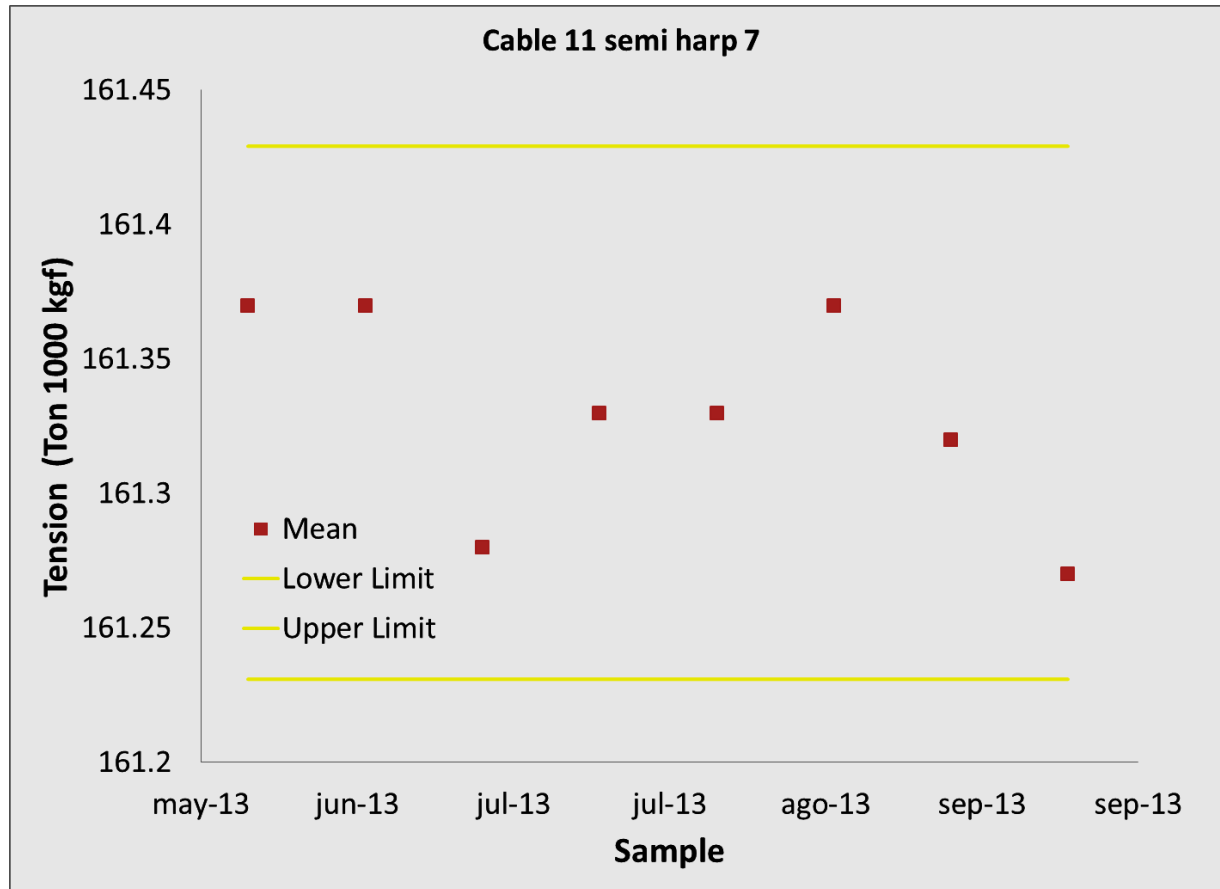
# Resultados típicos

## Espectros de frecuencia de los sensores de aceleración en cables

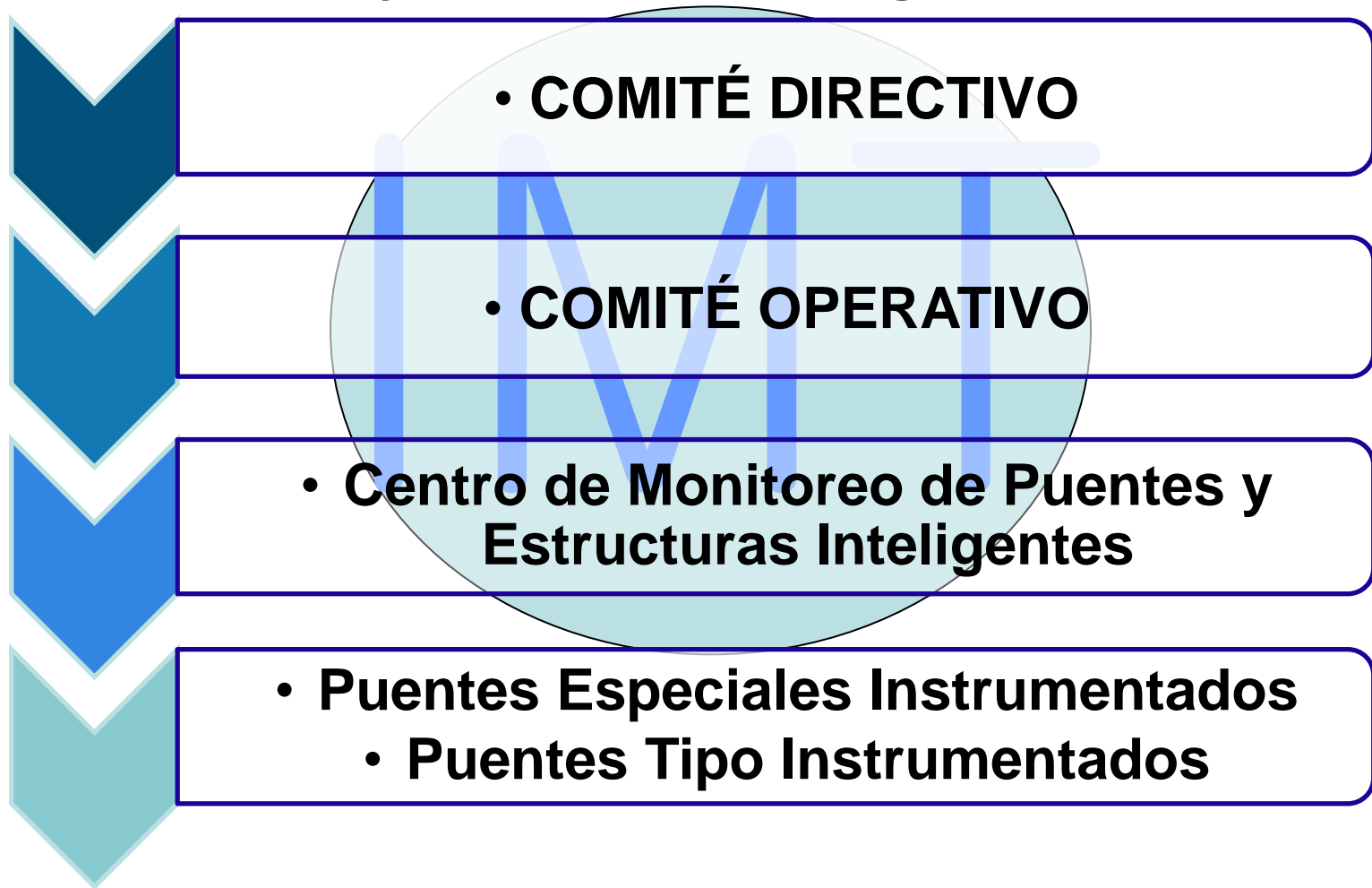




# Resultados típicos



# 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.

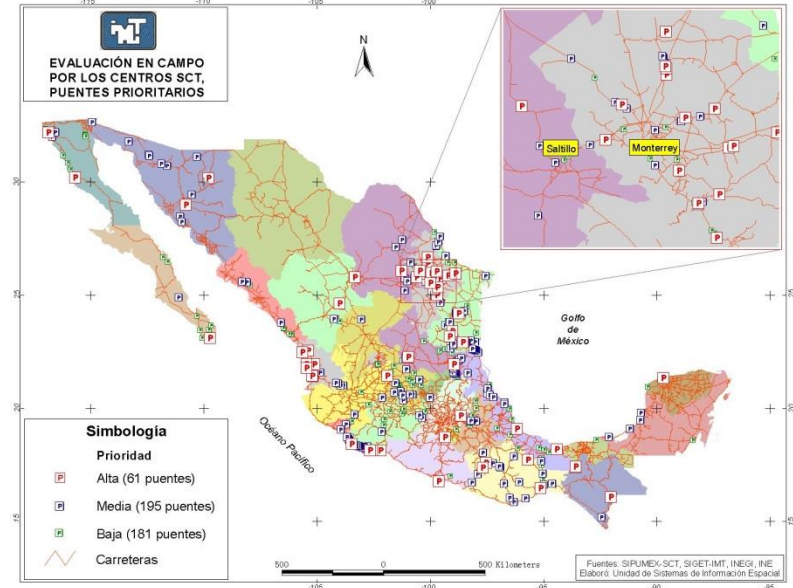
# PLAN NACIONAL DE EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN POR CORROSIÓN EN PUENTES

## 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



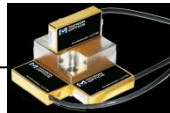
## Socavación

- ❑ 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



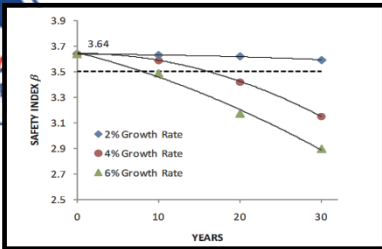
Centro de Monitoreo de  
Puentes y Estructuras  
Inteligentes

