



<b>PRC</b> Unidad Docente de Procedimientos de Construcción	<b>GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS</b>  Grado en Ingeniería Civil
<b><i>Mantenimiento de puentes</i></b>  <b>VÍCTOR YEPES PIQUERAS</b> Catedrático de Universidad @vyepesp	
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Antecedentes históricos	
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Origen de los “Sistemas de Gestión de Puentes” (SGP)</li><li>▪ Colapso del “Silver Bridge” en Ohio (USA) el 15 de diciembre de 1967<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Más de 40 víctimas mortales</li><li>✓ Fisura de corrosión bajo tensión</li><li>✓ Cargas superiores a las de diseño</li></ul></li></ul>	
	
Mantenimiento de puentes	Prof. Víctor Yepes Piqueras

### Antecedentes históricos



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

### Antecedentes históricos

- Creación del “*National Bridge Inspection Program*” (NBIP) junto con el “*National Bridge Inventory*”
- En Reino Unido, a principios de los sesenta
- En Francia en 1978
- En España, primer inventario de puentes de carretera en 1985
- Comisión de expertos en Europa BRIME (*Bridge Management in Europe*): Francia, Alemania, Noruega, Eslovenia, España y Reino Unido

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

### Patrimonio actual en España

- En España hay aproximadamente 18000 km de vía de ferrocarril convencional
  - ✓ 1250 túneles, que suman 500 km
  - ✓ 6500 estructuras, que suman 130 km
- Alta Velocidad en España, 4000 km de vía
  - ✓ 150 viaductos de más de 50 m, unos 30 km
  - ✓ 400 estructuras adicionales, unos 10 km



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

### Patrimonio actual en España

- La red de carreteras (2010) tiene 165802 km
  - ✓ 25733 km gestionados por la Administración Central (51,3% del tráfico)
  - ✓ 71464 km gestionados por la Comunidades Autónomas
  - ✓ 68606 km gestionados por las Diputaciones
- Estructuras en la Red de Carreteras del Estado
  - ✓ 17500 puentes, con 1075 km
  - ✓ 18500 obras de paso (menos de 10 m)



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

### Patrimonio actual en España

- Valor patrimonial de las estructuras:
  - ✓ 12000 millones de euros (Red de Carreteras del Estado y de ADIF)



Vista del puente derruido en la carretera M-527 desde el río Guadarrama. / ULY MARTÍN

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

### Daños en puentes



- (a) Fallo de aleta por socavación
- (b) Grietas por falta de capacidad de carga de las aletas (asentamiento)
- (c) Asentamiento en terraplén de acceso

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

### Daños en puentes



### Problemas de juntas

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

### Daños en puentes



### Crecidas fluviales. Socavación

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras



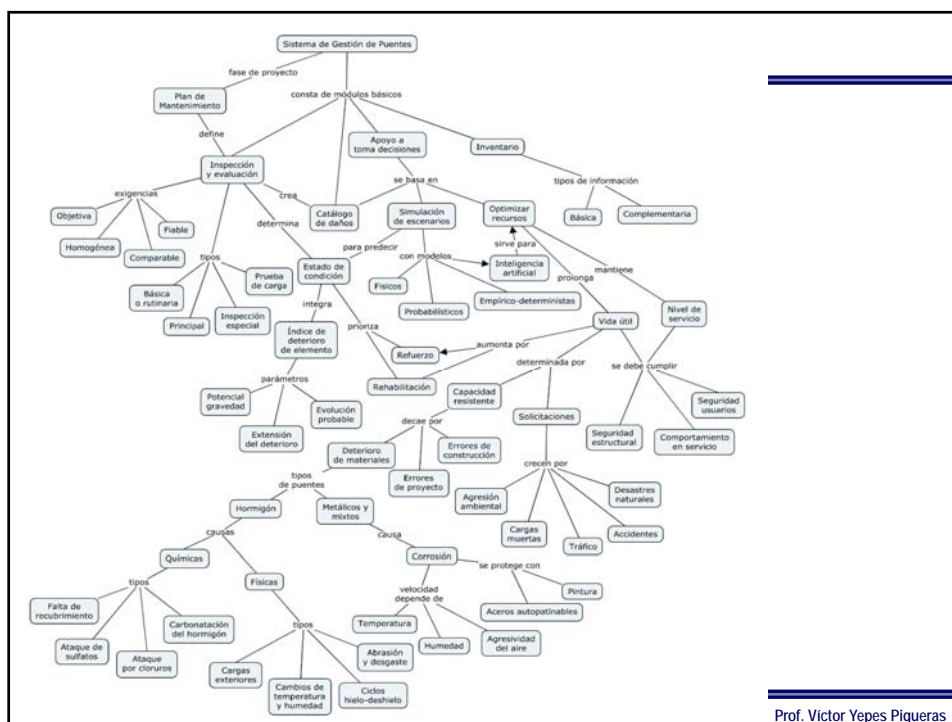
## Daños en puentes



## Terremotos y tsunamis

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras



Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Sistema de Gestión de Puentes

