

semana de la ingeniería 2022

El poder de la ingeniería en la innovación

6 | 7 | 8 | 9 JUNIO

presencial + streaming

CAI

semana de la ingeniería 2022

CAI

Gerenciamiento de Puentes

Nuevos Paradigmas

Ing. Tomás A. del Carril

8 de junio de 2022

Temario

1. Introducción – Importancia del Mantenimiento de los Puentes
2. Origen y Evolución de los Sistemas de Gestión de Puentes
3. Gestión de Activos
4. Innovaciones para la Gestión de Activos
5. Conclusiones

Importancia de los Puentes

Los puentes son elementos claves en el sistema de transportes de una Nación

Cuando un puente queda inutilizado,

se corta el tránsito en todo el tramo



Dramático Ejemplo en la Argentinan (Nov. 1996)

Cerrán el puente Zárate-Brazo Largo

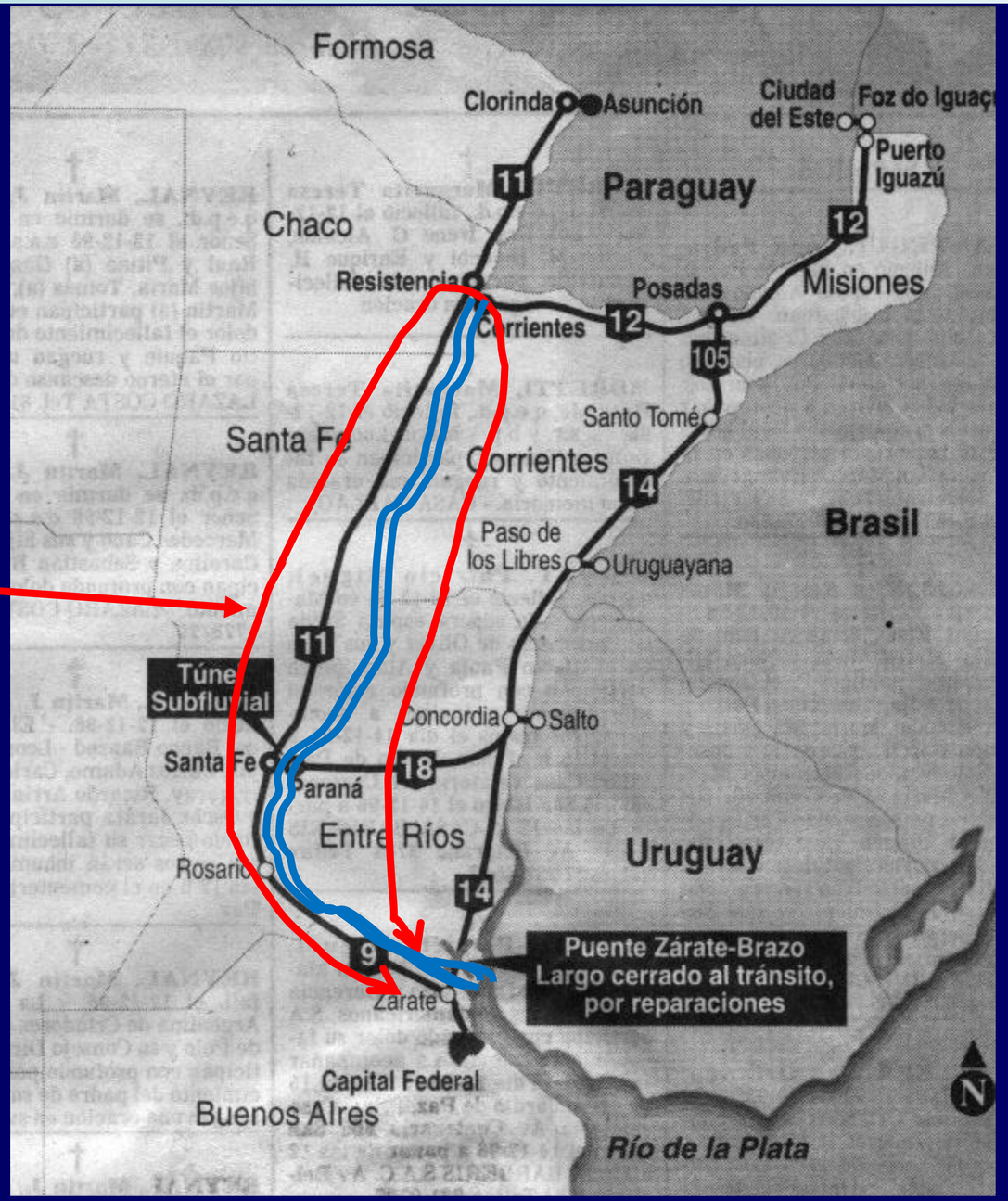
Congestionamiento: a raíz de la rotura del anclaje de un cable del viaducto, ayer la circulación se realizó por una sola mano, lo que provocó demoras de hasta una hora en el tránsito.