SCT-IMT

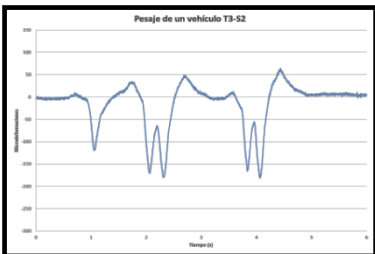




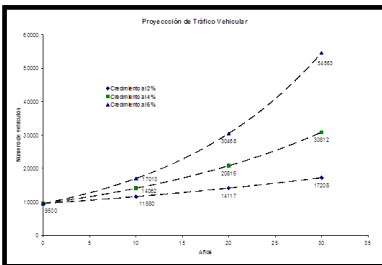
# Programa Integral de Seguridad en Puentes



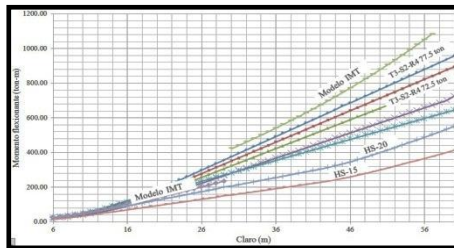
Índice de confiabilidad



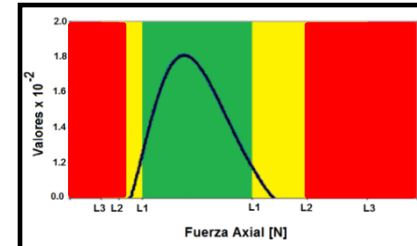
Pesaje Dinámico



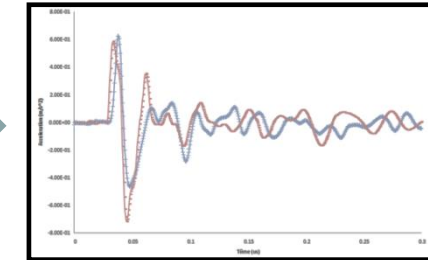
Proyección Vehicular



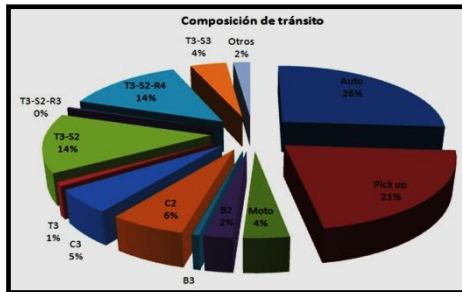
Evaluación estructural de puentes



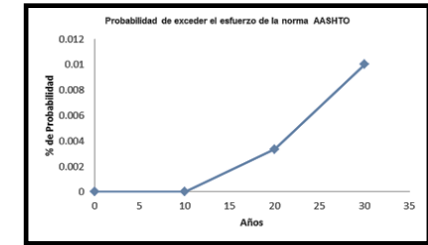