**▪ Gestión de puentes:**

- ✓ Conjunto de acciones a llevar a cabo para garantizar la seguridad y calidad de servicio de las estructuras gestionadas y optimizar el uso de recursos disponibles
- ❖ Preferible en fase de diseño, proyecto y ejecución y no sólo en fase de servicio



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Sistema de Gestión de Puentes

**▪ Principales objetivos de un SGP:**

- ✓ Garantizar la seguridad de los usuarios
- ✓ Entregar un nivel de servicio adecuado
- ✓ Asegurar la conservación de los activos a largo plazo a un coste mínimo



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Sistema de Gestión de Puentes

**▪ Vida útil de la estructura (o periodo de servicio):**

- ✓ Periodo de tiempo, a partir de la fecha en la que finaliza su ejecución, durante el que debe mantenerse el cumplimiento de (prestaciones por encima de umbrales de aceptación):
  - ❖ Las exigencias de seguridad estructural
  - ❖ Comportamiento en servicio y funcionalidad
  - ❖ Seguridad de los usuarios
- ✓ Durante ese tiempo, conservación normal sin rehabilitación

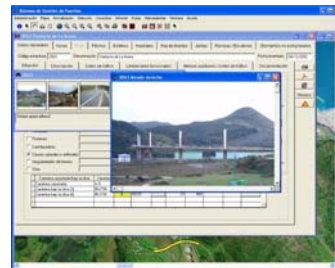
Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Sistema de Gestión de Puentes

**▪ Módulos básicos de un SGP:**

- ✓ Inventario
- ✓ Inspección y evaluación
- ✓ Apoyo a las decisiones y la gestión  
Matrices de decisión
- ✓ Catálogo de daños



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras



## Sistema de Gestión de Puentes

## ▪ ¿Para qué sirve un SGP?

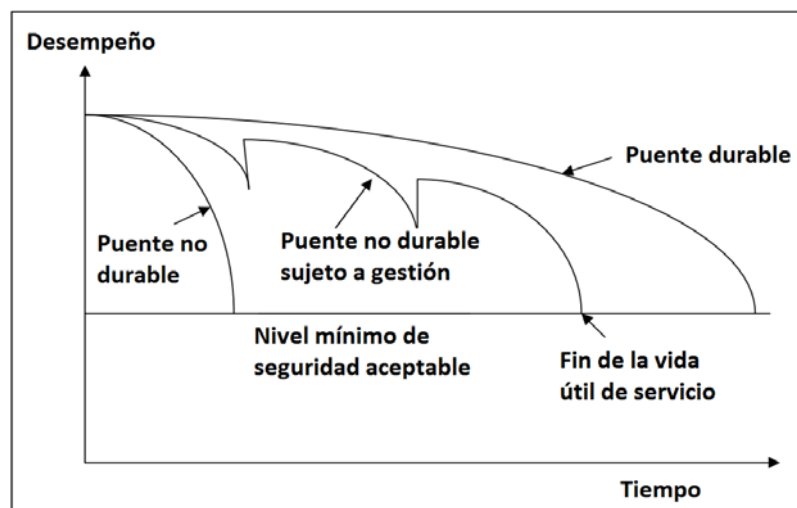
## ✓ Ayuda al gestor a tomar decisiones

- ❖ Basándose en información recopilada durante inspecciones y determinación de la condición de los puentes
- ❖ Simulando escenarios de acción para predecir el nivel de conservación futuro
- ❖ Optimizar los recursos económicos para prolongar la vida útil y mantengan un nivel de servicio adecuado

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Sistema de Gestión de Puentes



Desempeño de un puente en su ciclo de vida (Woodward, 2001)

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Sistema de Gestión de Puentes

### ▪ Capacidad resistente (R):

- ✓Decae como consecuencia del deterioro de los materiales
- ✓Degradación lenta al principio y se acelera más tarde

### ▪ Solicitaciones S:

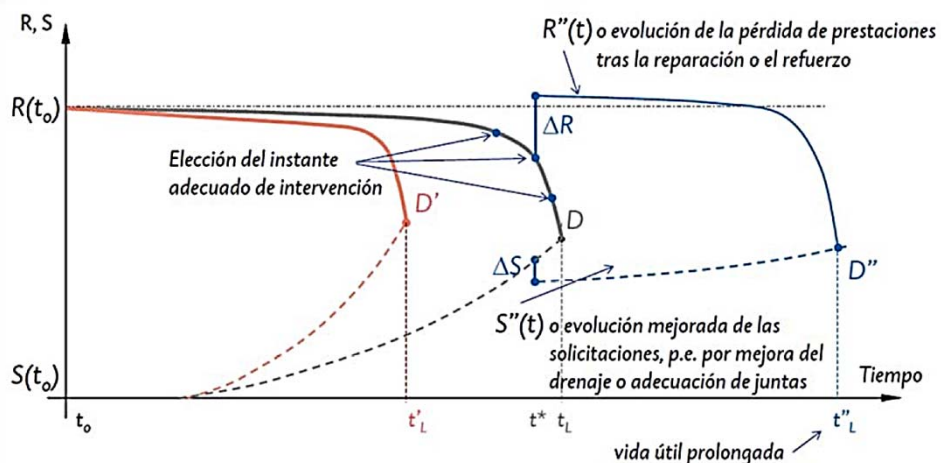
- ✓Crecen porque los tráfico, cargas muertas, etc. han ido aumentando y la agresión ambiental también