23 de noviembre de 1996

- Combustibles
- Animales Vivos

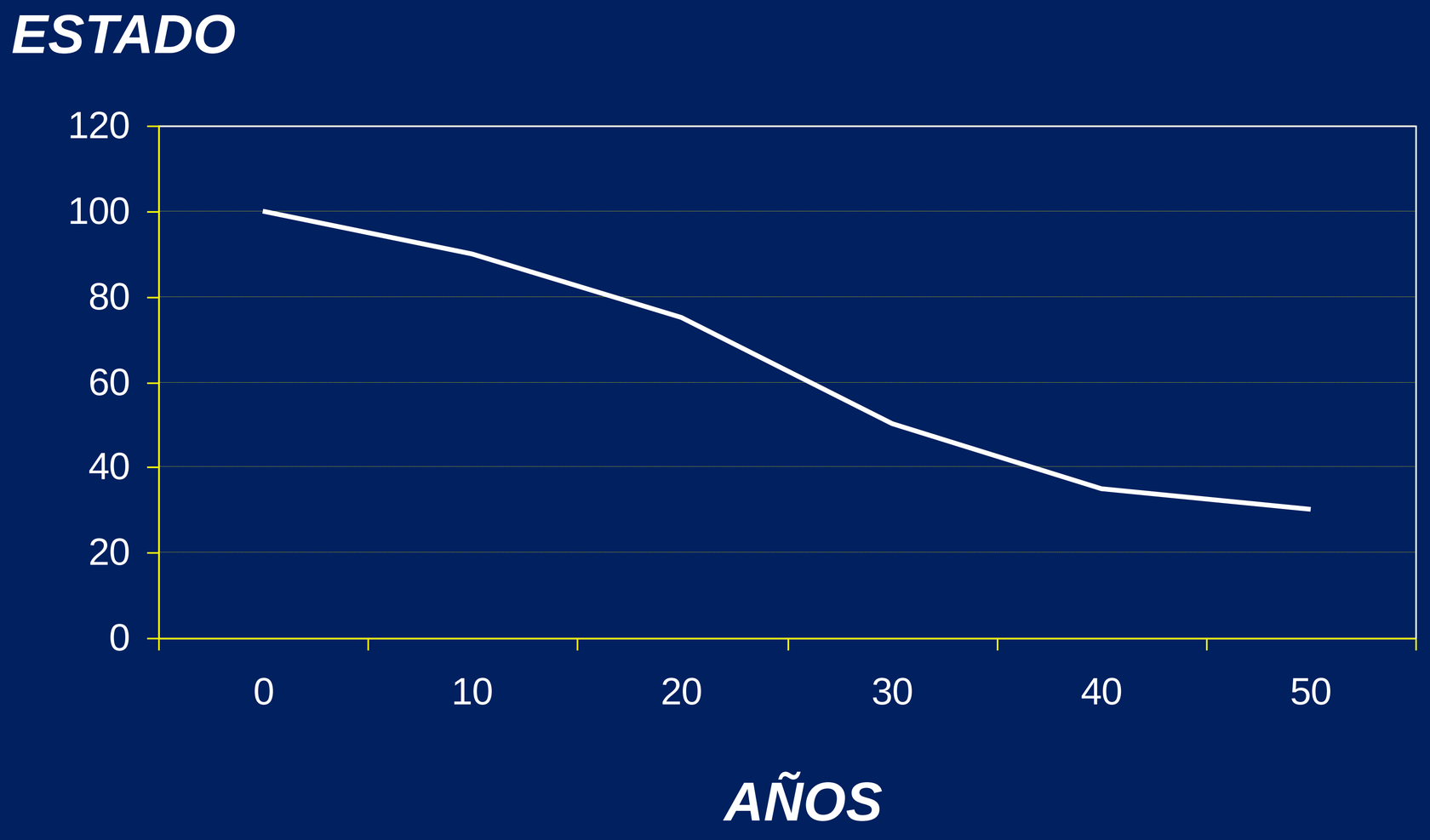
Recorrido Adicional: 2000 km

Se estimó el costo de la emergencia en u$s 200 millones por día



Los puentes se deterioran o fallan

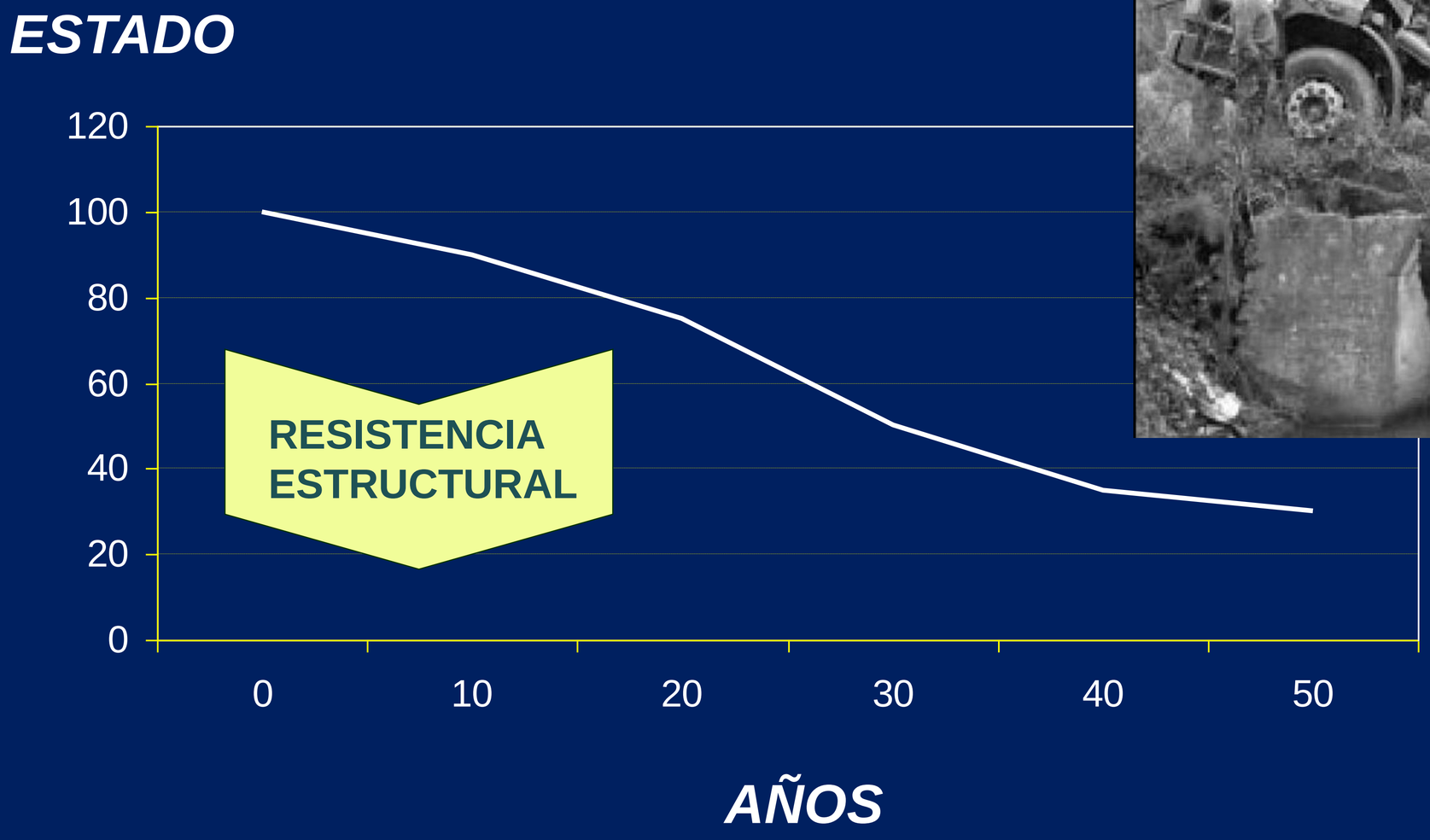
Por múltipiles causas



Los puentes se deterioran o fallan

Por múltipiles causas





Los puentes se deterioran o fallan

Por múltipiles causas





Los puentes se deterioran o fallan

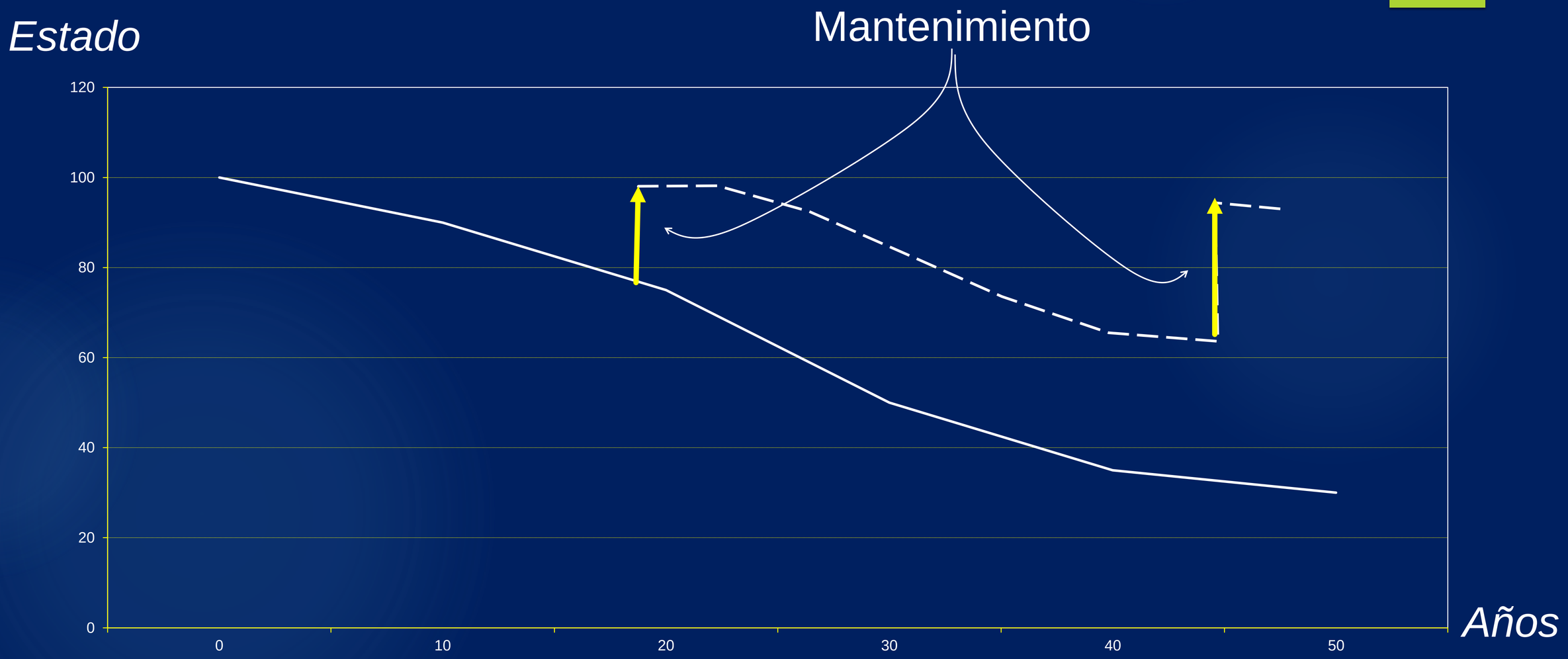
Por múltipiles causas




Puente angosto y en curva
Río San Antonio - Salta

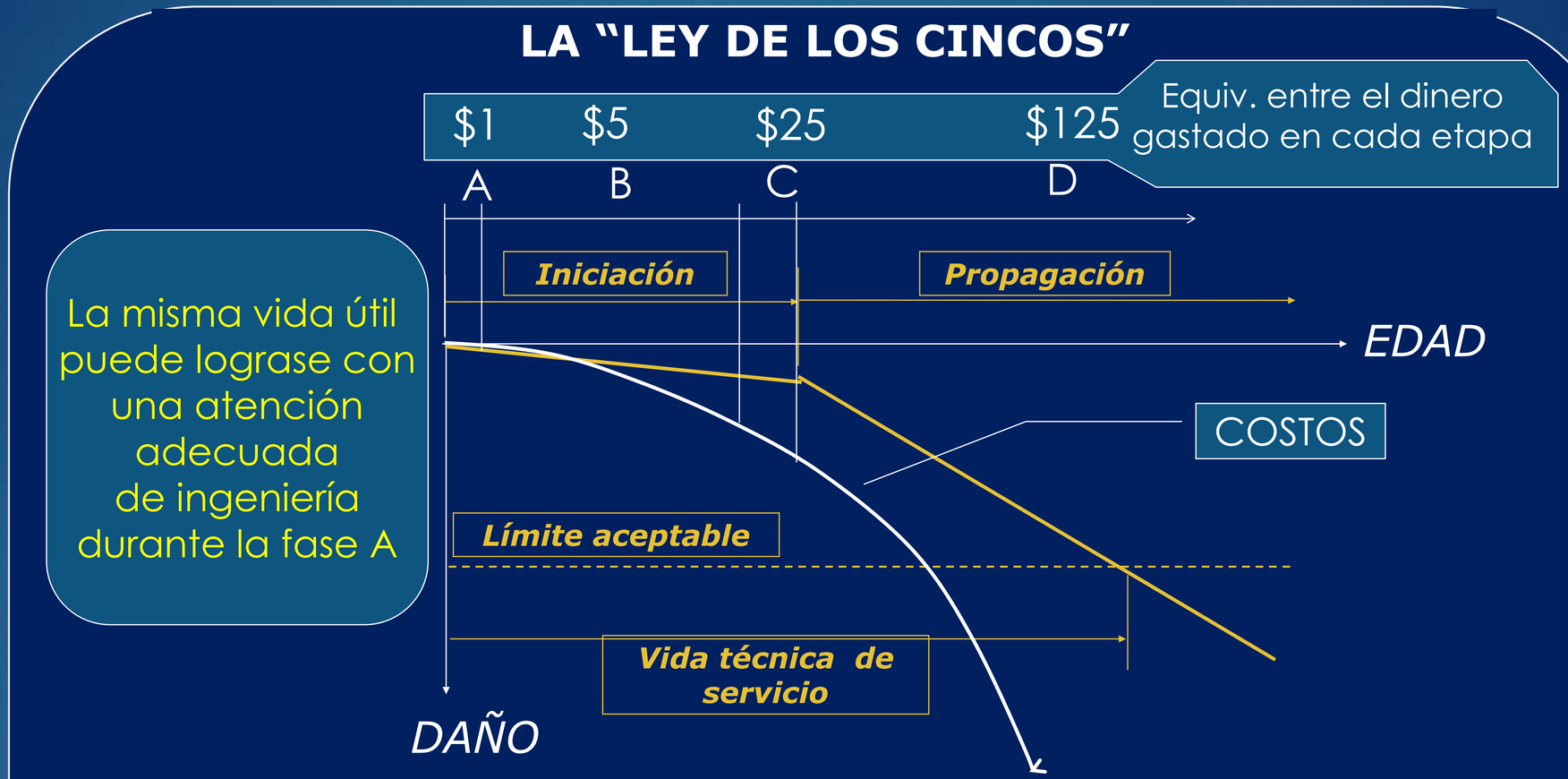

Baranda destruida en un puente angosto
Río San Antonio - Salta

El mantenimiento mejora su condición y aumenta la vida útil



Mantenimiento vs. Rehabilitación

Los costos de mantenimiento



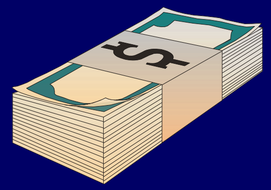
A: Fase de Construcción

B: Comienzo de la utilización, no ha comenzado la propagación del daño

C: Se inicia la propagación de los daños

D: Avanzado estado de propagación con daños extendidos

La red necesita ser administrada -



- MANTENIMIENTO
- REHABILITACION
- ACTUALIZACION
- REEMPLAZO



Interesados en una eficiente Gestión de Activos

GOBIERNOS

VIALIDADES

CONCESIONARIOS

ADMINISTRADORES

Origen de los Bridge Management Systems (BMS)

1967 – Colapso del Silver Bridge – Virginia – 46 muertos



1971 – Estándar Nacional de Inspección de Puentes (NBIS)

Política Nacional para garantizar la SEGURIDAD:

- Procedimientos de Inspección
- Frecuencia de las Inspecciones
- Calificación de Inspectores
- Informes de Inspección
- Bases de Datos



Los Puentes Fallan



Un puente derrumbado en Pittsburgh, Pensilvania (Estados Unidos), el 28 de enero de 2022 afp_tickers



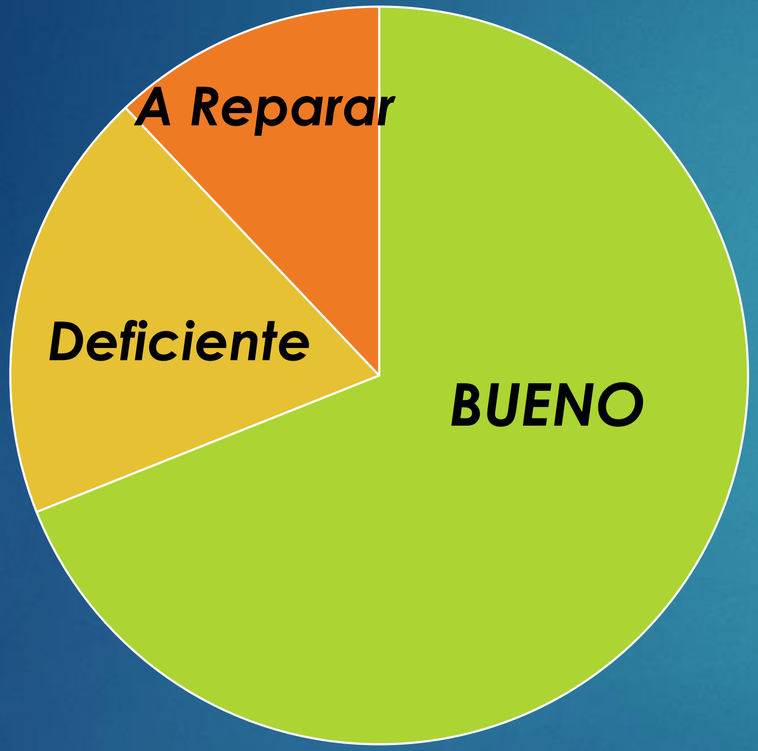
ESTADO DE LA RED DE PUENTES EN EEUU



Ing. Tomás A. del Carril

ESTADO DE LA RED DE PUENTES EN EEUU

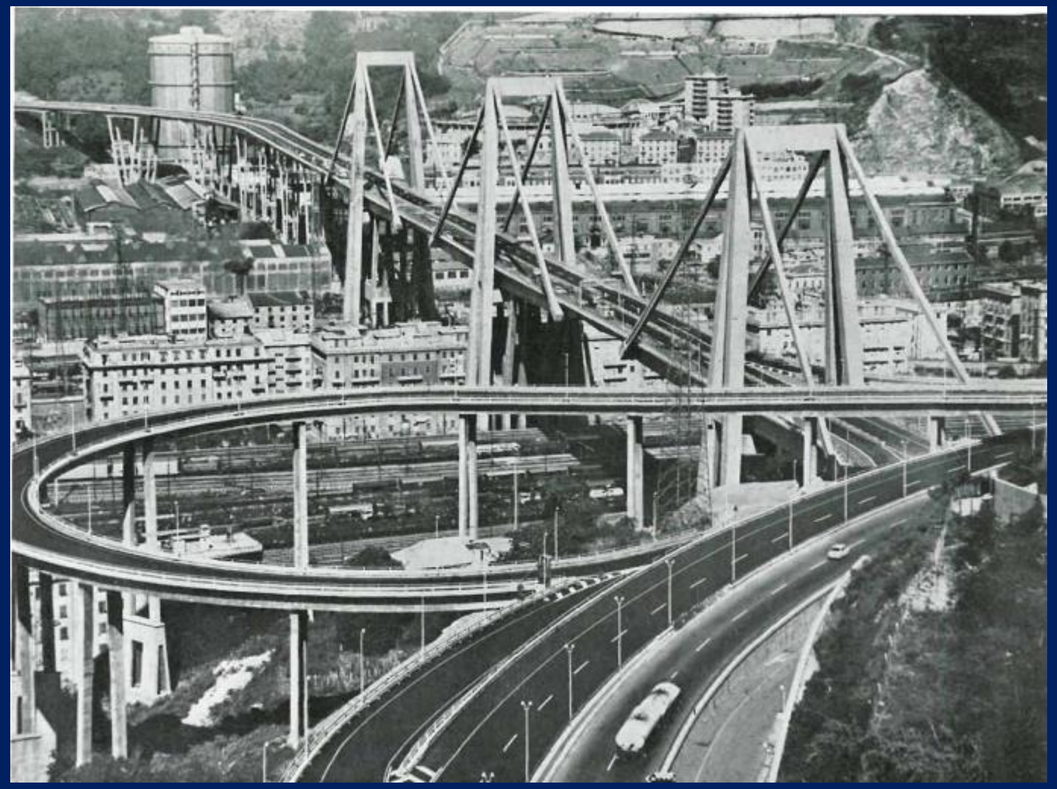
Año 2002



Año 2022



Preocupación en Europa – Viaducto Polcevera (Génova)