Alarmas de monitoreo



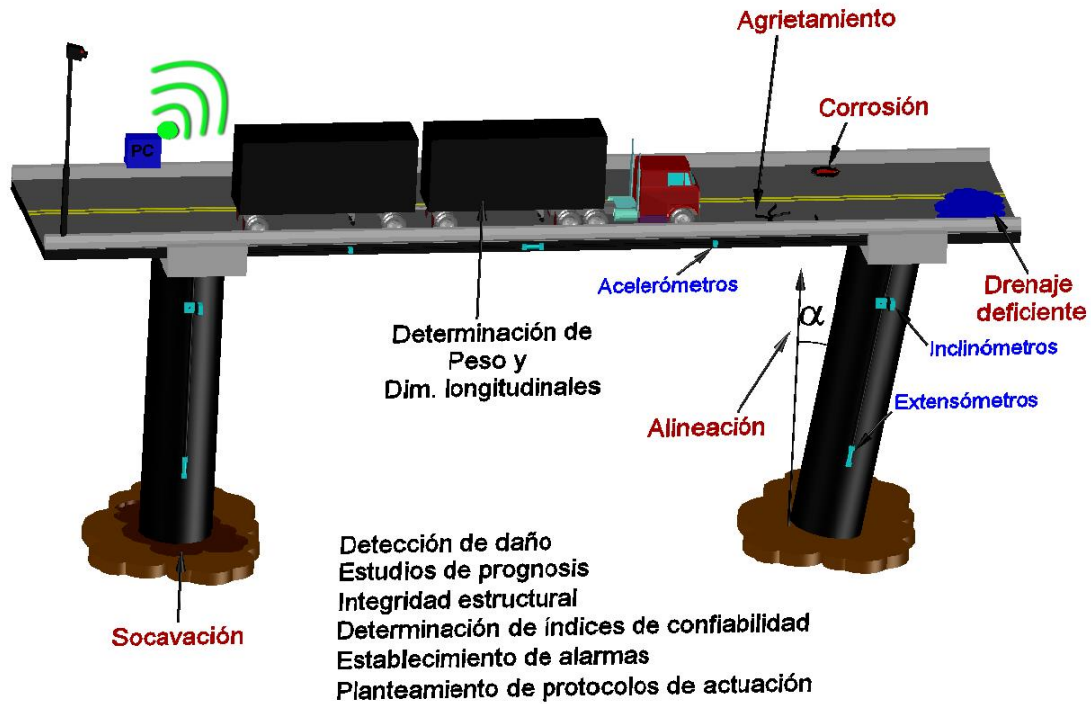
Detección de Daño

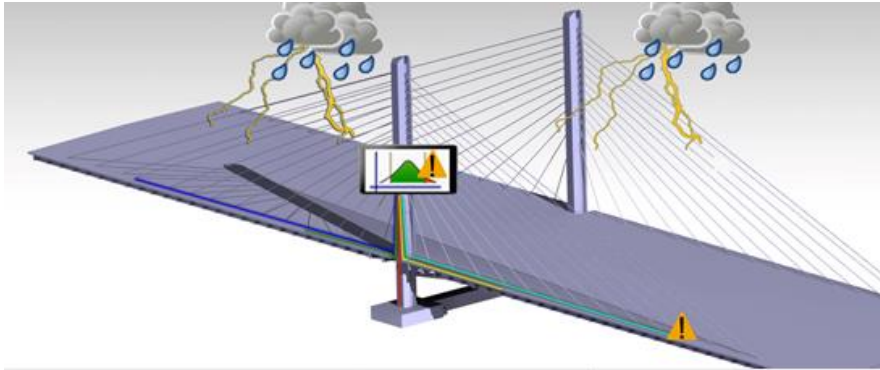


Composición del flujo vehicular

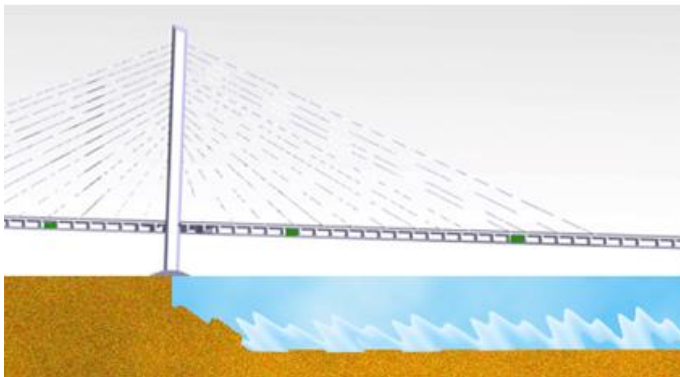
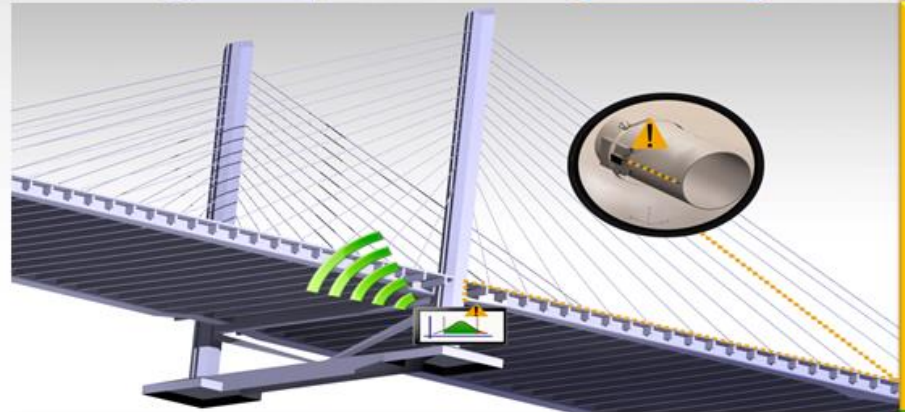
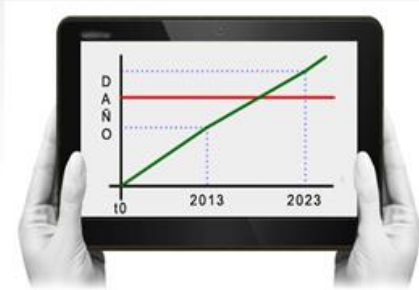


Estudios de Prognosis





### Prognosis de Daño



### Análisis e Investigación



*Gracias por su  
Atención!*

**Francisco J. Carrión**  
**[carrion@imt.mx](mailto:carrion@imt.mx)**