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Sistema de Gestión de Puentes

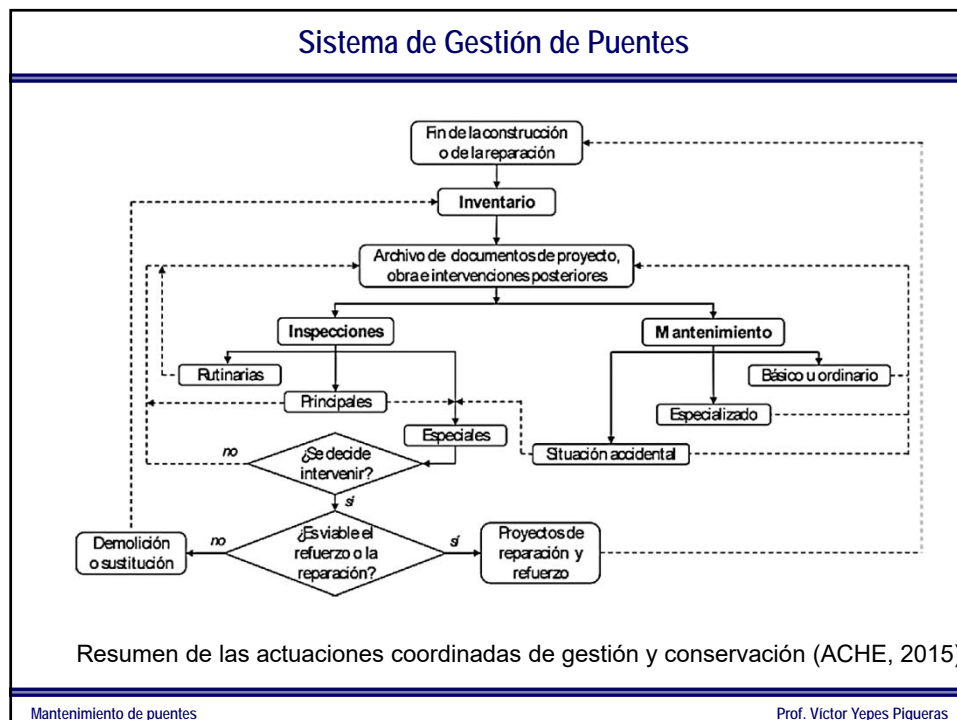
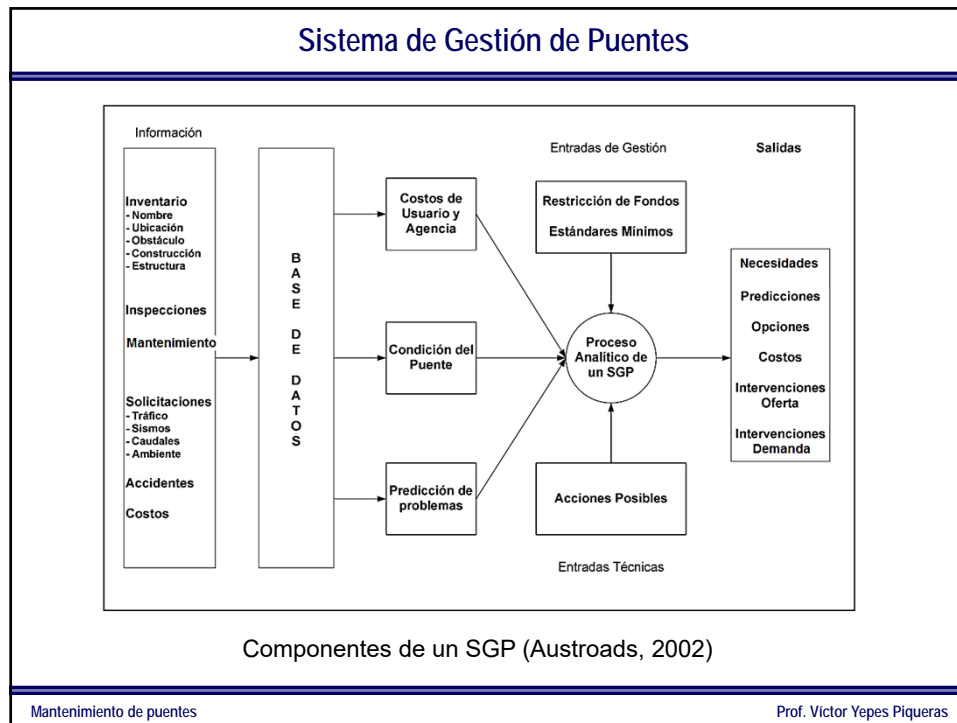
Evolución de las prestaciones R y las solicitaciones S con el tiempo



Concepto de vida útil y su gestión (León González, 2008)