Puente Resistencia-Corrientes

Una estructura similar



Los Puentes Fallan – En Argentina y en la Región

Corrientes: advierten que otros cinco puentes están en riesgo sobre la ruta 12

MAYO 20, 2017 8:15 AM

Twitter

Facebook



Realizan ecosondaje para determinar erosión de los puentes en Piura

El puente Sánchez Cerro y Cuarto Puente no presentan erosión a pesar del incremento en el caudal del río Piura.

Redacción | 07 de marzo del 2017 - 9:34 AM



Los Puentes Fallan


Misiones (Arg.)


Panam. Sur (Perú)


Cochabamba (Bolivia)


Tucumán (Arg.)

La Falla de un puente y los caminos alternativos

Misiones - Argentina



Organizaciones Internacionales



Organizaciones Internacionales

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR BRIDGE MAINTENANCE AND SAFETY

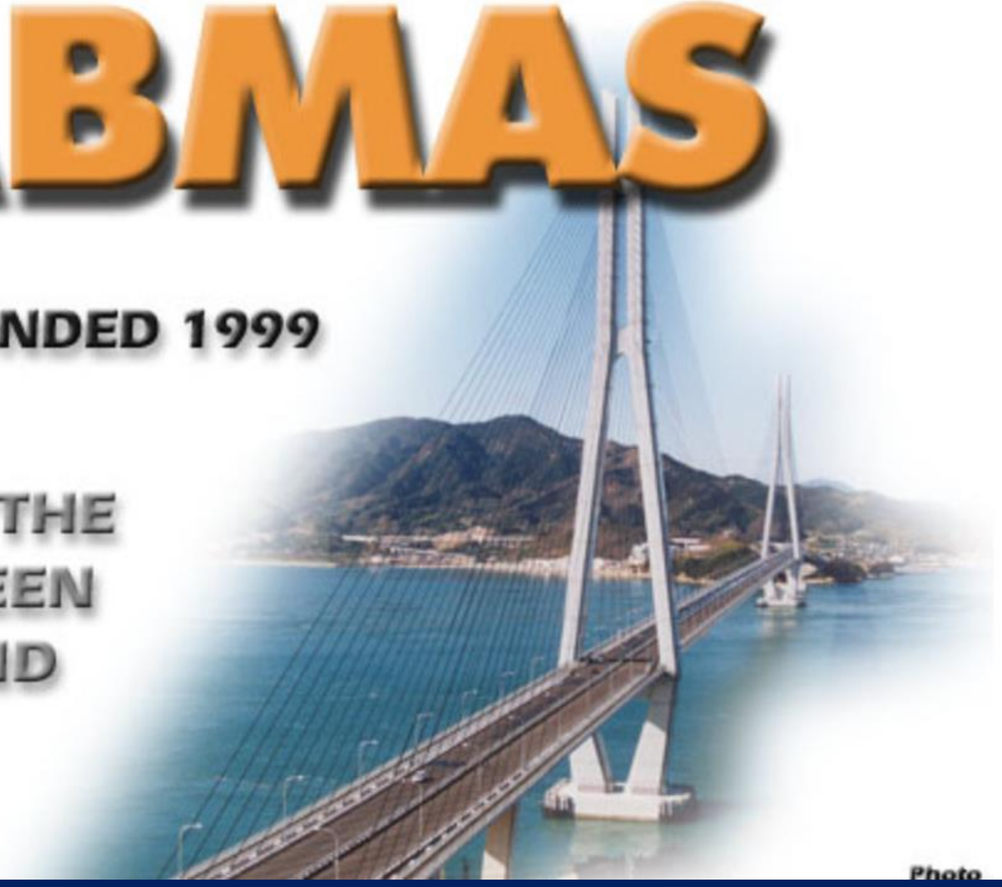
ENHANCED BY Google

- FIELD OF ACTIVITY
- MISSION
- OBJECTIVE
- MEMBERSHIP
- ACTIVITIES
- BROCHURE
- EXECUTIVE COMMITTEE
- ADDRESS LIST
- JOIN IABMAS
- TECHNICAL COMMITTEES
- IABMAS AWARDS, T.Y.LIN MEDAL & T.Y. LIN LECTURE
- NATIONAL GROUPS
- SPONSORED EVENTS

IABMAS

FOUNDED 1999

-BRIDGING THE GAP BETWEEN THEORY AND PRACTICE-



De la Gerencia de Puentes ⟶ A la Gestión de Activos

Objetivo → Crear Alternativas y Estrategias de Mantenimiento → Optimizar el Costo del Ciclo de Vida de los Puentes

Tecnología de la Información

IT

- Capacidad de los Algoritmos
- Mejora del Hardware
- Métodos de Ensayos No Destructivos
- Introducción de la Robótica
- Instrumentación con Sensores Inalámbricos
- Energía Solar
- Monitoreo Permanente
- Adquisición de datos
- Comunicación Instantánea en Línea
- Software de procesamiento de datos

Monitoreo de Estructuras de Puentes - Structural Health Monitoring

Elementos Principales de un Sistema de Monitoreo Estructural:

Especialistas

- Estructuras
- Tecnología de Materiales
- Patología Estructural
- Geotécnica
- Hidráulica
- Vial - Transporte

Información

- Redes
- Respuesta esperada y vida en servicio
- Condiciones locales del medio
- Umbrales de aceptación
- Algoritmos de Daños
- Evaluadores de vida útil

Tecnología y Equipos

- Dispositivos sensores
- Redes y Conectividad
- Adquisición y Archivo de datos
- Provisión de Energía en el sitio

Desarrollo

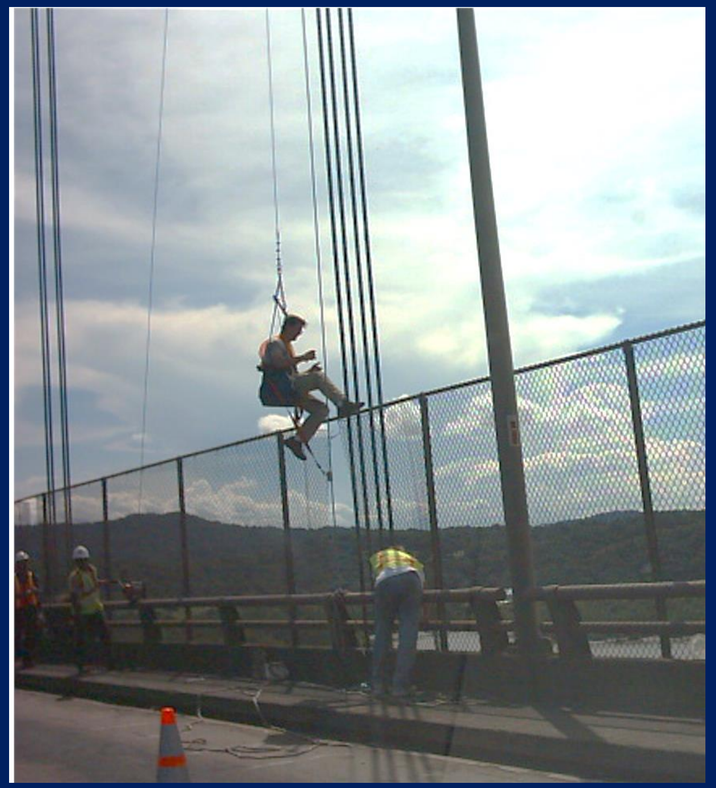
- Colaboración - Equipo
- Actualización y Validación
- Selección de Datos y Almacenamiento
- Pronósticos de confiabilidad y vida de servicio
- Nuevas Metodologías de diseño

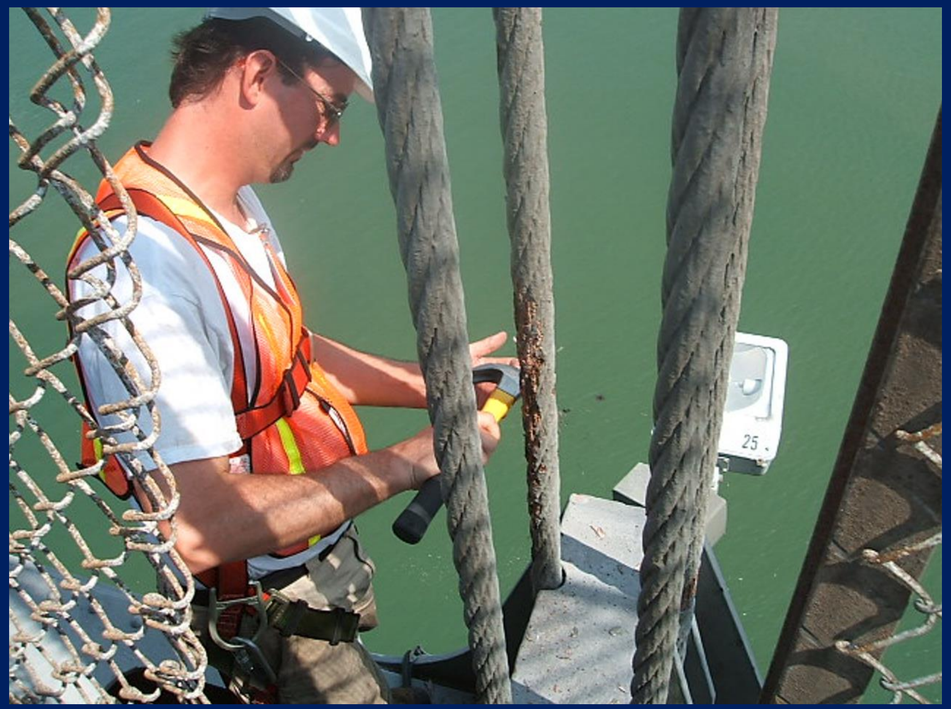
Inspección Tradicional de Cables

La Inspección Visual de Cables

- *Es peligrosa*
- *Es Costosa*
- *Hay que cortar el tránsito*
- *Se remueven revestimientos y se acelera el deterioro*