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras



## Sistema de Gestión de Puentes

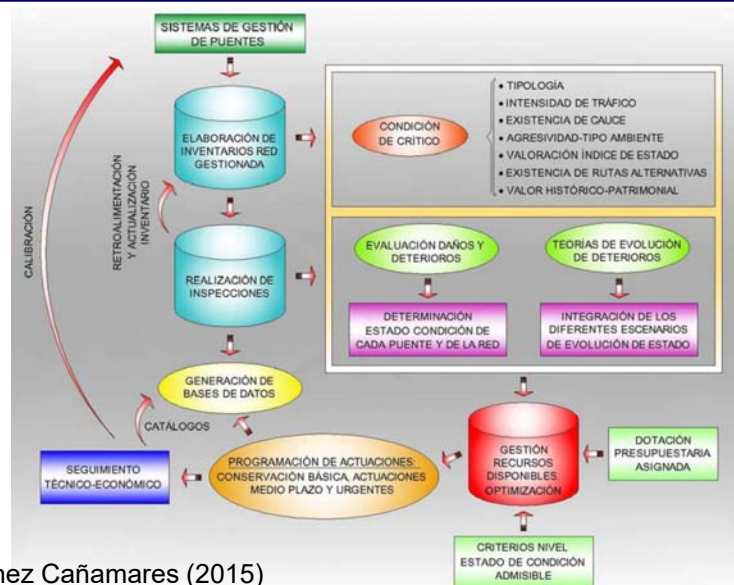
## ■ Etapas en los SGP:

1. Definición de los elementos estándar en un puente
2. Inventario y creación de una base de datos de puentes y elementos existentes
3. Identificación mediante inspección de las anomalías y desarrollo de modelos para predecir el futuro deterioro
4. Desarrollo de acciones de conservación y mantenimiento para cada conjunto de elementos y cada una de las tipologías de anomalía detectadas
5. Desarrollo de modelos de optimización y toma de decisiones

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

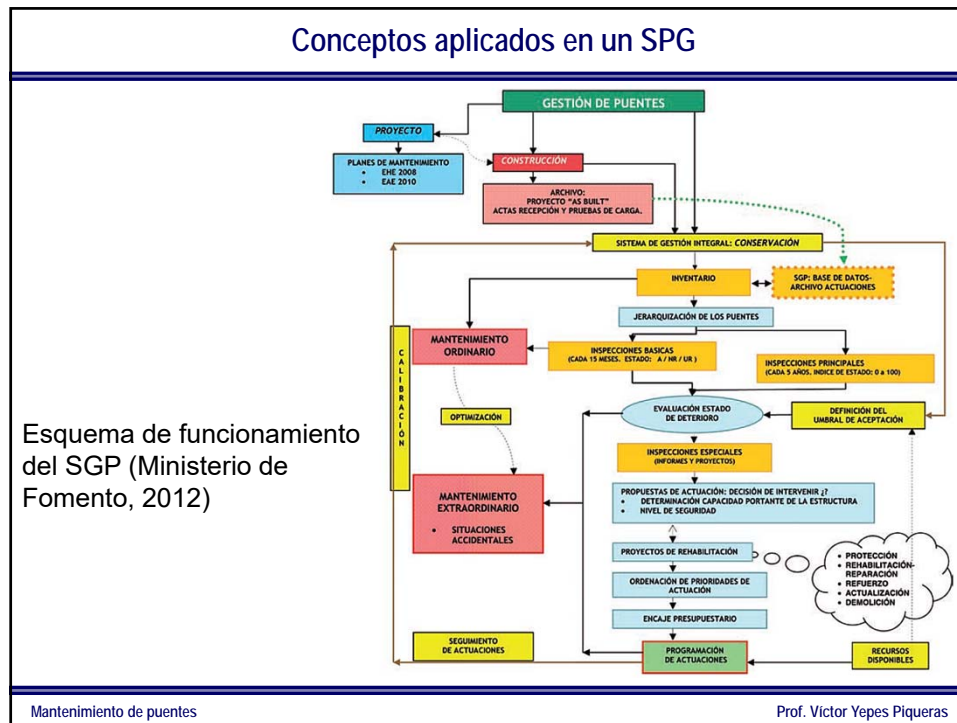
## Conceptos aplicados en un SPG



Martínez Cañamares (2015)

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras



## Conceptos aplicados en un SPG

■ **Inventarios**

- ✓ Es el punto de partida de un SGP
- ✓ Información recogida:
  - ❖ Carretera a la que pertenece
  - ❖ Calzada
  - ❖ P.K. en el que se encuentra
  - ❖ Tipología
  - ❖ Distancia entre parámetros verticales de estribos
  - ❖ Número de pilas
  - ❖ Altura aproximada de pilas
  - ❖ Foto general
  - ❖ Clave de inventario

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Conceptos aplicados en un SPG

■ **Inventarios**

- ✓ Información complementaria:
  - ❖ Proyecto constructivo y todas las modificaciones realizadas en obra
  - ❖ Datos del control de calidad de materiales llevado a cabo en ejecución, así como la información complementaria relevante
  - ❖ Prueba de carga antes de la puesta en servicio
  - ❖ Informes realizados a partir de los distintos tipos de inspección (básica, principal y especiales)
  - ❖ Actuaciones de mejora o reparación llevadas a cabo

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras



## Conceptos aplicados en un SPG

**▪ Jerarquización de la red**

- ✓ Permite establecer prioridades en los recursos
- ✓ Importancia relativa de cada puente en la red:
  - ❖ Tipología del puente
  - ❖ Intensidad Media Diaria (IMD)
  - ❖ Importancia del itinerario
  - ❖ Rutas alternativas
  - ❖ Clase de exposición
  - ❖ Existencia de cauce
  - ❖ Valor histórico-patrimonial



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Conceptos aplicados en un SPG

**▪ Inspecciones: evaluación de daños y su evolución**

- ✓ Inspección básica o rutinaria
  - ❖ Visual, personal no necesariamente especializado, fichas básicas
- ✓ Inspección principal
  - ❖ Campaña sistemática, inspección visual, especialistas estructurales y geotécnicos
  - ❖ Inspección detallada: requiere medios auxiliares
- ✓ Inspección especial y pruebas de carga
  - ❖ Estudian deterioros importantes, equipo multidisciplinar especializado

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Conceptos aplicados en un SPG

**▪ Características exigibles a una inspección:**

- ✓Objetiva
  - ❖Independiente del equipo de inspección
- ✓Homogénea
  - ❖Formatos reglados y minimización de errores de transcripción
- ✓Comparable
  - ❖Con baremos y criterios similares, para determinar el orden de prioridades de actuación bajo criterios técnicos
- ✓Fiable
  - ❖Evitando dejar daños de importancia sin detectar

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Estado de condición de los puentes

**▪ Estado de condición de los puentes:**

- ✓Evaluación de los deterioros registrados en la inspección, evaluando el grado mediante tres parámetros:
  - ❖Su potencial gravedad
  - ❖La extensión del deterioro
  - ❖Su evolución probable
- ✓La prioridad de reparación se realiza ponderando los factores anteriores

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Estado de condición de los puentes

**■ Índices de condición de los puentes según el nivel de análisis:****✓ Índice de deterioro**

- ❖ Para cada deterioro detectado se determina un índice parcial para cada componente de la estructura que tiene en cuenta la intensidad del tipo de daño, su extensión relativa, la previsión de propagación con el tiempo y los efectos producidos en las condiciones de seguridad y durabilidad

**✓ Estado de condición**

- ❖ Es un índice global que integra los parámetros parciales obtenidos en el nivel anterior

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Plan de mantenimiento

- Desde la entrada en vigor de EHE-08 y EAE-11 es obligatorio redactar los planes de mantenimiento de cualquier estructura de nueva ejecución, dentro del proyecto



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Plan de mantenimiento

■ **Plan de mantenimiento:**

- ✓ Documento que define el conjunto de tareas que es preciso identificar en la fase de proyecto para asegurar un mantenimiento adecuado que garantice la vida útil definida por la Propiedad



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Plan de mantenimiento

■ **Refuerzo:**

- ✓ Operación que incrementa la capacidad resistente de un elemento estructural respecto a la prevista en su construcción

■ **Rehabilitación:**

- ✓ Acción que recupera las características resistentes y funcionales de la estructura, que habían disminuido debido al deterioro de uno o varios de sus elementos estructurales
- Ni el refuerzo ni la rehabilitación son actuaciones incluidas en el Plan de Mantenimiento

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

Plan de mantenimiento	
<p>▪ <b>Contenido del Plan de Mantenimiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Descripción de la estructura               <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Descripción funcional del puente</li> <li>❖ Configuración geométrica</li> <li>❖ Obstáculo salvado</li> <li>❖ Configuración estructural y funcional</li> <li>❖ Condiciones climáticas</li> <li>❖ Materiales constituyentes</li> <li>❖ Sistemas de protección</li> <li>❖ Juntas</li> <li>❖ Aparatos de apoyo y dispositivos especiales</li> <li>❖ Sistema de drenaje</li> <li>❖ Impermeabilización y firmes</li> <li>❖ Sistema de contención de vehículos</li> <li>❖ Equipamiento</li> <li>❖ Servidumbres de paso</li> </ul> </li> </ul>	
Mantenimiento de puentes	Prof. Víctor Yepes Piqueras