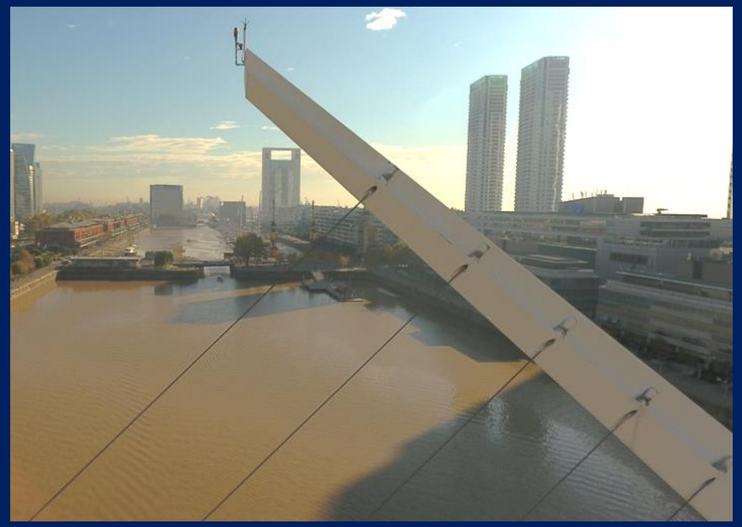




Actualmente: Inspección Visual de Cables con Drones



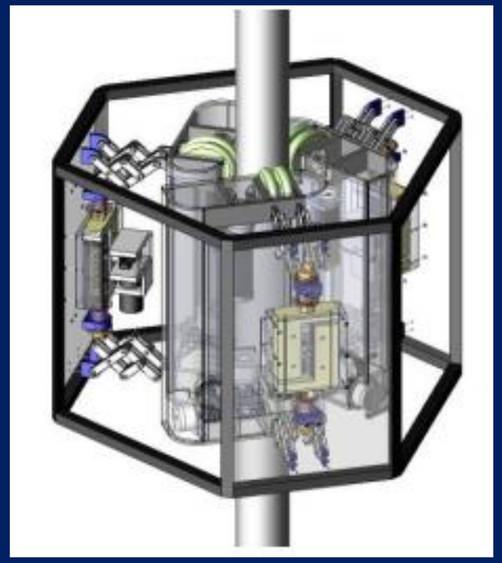








La Robótica en la Inspección de Puentes



Robot Inalámbrico para inspección de cables: no daña la protección y detecta alambres cortados en un tensor





Determinaciones Dinámicas de Tensiones en Cables

- Acelerómetros
- Equipos de Adquisición de Datos
- Software de Procesamiento



Figura 3 - Acelerómetro digital LABDIN Pi

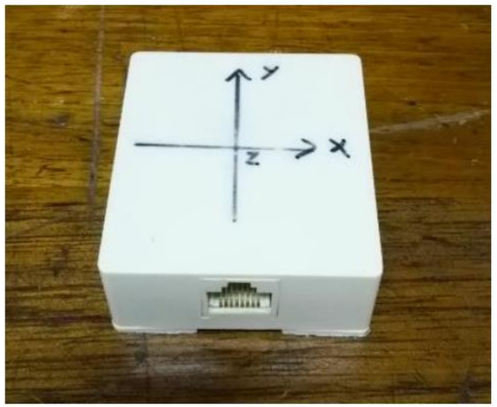
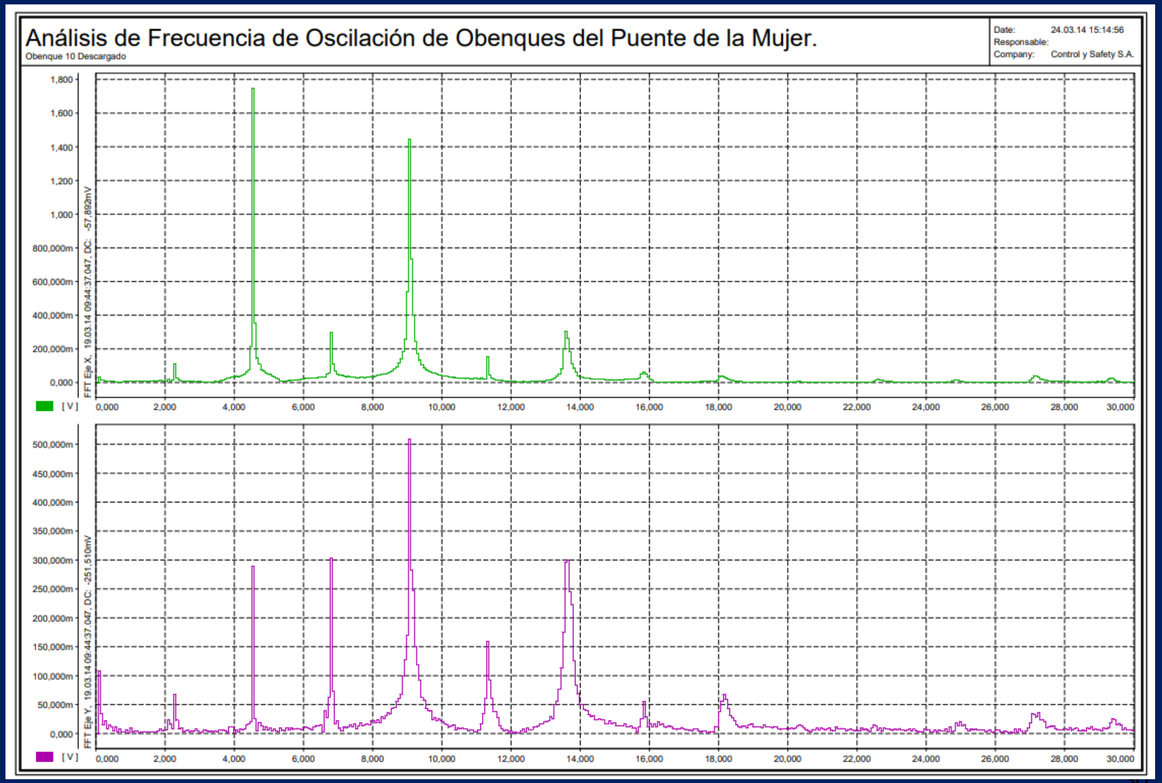


Figura 1. Equipo triaxial MEM



Figura 2. Placa de adquisición de datos LJU6 de 16 bits



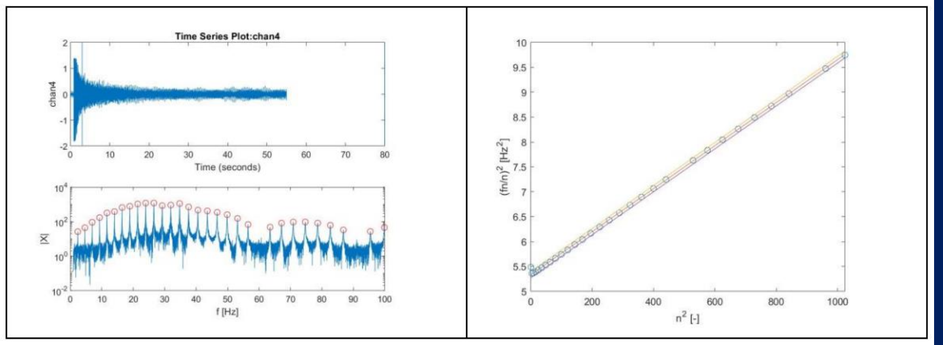


Figura 35. Cable 10

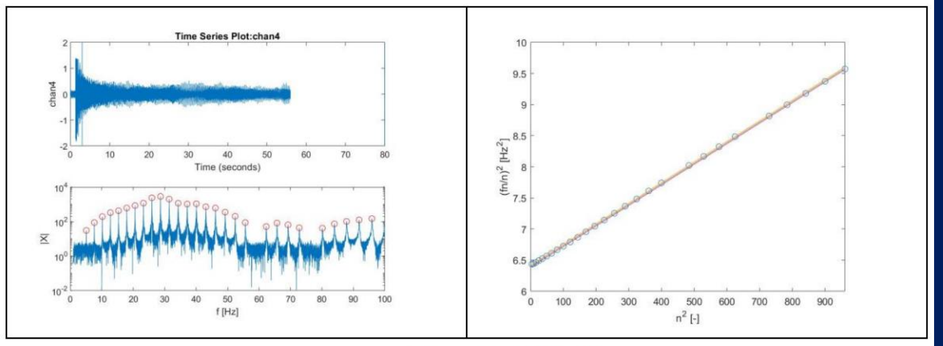
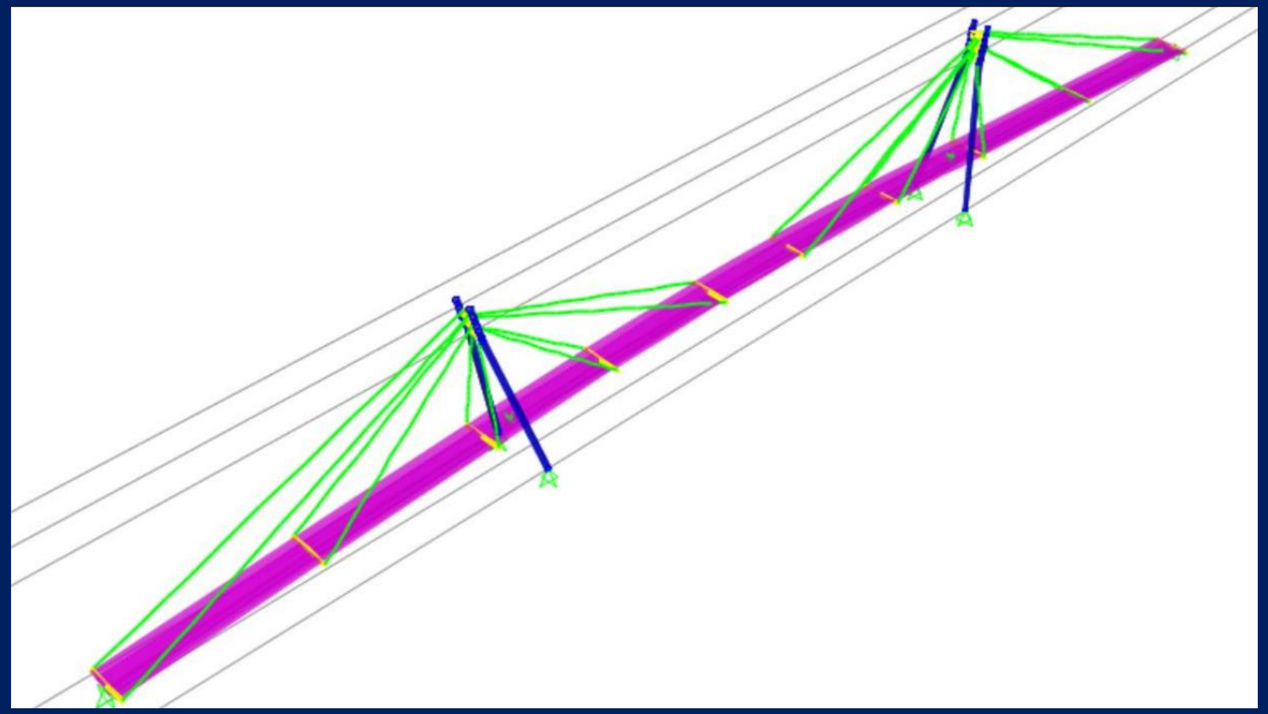


Figura 36. Cable 11

Monitoreo de Ensayo de Carga y Modos Naturales



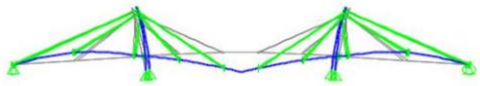


Figura 9 - Modo 1 (1.05Hz)

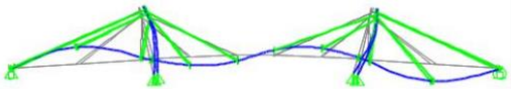


Figura 10 - Modo 2 (1.66Hz)

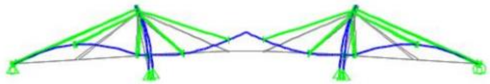


Figura 11 - Modo 3 (2.10Hz)



Figura 12 - Modo 4 (2.86Hz)

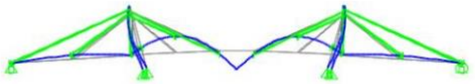


Figura 13 - Modo 5 (3.27Hz)





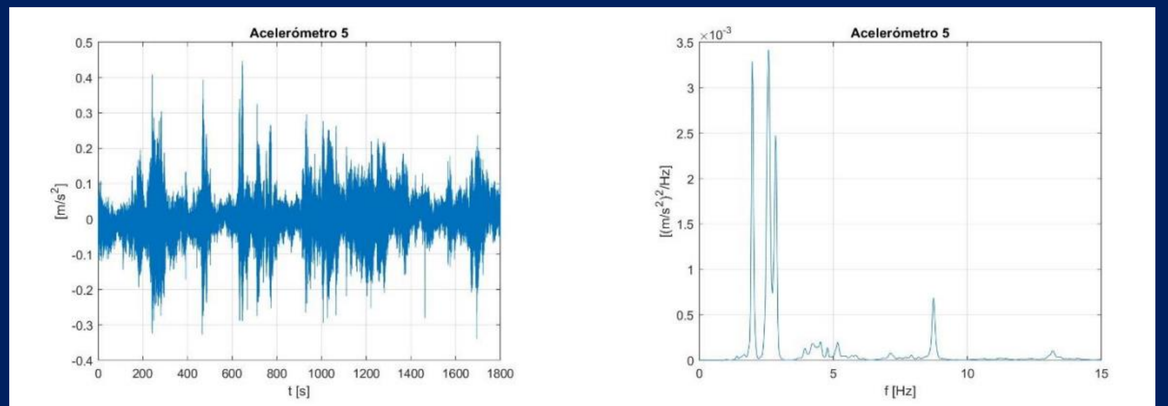


Figura 4 - Registro de aceleraciones en centro de tramo

Determinación de Tensiones en Cables

7. METODOLOGÍA

7.1. Vibración en cables

La determinación del esfuerzo de tracción T de un cable fijado en sus extremos, con masa por unidad de longitud μ, longitud libre L y rigidez a flexión EI, se efectúa por la aplicación de la expresión

$$T = 4L^2 \left(\frac{f_n}{n}\right)^2 \mu - \frac{EI}{L^2}(n\pi)^2$$

donde f_n es la frecuencia natural del n modo de vibración del cable. Aplicando un golpe en un punto cualquiera del cable, se genera una onda vibratoria que viaja por el cable hasta los extremos y vuelve a una velocidad de propagación c, tal que

$$c = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Un acelerómetro ubicado sobre el cable registra las aceleraciones. Luego, se computa la Transformada de Fourier para expresar la respuesta en el dominio de la frecuencia (Figura 5). Esta operación permite identificar el aporte de todas las frecuencias con las que el cable puede vibrar en forma estacionaria y libre de acciones externas. Es decir, las frecuencias naturales.