Plan de mantenimiento																			
<p>▪ <b>Contenido del Plan de Mantenimiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Definición del ambiente y de las vidas útiles               <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Clases de exposición</li> <li>❖ Vidas útiles</li> </ul> </li> </ul>																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Componentes</th> <th>Vida útil nominal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pinturas y protección anticorrosivas (acero)</td> <td>10 – 20 años</td> </tr> <tr> <td>Juntas de dilatación</td> <td>5 – 50 años</td> </tr> <tr> <td>Apoyos estructurales</td> <td>25 – 40 años</td> </tr> <tr> <td>Equipos de drenaje y selladores de juntas de dilatación</td> <td>5 – 15 años</td> </tr> <tr> <td>Membranas de estanqueidad elastomérica</td> <td>25 – 30 años</td> </tr> <tr> <td>Membrana de impermeabilización sobre hormigón</td> <td>10-30 años</td> </tr> <tr> <td>Pavimento hormigón</td> <td>15 – 20 años</td> </tr> <tr> <td>Pavimento asfáltico</td> <td>8-10 años</td> </tr> </tbody> </table>	Componentes	Vida útil nominal	Pinturas y protección anticorrosivas (acero)	10 – 20 años	Juntas de dilatación	5 – 50 años	Apoyos estructurales	25 – 40 años	Equipos de drenaje y selladores de juntas de dilatación	5 – 15 años	Membranas de estanqueidad elastomérica	25 – 30 años	Membrana de impermeabilización sobre hormigón	10-30 años	Pavimento hormigón	15 – 20 años	Pavimento asfáltico	8-10 años
Componentes	Vida útil nominal																		
Pinturas y protección anticorrosivas (acero)	10 – 20 años																		
Juntas de dilatación	5 – 50 años																		
Apoyos estructurales	25 – 40 años																		
Equipos de drenaje y selladores de juntas de dilatación	5 – 15 años																		
Membranas de estanqueidad elastomérica	25 – 30 años																		
Membrana de impermeabilización sobre hormigón	10-30 años																		
Pavimento hormigón	15 – 20 años																		
Pavimento asfáltico	8-10 años																		
Mantenimiento de puentes	Prof. Víctor Yepes Piqueras																		

## Plan de mantenimiento

**■ Contenido del Plan de Mantenimiento:**

- ✓ Definición de los puntos críticos
  - ❖ Cimentaciones
  - ❖ Estribos
  - ❖ Pilas
  - ❖ Aparatos de apoyo
  - ❖ Tableros
  - ❖ Equipamientos



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Plan de mantenimiento

**■ Contenido del Plan de Mantenimiento:**

- ✓ Criterios de inspección
- ✓ Definición de los medios de acceso
- ✓ Criterios de evaluación (umbrales de aceptación)
- ✓ Mantenimiento básico
  - ❖ Operaciones de limpieza
  - ❖ Operaciones de reposición y pequeña reparación
- ✓ Mantenimiento especializado
- ✓ Valoración de operaciones de mantenimiento e inspección

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras



## Operaciones de mantenimiento

## ■ Operaciones de mantenimiento:

## ✓Ordinario

## ❖Pautado y regular

## ✓Especializado

## ❖Alcance pequeño o moderado consecuencia de inspecciones rutinarias y principales

## ✓Intervenciones especializadas

## ❖Situaciones accidentales

## ✓Rehabilitación y refuerzo

## ❖Ya no es mantenimiento. Fuera de vida útil

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Conceptos aplicados en un SPG

Fases del sistema de gestión de estructuras en régimen de explotación (León González)



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Modelos de predicción del deterioro

▪ **Deterioro:**

- ✓ Por el uso
- ✓ Por causas ambientales
- ✓ Por accidentes u otras acciones antrópicas y desastres naturales
- ✓ Por errores
  - ❖ En fase de proyecto
  - ❖ En fase de construcción



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

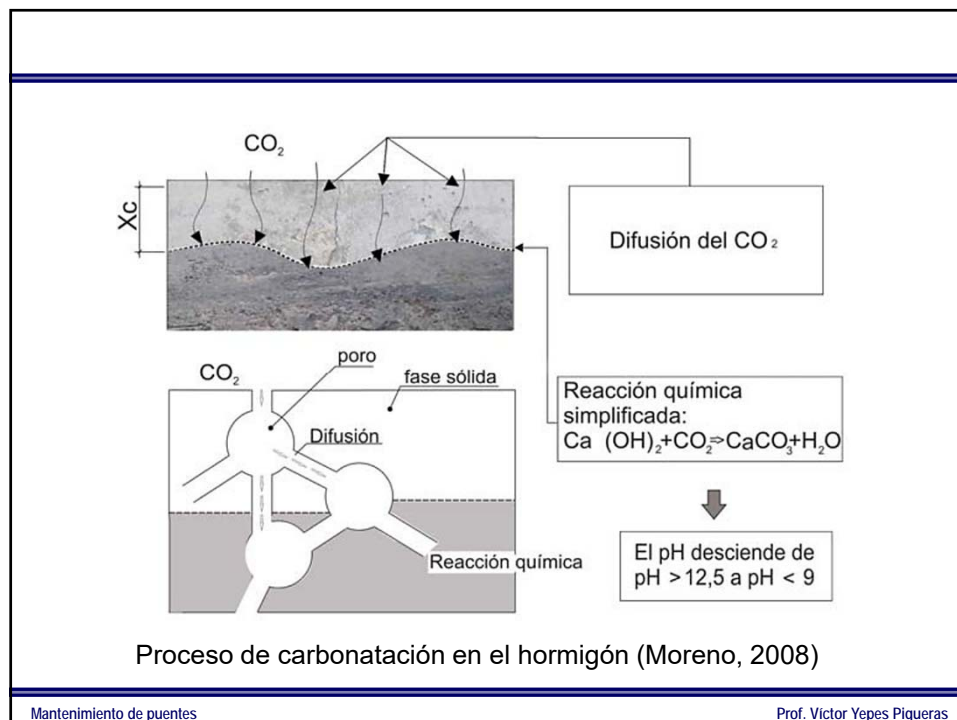
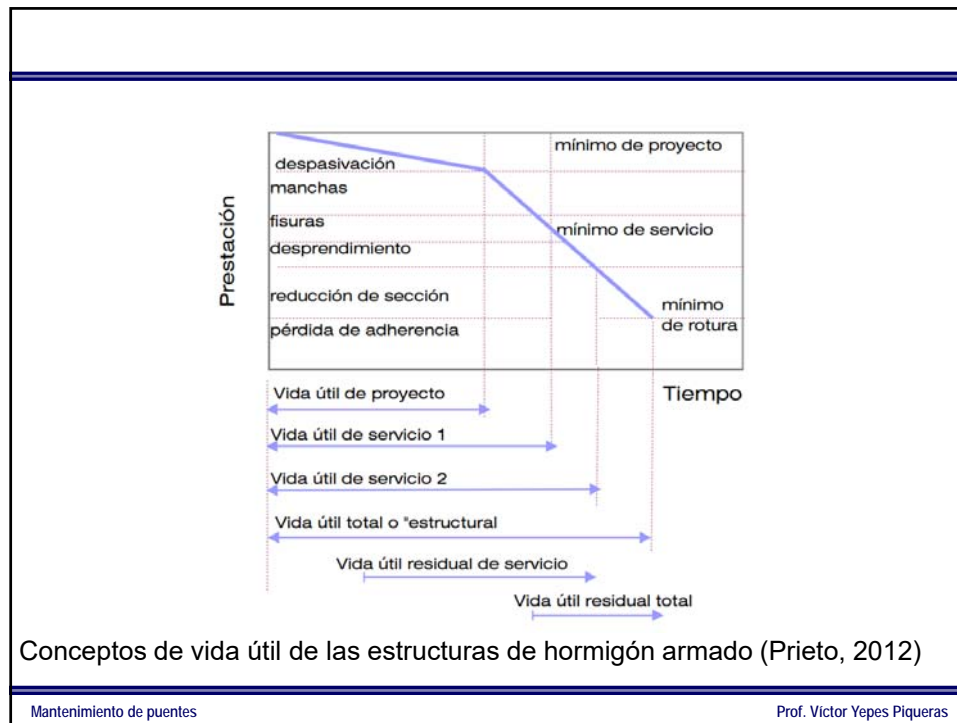
## Modelos de predicción del deterioro

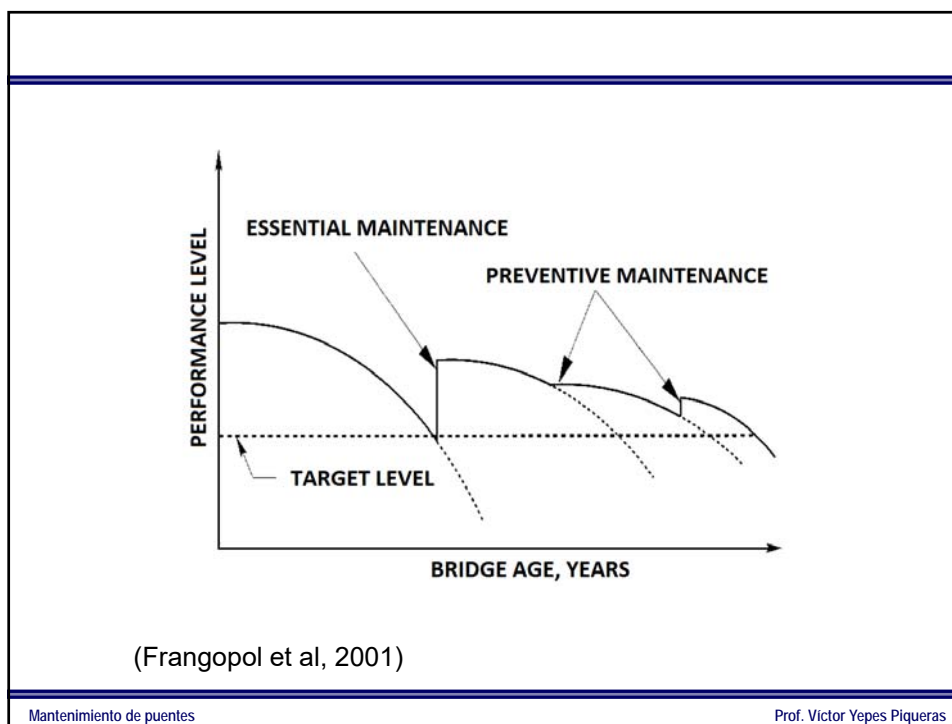
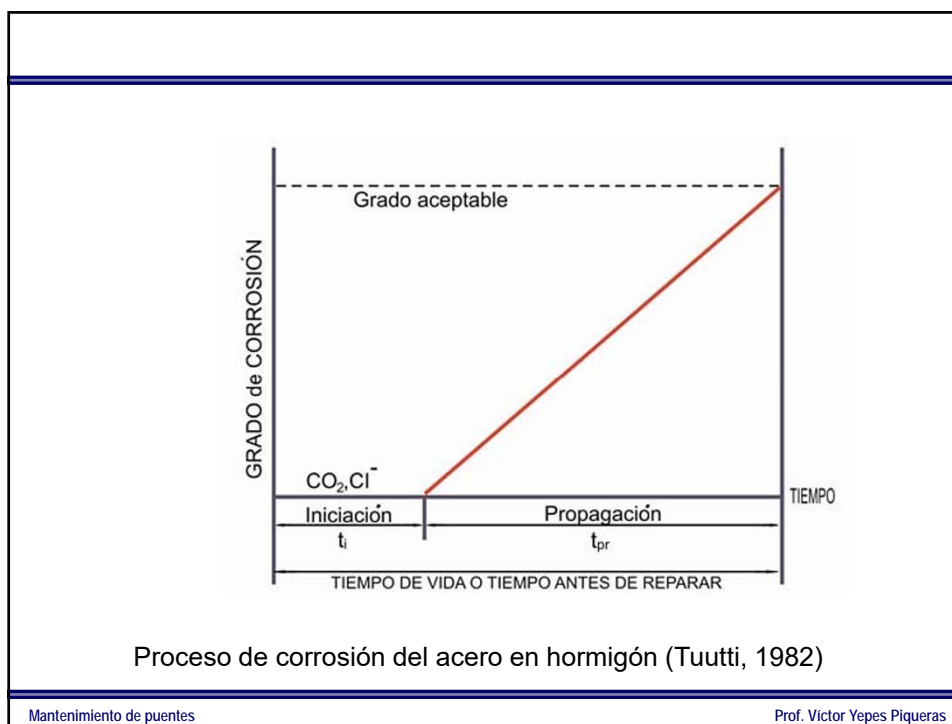
▪ **Modelos de predicción de la evolución del deterioro:**