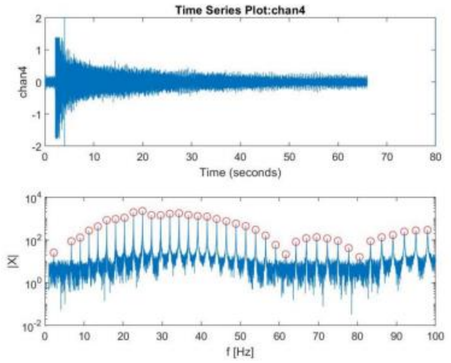


Figura 5. Respuesta de una cuerda a un impacto

La tensión del cable se puede determinar entonces a partir de la recta con ordenada n^2 y abscisa $(f_n/n)^2$. Para esta recta, la ordenada al origen, a, resulta

LABDIN
Laboratorio de Dinámica de Estructuras
Facultad de Ingeniería
Universidad de Buenos Aires
Av. Las Heras 2214 - CABA

Informe de Ensayo
2019-06-IE Rev2

$$a = \frac{T}{4\mu L^2}$$

De esta manera, la tensión en el cable ensayado puede obtenerse en forma fehaciente realizando un ajuste por cuadrados mínimos de las propiedades del cable, como se muestra en la Figura 6.

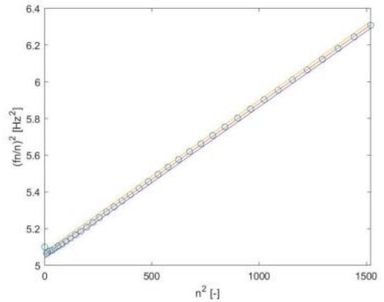


Figura 6. Ajuste por cuadrados mínimos de las propiedades del cable



Análisis del Estado de un Puente



Figura 2: Equipo Wireless LABDIN Pi

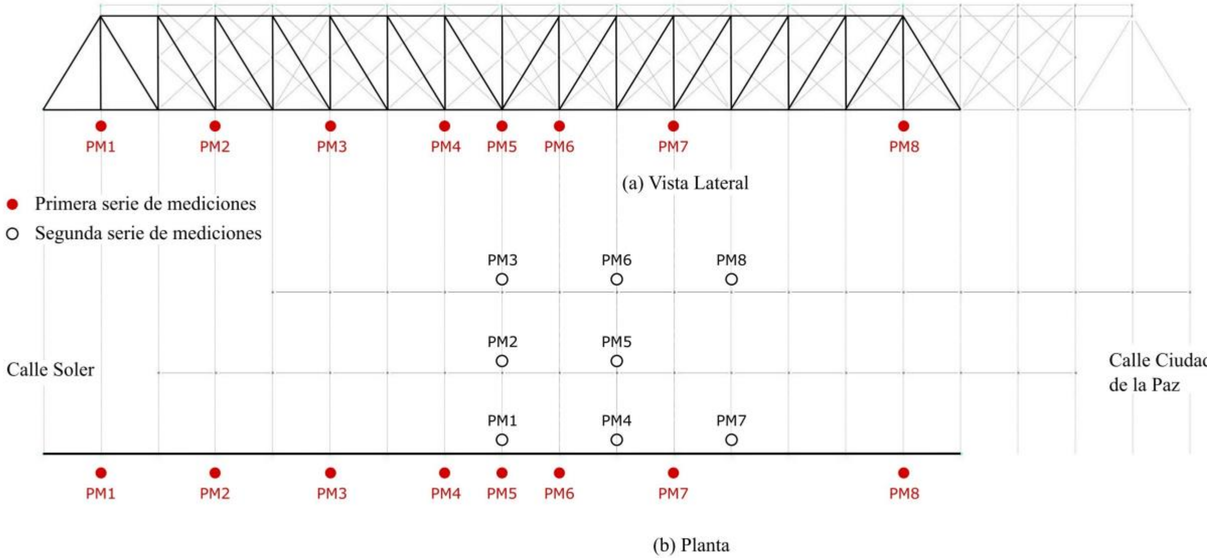


Figura 3: Posicionamiento de sensores

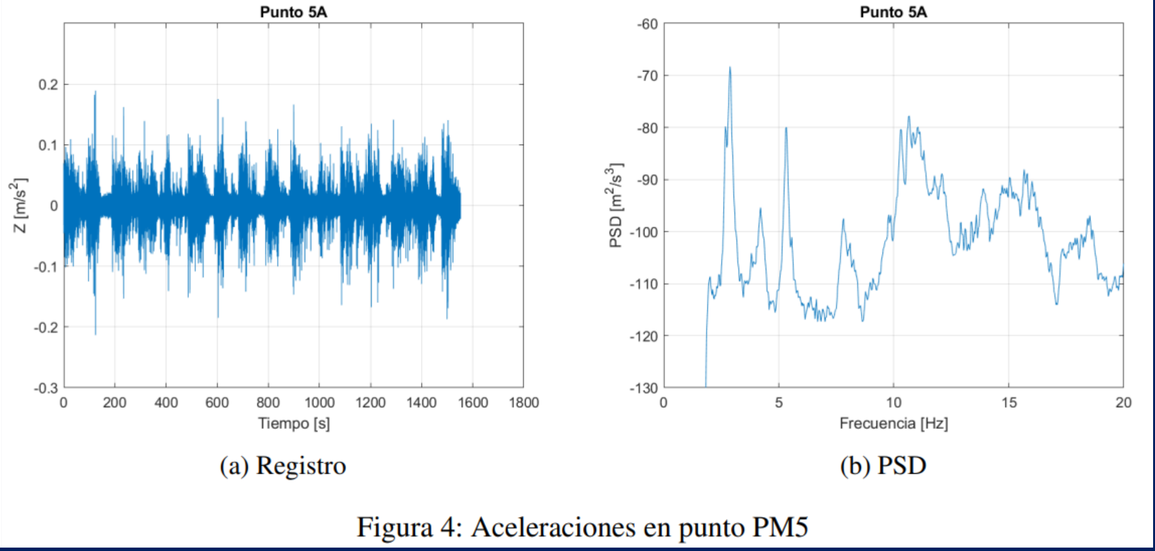


Figura 4: Aceleraciones en punto PM5

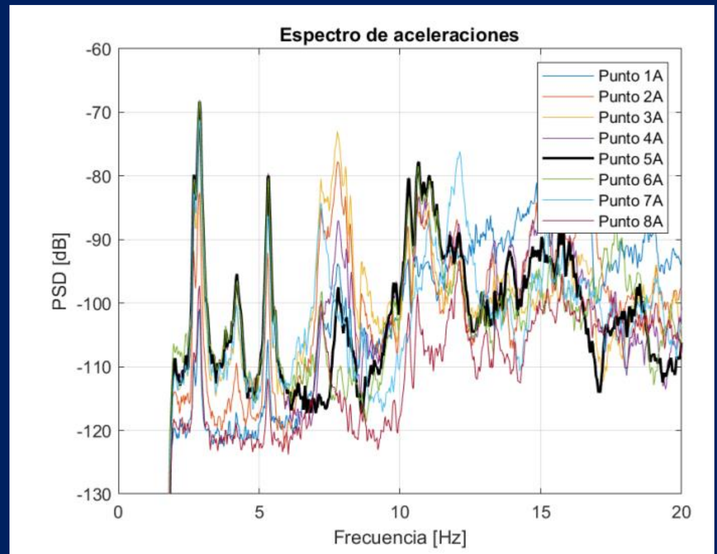


Figura 5: PSD de cada punto PM

Frecuencias y Modos Naturales de Vibración

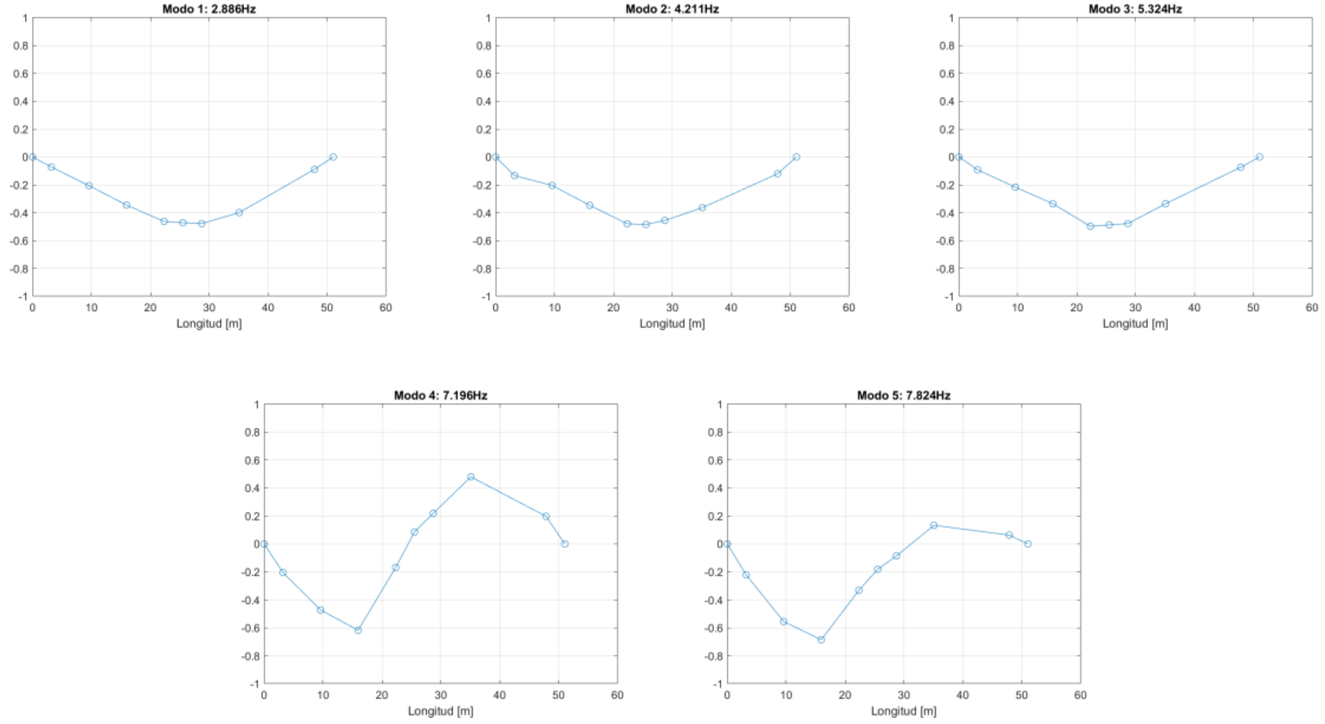
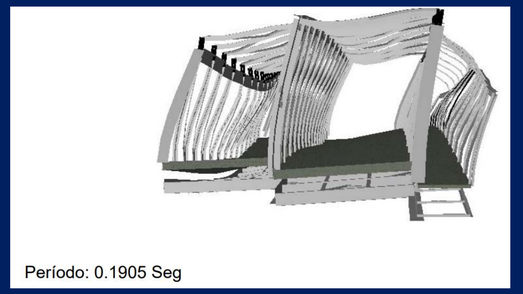


Figura 6: Modos de vibración: vista longitudinal



Período: 0.1905 Seg

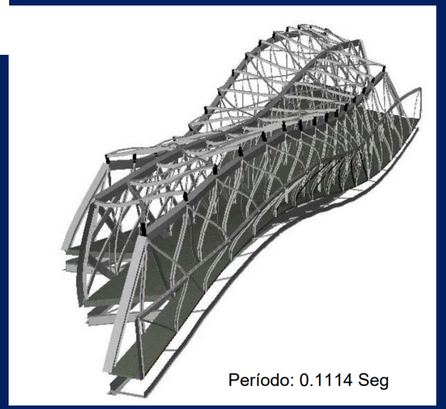


Período: 0.3406 Seg

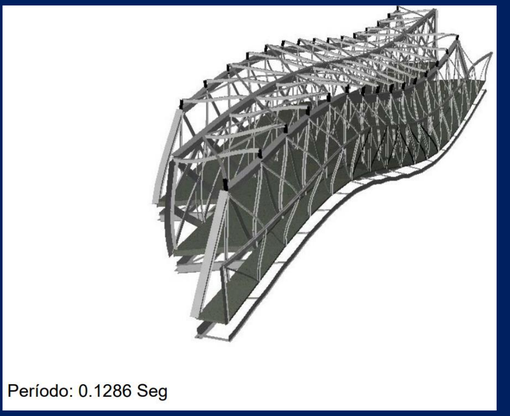


Período: 0.3022 Seg

Se Calibran los Modelos Electrónicos y se Validan los resultados



Período: 0.1114 Seg



Período: 0.1286 Seg

El Monitoreo Inalámbirco

Desafíos del monitoreo inalámbrico

- Bajo costo
- Suministro de potencia
- Ancho de banda
- Rangos de transmisión
- Seguridad

Requerimientos de hardware

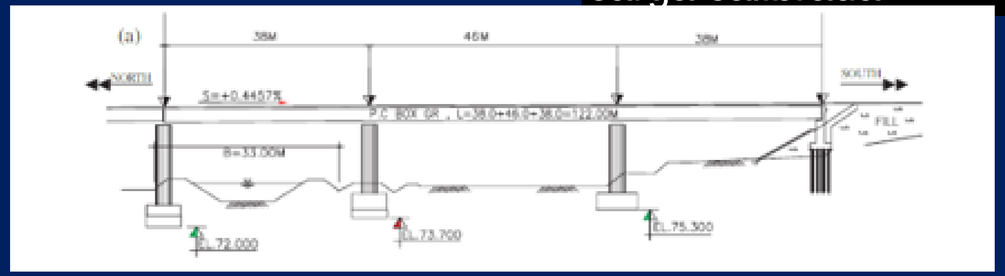
- Interfaz de sensores
- Núcleo Computacional
- Interfaz de Comunicación

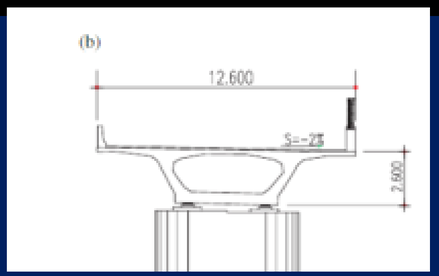


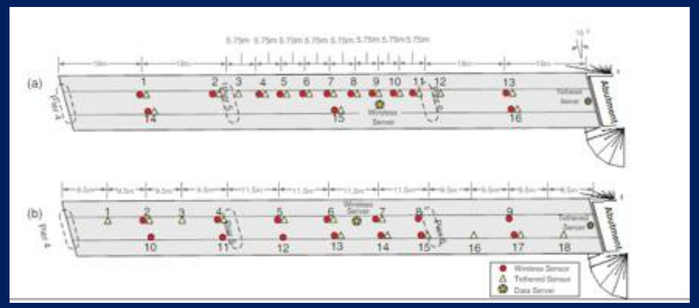
Geumdam Bridge . Corea



Registro de aceleraciones producidas por las vibraciones generadas por camiones con carga calibrada



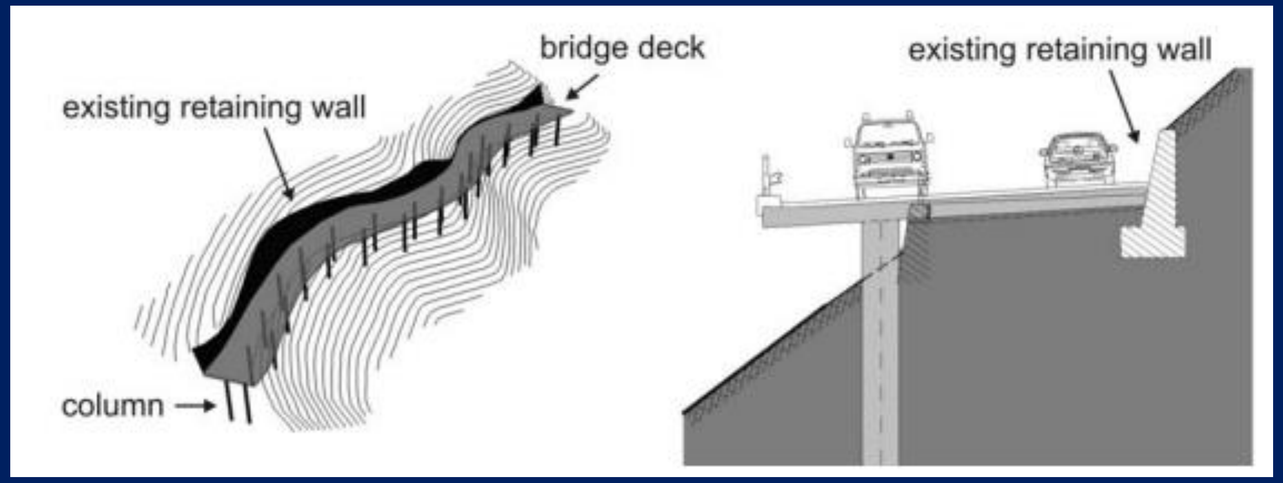




Se usa una red densa de sensores inalámbricos de alta resolución

Ejemplos Internacionales – Fibra Óptica

Monitoreo de las Deformaciones usando Sensores de Fibra Optica instalados durante la construcción



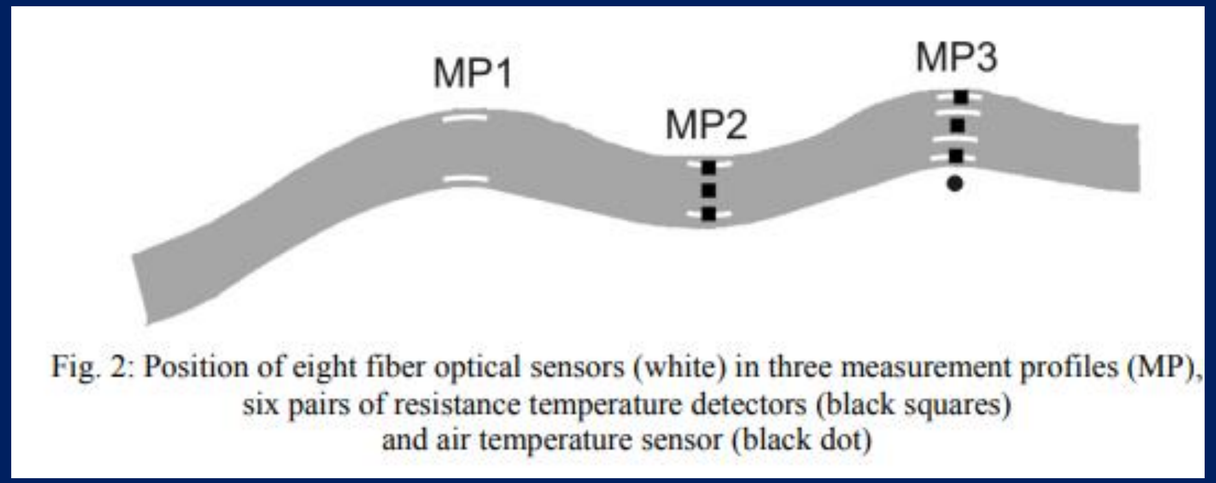
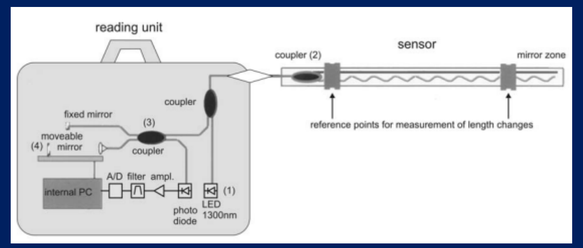


Fig. 2: Position of eight fiber optical sensors (white) in three measurement profiles (MP), six pairs of resistance temperature detectors (black squares) and air temperature sensor (black dot)



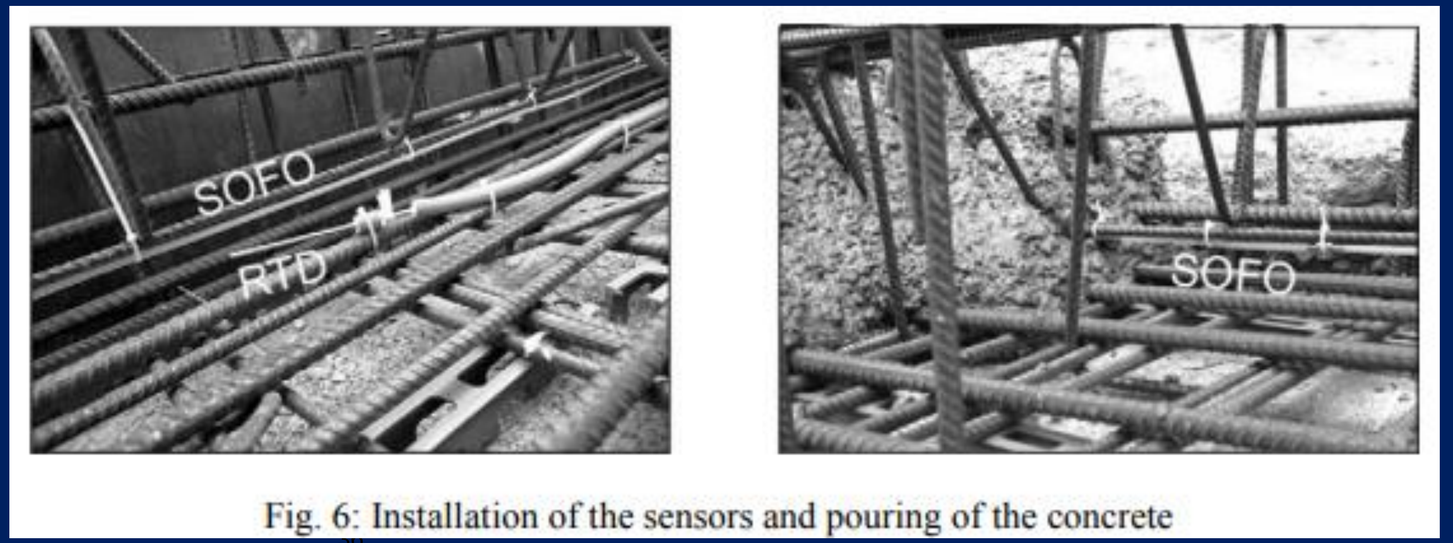
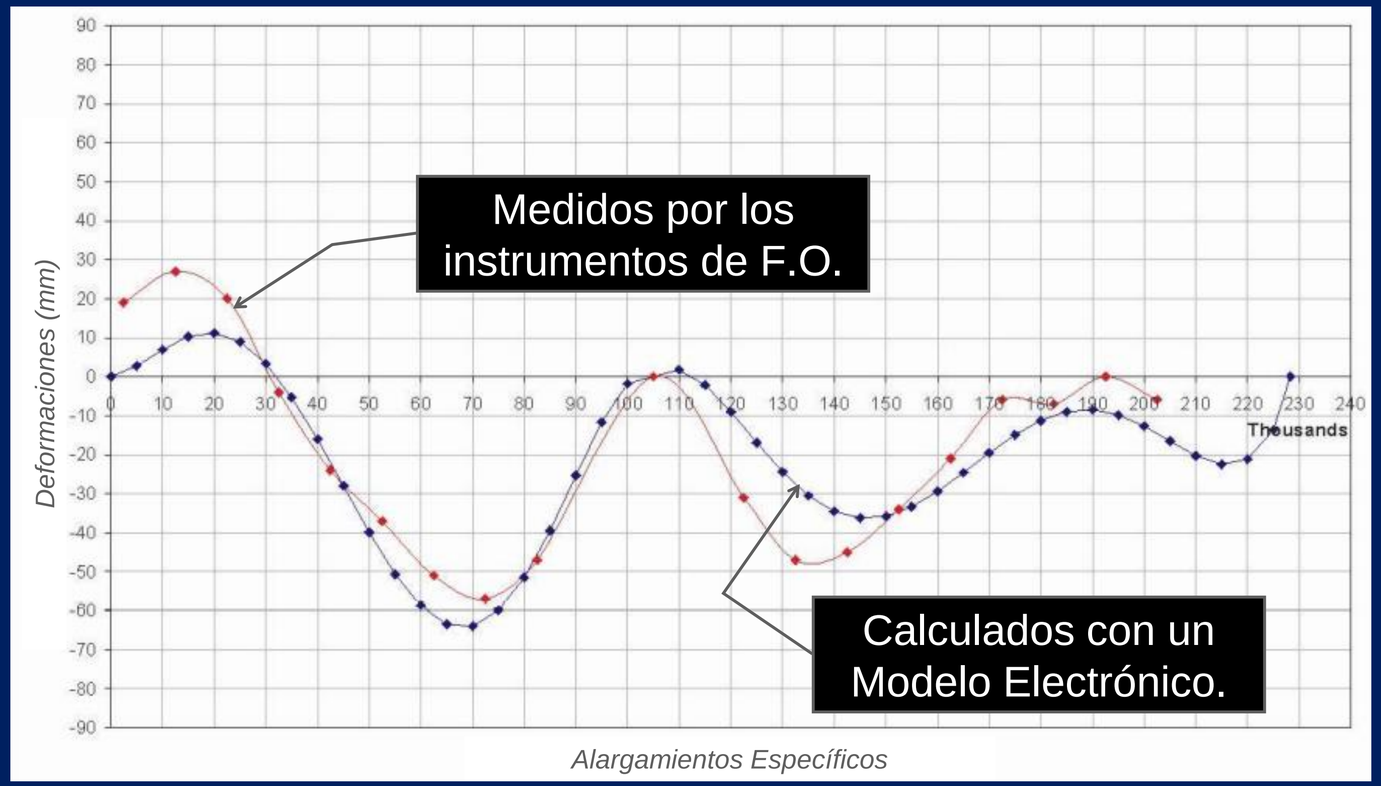


Fig. 6: Installation of the sensors and pouring of the concrete

Ejemplos Internacionales – Fibra Optica





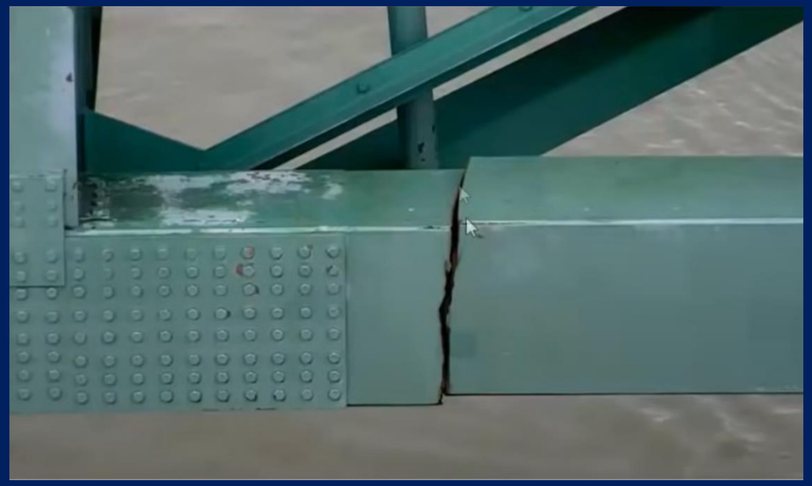
Monitoreo de deformaciones en el tiempo, del Puente del Puerto de Venecia, con Fibra óptica y comparación con los resultados del modelo electrónico

Ejemplos Internacionales – Puente Hernando de Soto (USA)

entre West Memphis, Arkansas, Memphis, Tennessee.



Rotura total del tensor inferior

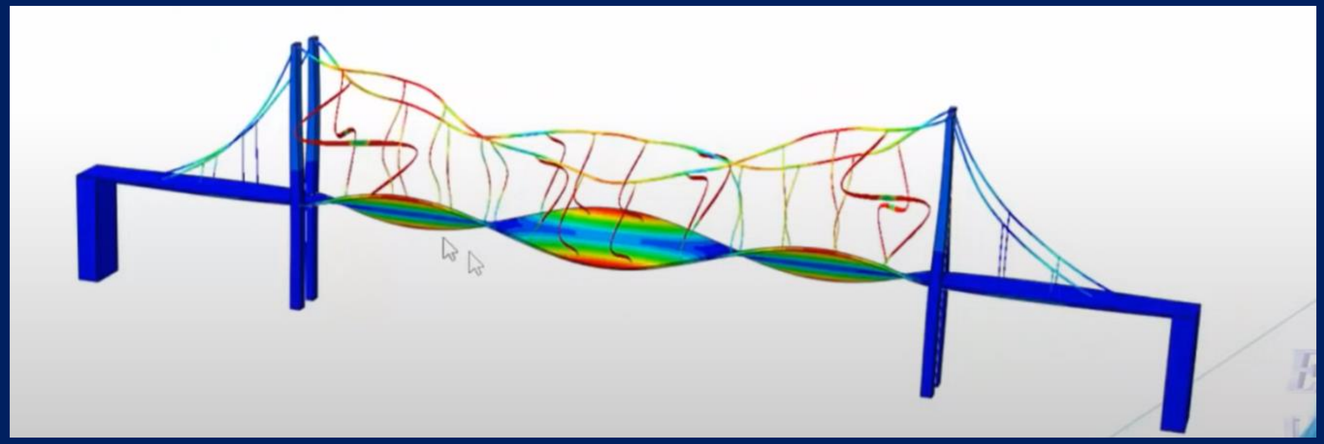




Ejemplos Internacionales – Puente Hernando de Soto (USA)



Medidor de distancia LASER que brinda valores al instante por red inalámbirca

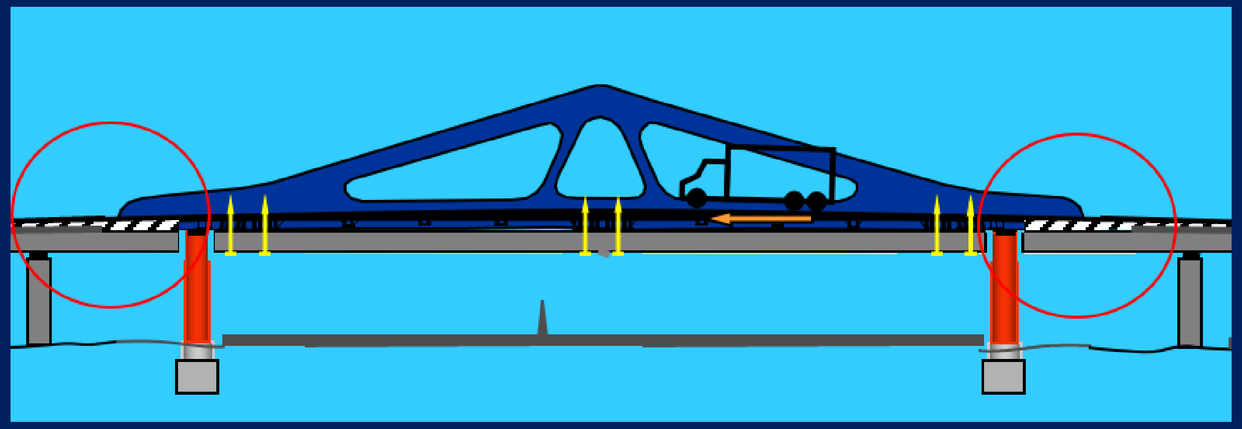


Análisis con Vibraciones

- *Se utilizan las vibraciones ambientales y se determinan las rigideces*
- *Se calibra el Modelo, lo que permite estudiar las respuestas a otras condiciones de carga*
- *Permite simular las reparaciones para optimizar las soluciones*
- *Se conocen las características de la estructura reparada*

Ejemplo Argentina – Verificación del estado de tensores





Onda ultrasónica axial

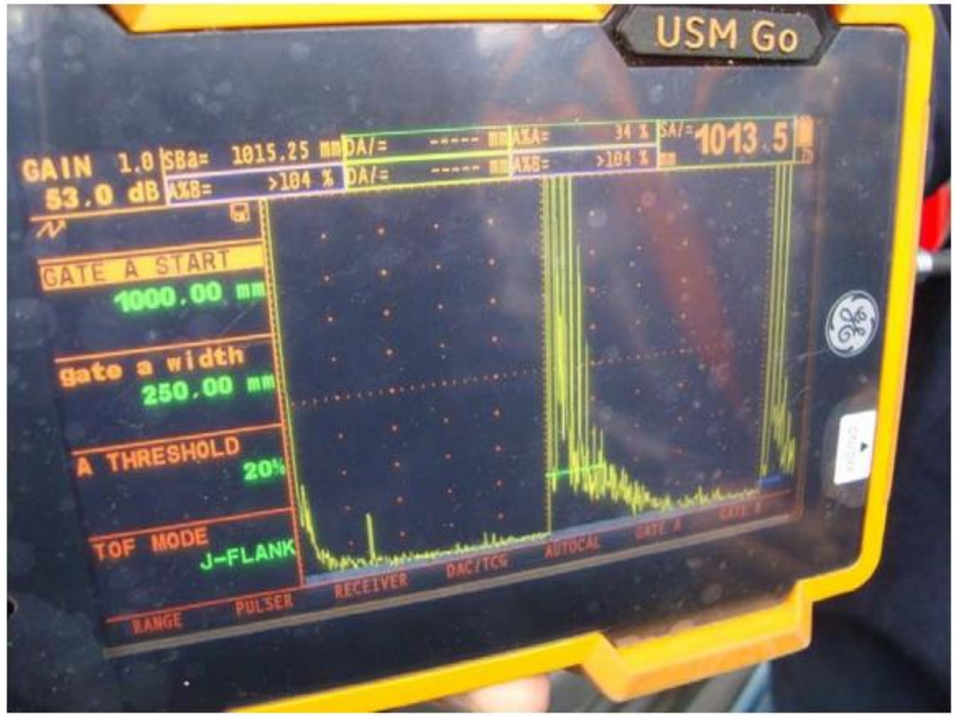
Con transductores especiales, el haz se expande y permite detectar un daño superficial por corrosión



Aplicación del fluido acoplante



Colocación del transductor

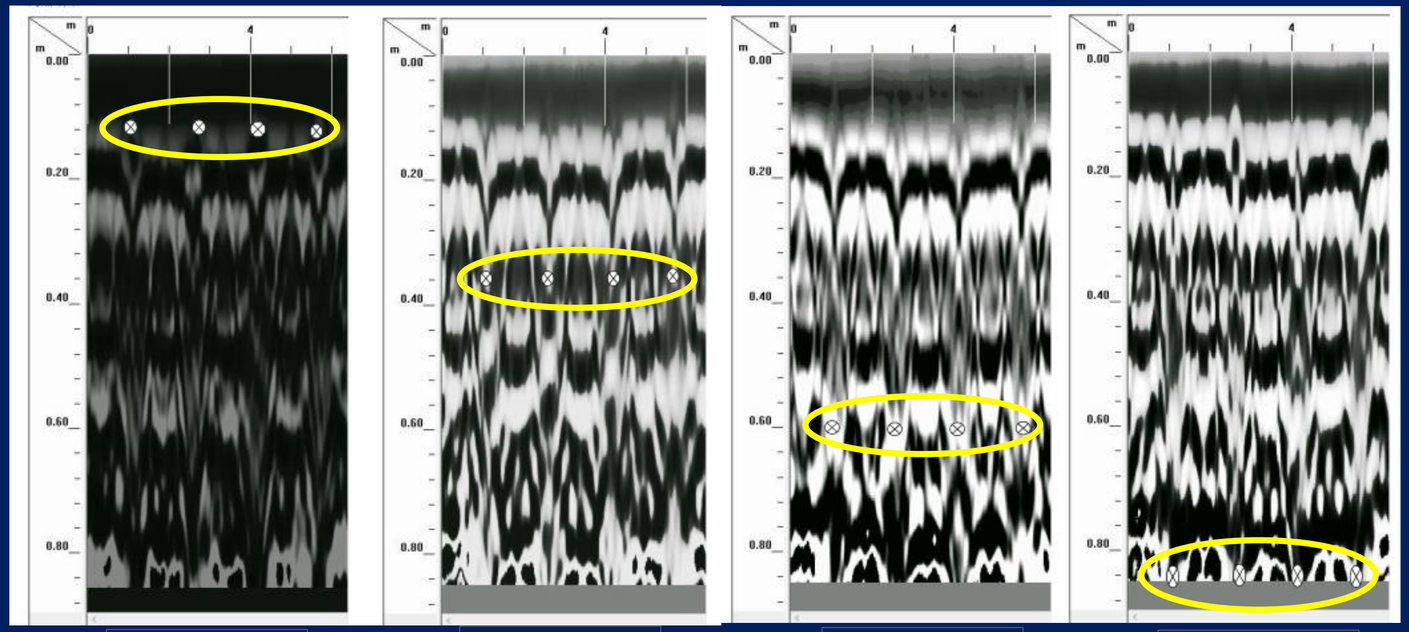


Auscultación con Georradar





Se detecta la posición y cantidad
de cables de pretensado



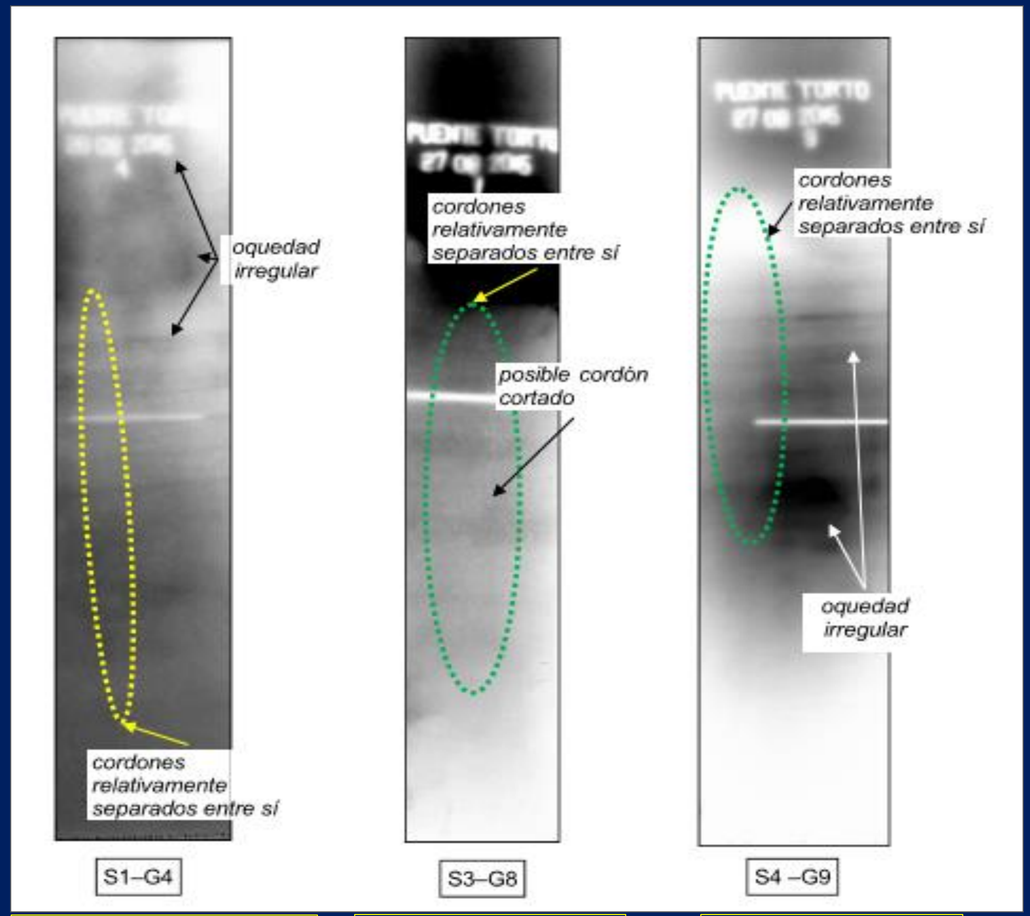
Gammagrafía del hormigón

Se detectan oquedades, cables cortados total o parcialmente, etc.

Oquedad irregular

Cables separados

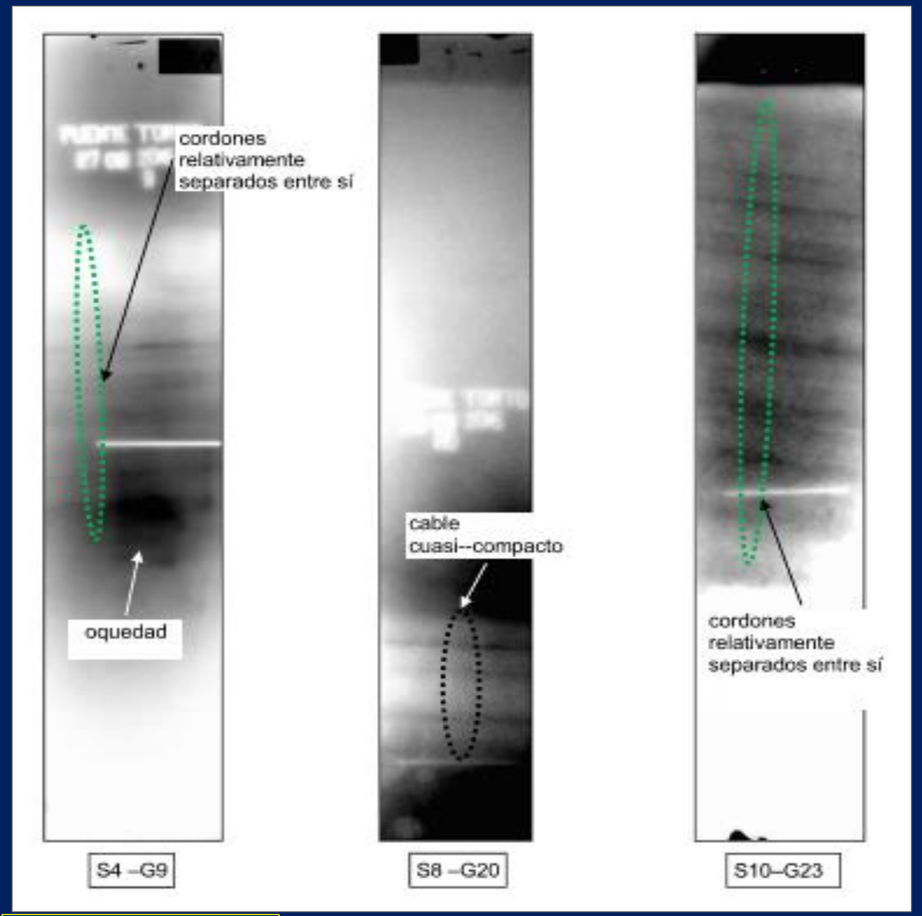
Cables separados



Cables separados

Posible cordón cortado

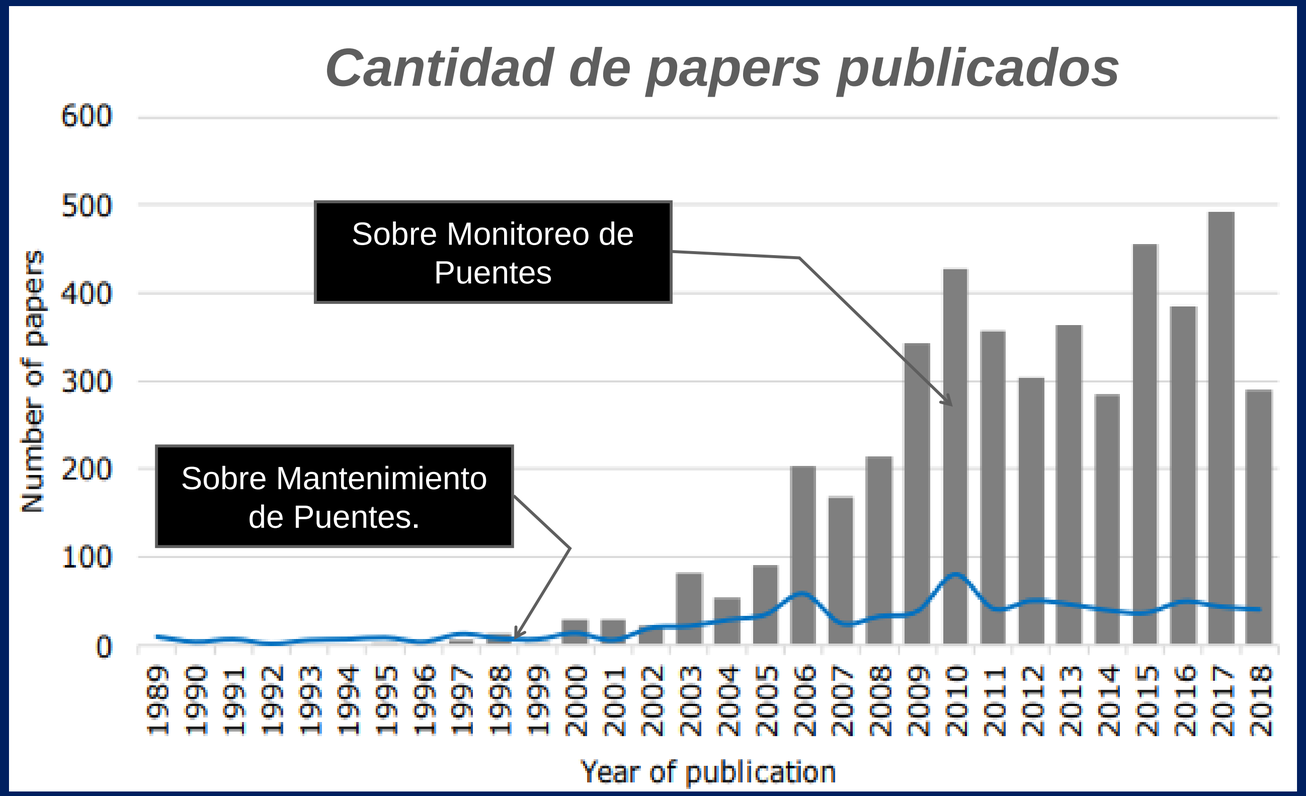
Oquedad irregular



Oquedad

Cordón cuasi compacto

Tendencia Mundial del Structural Health Monitoring



Publicación de la Comisión Europea

European Commission

JRC SCIENCE FOR POLICY REPORT

Research and innovation in bridge maintenance, inspection and monitoring

A European perspective based on the Transport Research and Innovation Monitoring and Information System (TRIMIS)

Gkoumas, K., Marques Dos Santos, F.L., van Balen, M., Tsakalidis, A., Ortega Hortelano, A., Grosso, M., Haq, G., Pekár, F.

2019

9. Conclusiones y futuros desarrollos



La tecnología de los DRONES busca desarrollar la capacidad de determinar completamente el campo de desplazamientos en puentes bajo condiciones reales de carga

Los avances en los sistemas de video llevan a obtener mediciones útiles para el monitoreo de los puentes. Se estudia la combinación de estos métodos con las determinaciones de otros sensores



IMÁGENES SATELITALES:
Avances en la interferometría diferencial podrán usarse para estimar desplazamientos y distorsiones angulares que se asocian a posibles daños estructurales



COLABORACION COLECTIVA:
Sensores instalados en el interior de los vehículos que cruzan un puente, pueden usarse para hacer un monitoreo dinámico de las condiciones de la estructura

Gracias por su Atención