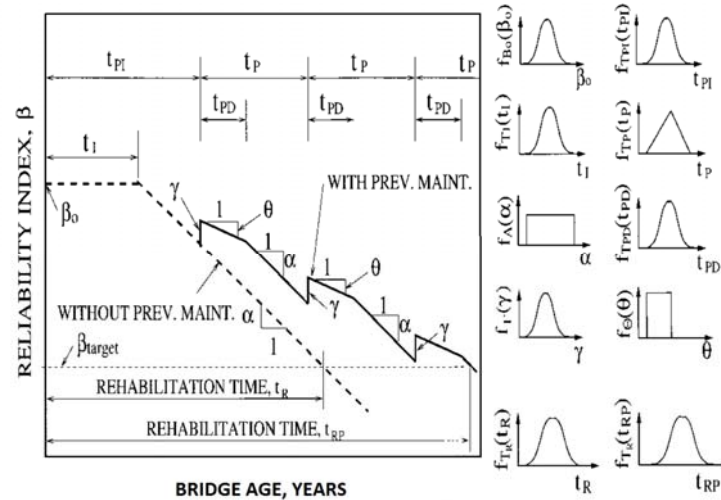
- ✓ Físicos o mecanicistas
- ✓ Probabilísticos
  - ❖ Función ratio de fallo
  - ❖ Procesos estocásticos
  - ❖ Variación del índice de fiabilidad
  - ❖ Modelo Markoviano
- ✓ Empírico-deterministas
- ✓ Inteligencia artificial

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras







Evolución fiabilidad y variables aleatorias asociadas (Frangopol et al, 2001)

## Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Puentes de hormigón

- **Principales patologías:**

- ✓ Corrosión de las armaduras
- ✓ Socavación del cimiento en el caso de ríos
- ✓ Daños en aparatos de apoyo y juntas de dilatación
- ✓ Fallo de los sistemas de drenaje e impermeabilización
- ✓ Impactos sobre la estructura

## Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Puentes de hormigón

**■ Principales causas químicas de patologías en la armadura:**

- ✓ Falta de recubrimiento
- ✓ Ataque por sulfatos
- ✓ Ataque por cloruros
- ✓ Carbonatación del hormigón



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Puentes de hormigón

**■ Principales causas físicas de patologías:**

- ✓ Acción de cargas exteriores
- ✓ Cambios de temperatura y humedad
- ✓ Efectos de los ciclos hielo-deshielo
- ✓ Abrasión y desgaste



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras



## Puentes metálicos y mixtos

- **Corrosión es el principal problema de durabilidad**
- **La velocidad depende de:**
  - ✓ Temperatura
  - ✓ Humedad
  - ✓ Agresividad del aire
- **Sistemas de protección habituales:**
  - ✓ Pintura
  - ✓ Aceros autopatinables o aceros "CORTEN"

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

## Propuestas Trabajos Fin de Grado

- Redacción del Plan de Mantenimiento de un puente (a elegir por el alumno)



Mantenimiento de puentes



Prof. Víctor Yepes Piqueras

PRC

Unidad Docente de  
Procedimientos de Construcción

GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS

Grado en Ingeniería Civil

***Mantenimiento de puentes***VÍCTOR YEPES PIQUERAS  
Catedrático de Universidad

@vyepesp

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOSUNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA