

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 PUERTOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Antecedentes históricos

- Origen de los “Sistemas de Gestión de Puentes” (SGP)
- Colapso del “Silver Bridge” en Ohio (USA) el 15 de diciembre de 1967
 - ✓ Más de 40 víctimas mortales
 - ✓ Fisura de corrosión bajo tensión
 - ✓ Cargas superiores a las de diseño



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



- Fallo de aleta por socavación
- Grietas por falta de capacidad de carga de las aletas (asentamiento)
- 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

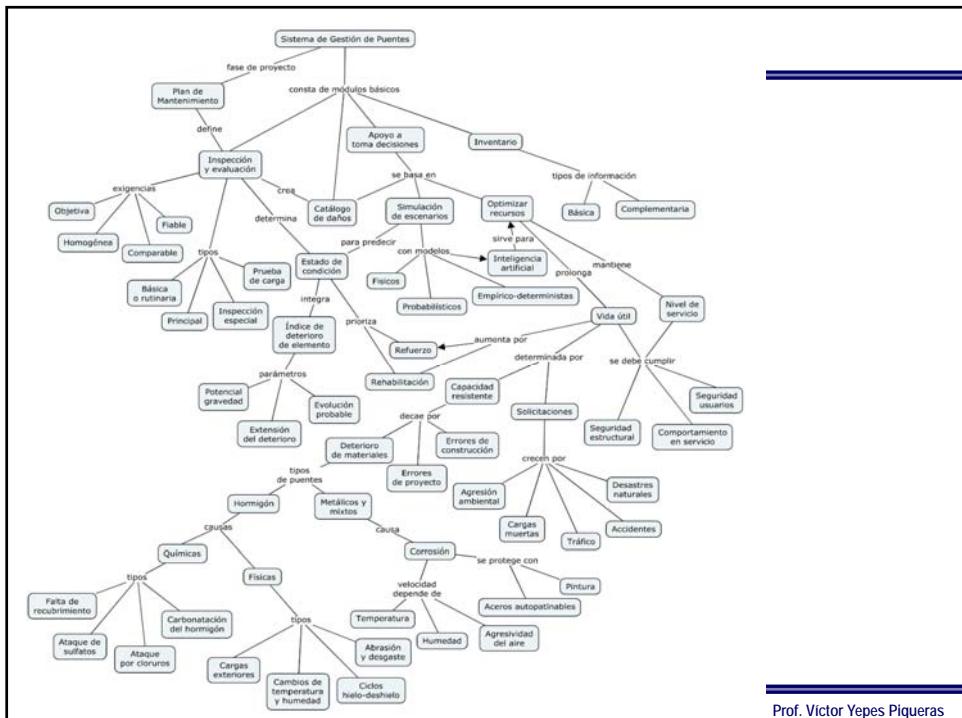
Daños en puentes



Terremotos y tsunamis

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras



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

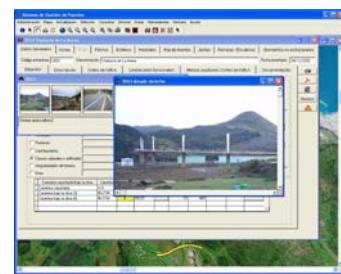
Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yenes 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):**

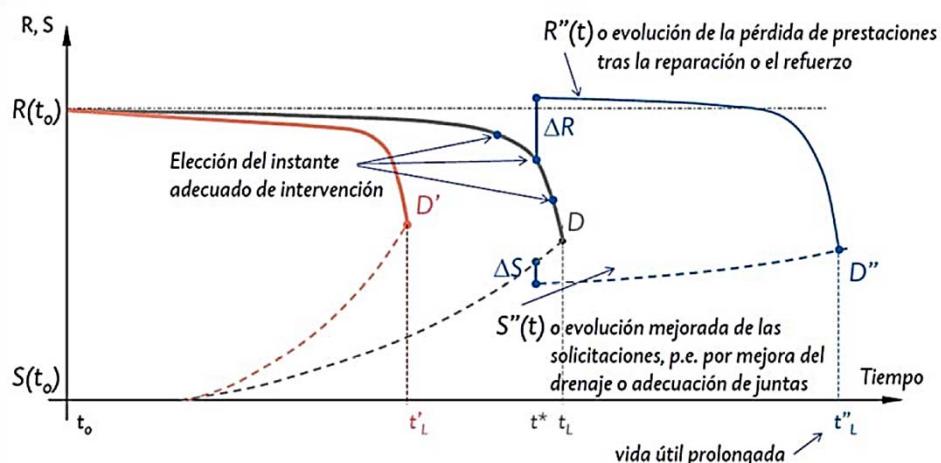
- ✓ Decae como consecuencia del deterioro de los materiales
- ✓ Degradación lenta al principio y se acelera más tarde

▪ **Solicitudes S:**

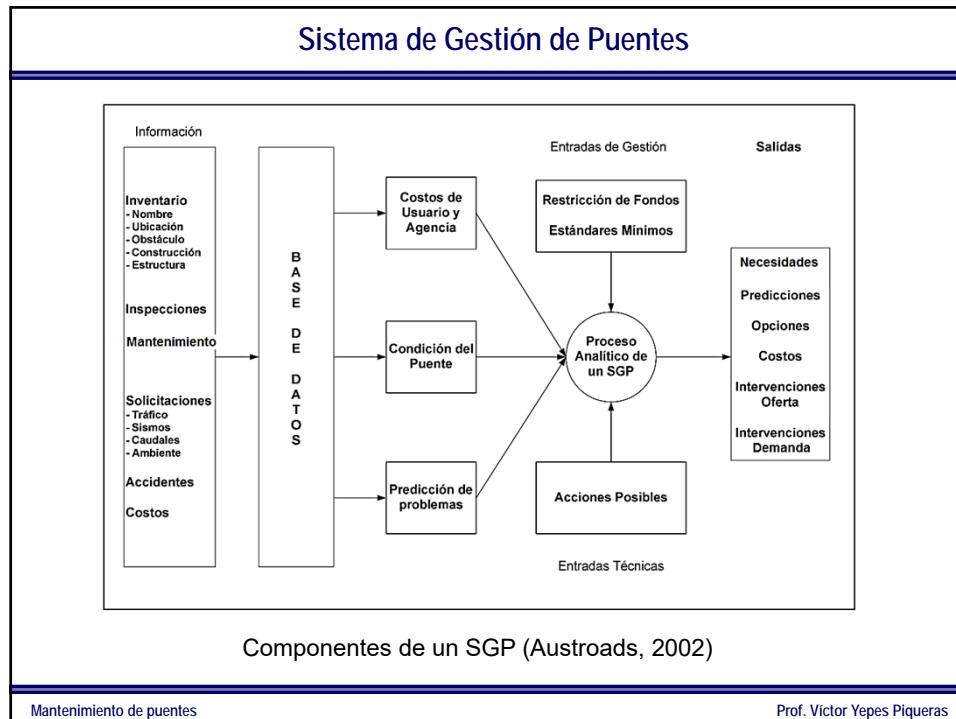
- ✓ Crecen porque los tráficos, cargas muertas, etc. han ido aumentando y la agresión ambiental también

Sistema de Gestión de Puentes

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

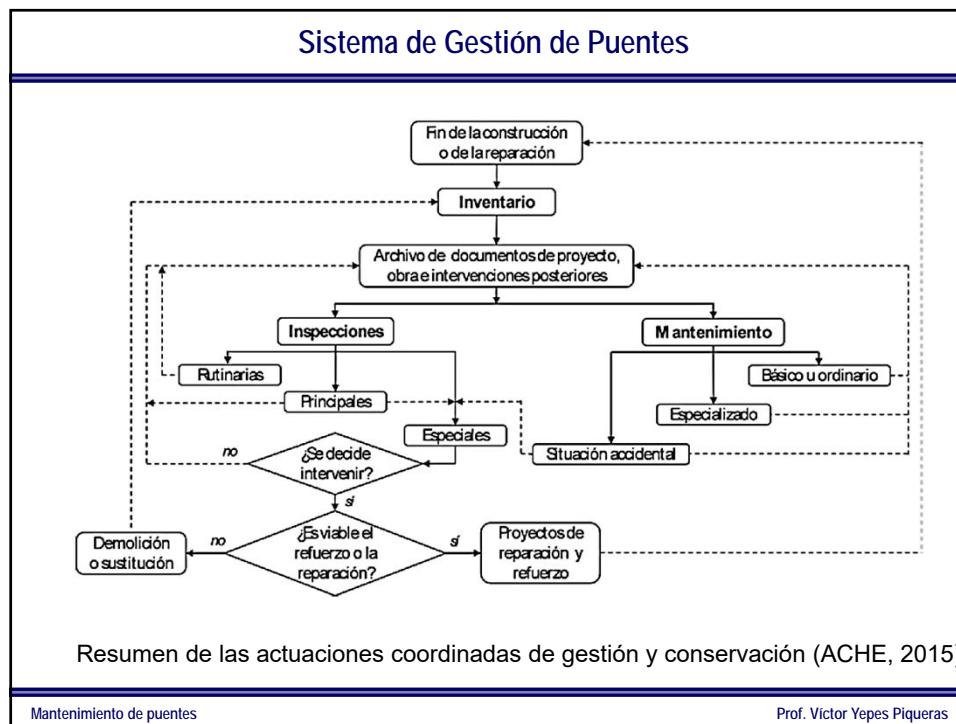


Concepto de vida útil y su gestión (León González, 2008)



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras

Sistema de Gestión de Puentes

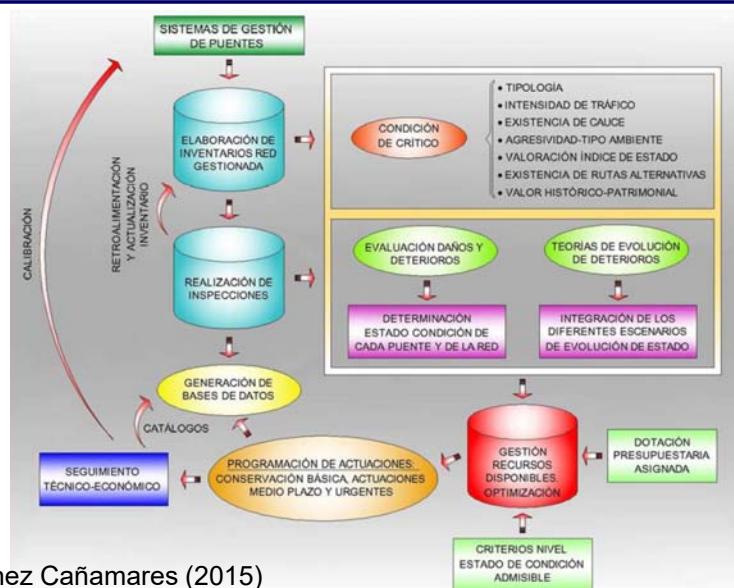
■ Etapas en los SGP:

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

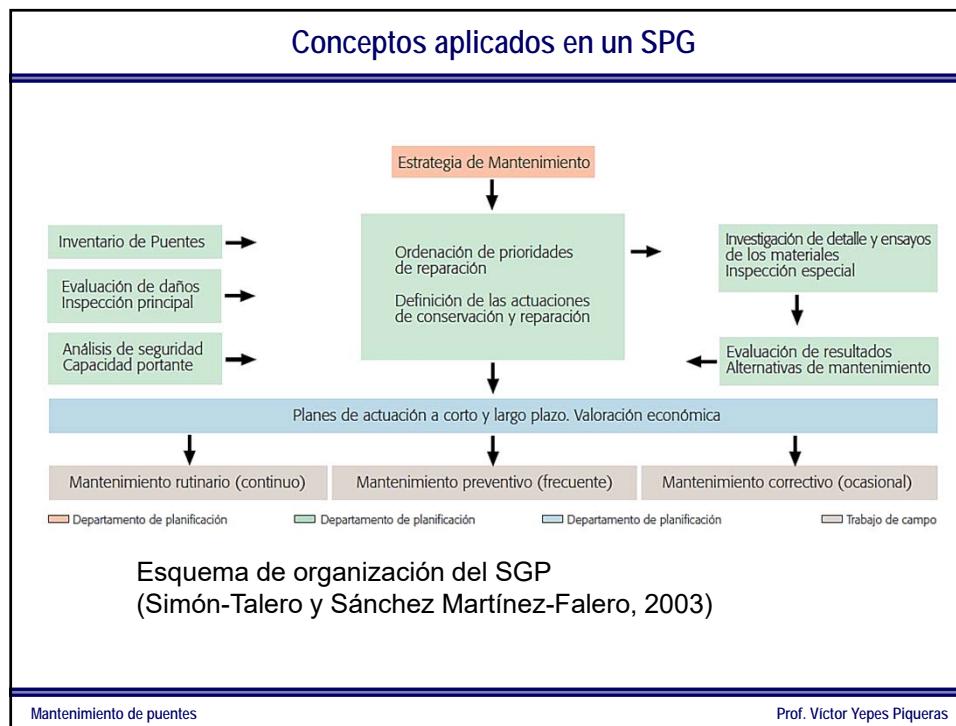
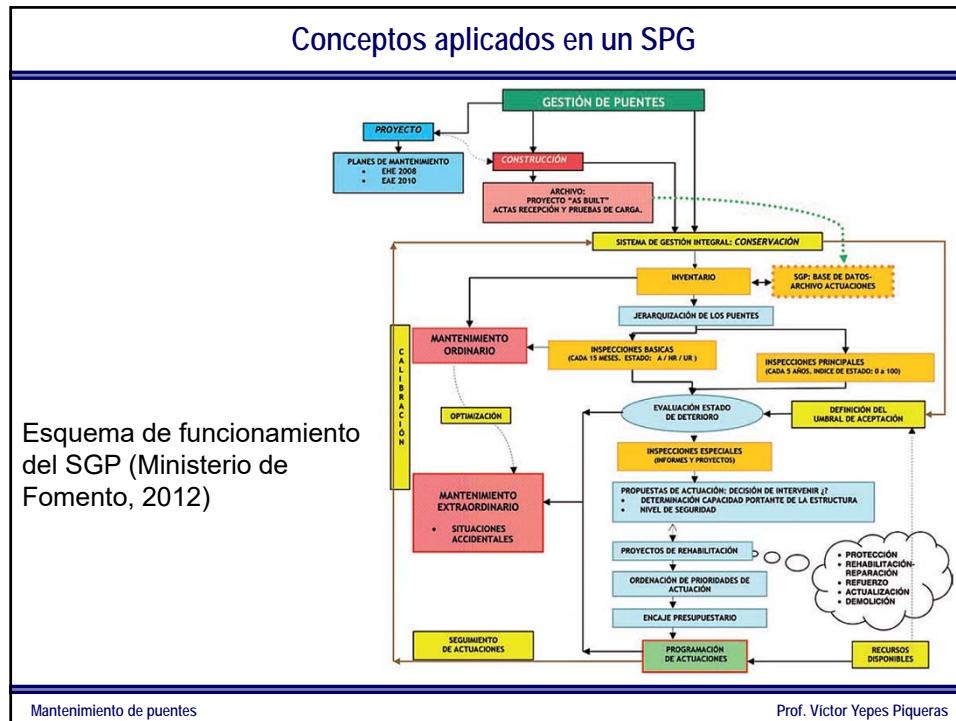
Prof. Víctor Yenes Piqueras

Conceptos aplicados en un SPG



Martínez Cañamares (2015)

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

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

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

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

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

▪ **Contenido del Plan de Mantenimiento:**

- ✓ Descripción de la estructura
 - ❖ Descripción funcional del puente
 - ❖ Configuración geométrica
 - ❖ Obstáculo salvado
 - ❖ Configuración estructural y funcional
 - ❖ Condiciones climáticas
 - ❖ Materiales constituyentes
 - ❖ Sistemas de protección
 - ❖ Juntas
 - ❖ Aparatos de apoyo y dispositivos especiales
 - ❖ Sistema de drenaje
 - ❖ Impermeabilización y firmes
 - ❖ Sistema de contención de vehículos
 - ❖ Equipamiento
 - ❖ Servidumbres de paso

Mantenimiento de puentes
Prof. Víctor Yepes Piqueras

Plan de mantenimiento

▪ **Contenido del Plan de Mantenimiento:**

- ✓ Definición del ambiente y de las vidas útiles
 - ❖ Clases de exposición
 - ❖ Vidas útiles

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
 - ❖ Estripos
 - ❖ 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

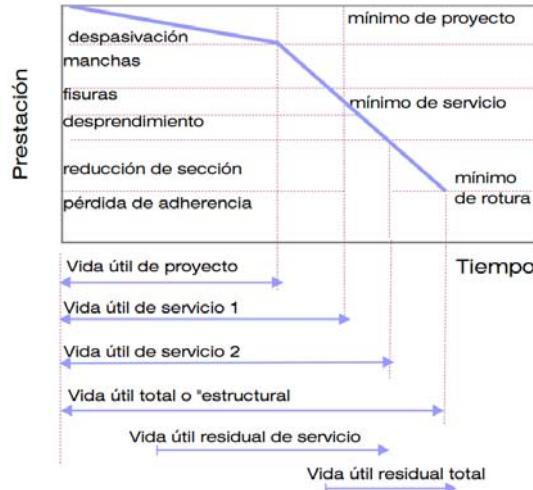
Modelos de predicción del deterioro

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

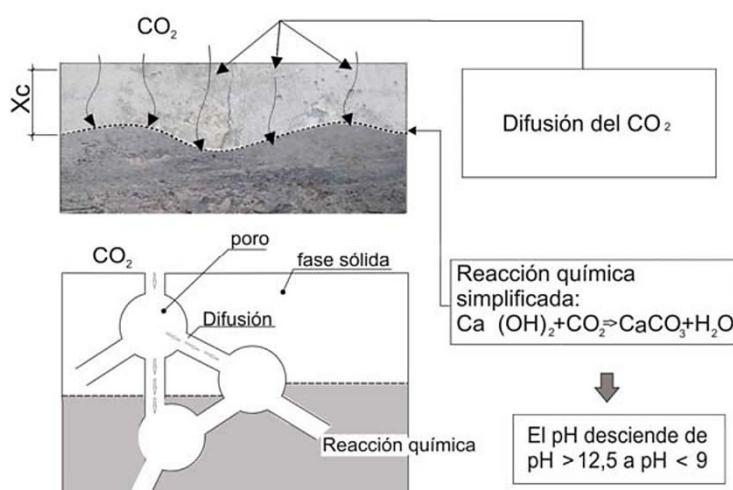
- ✓ Físicos o mecanicistas
- ✓ Probabilísticos
 - ❖ Función ratio de fallo
 - ❖ Procesos estocásticos
 - ❖ Variación del índice de fiabilidad
 - ❖ Modelo Markoviano
- ✓ Empírico-deterministas
- ✓ Inteligencia artificial

Mantenimiento de puentes

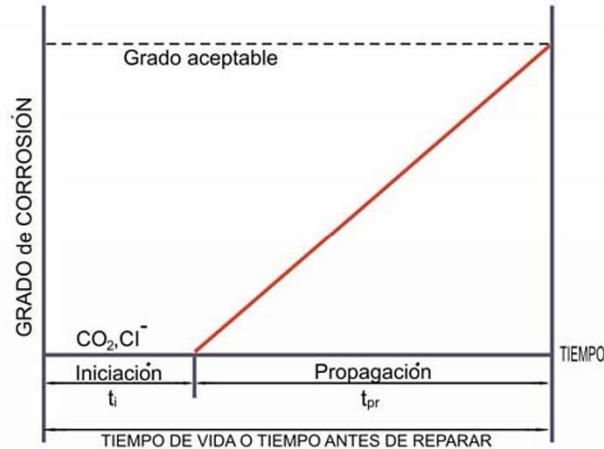
Prof. Víctor Yepes Piqueras



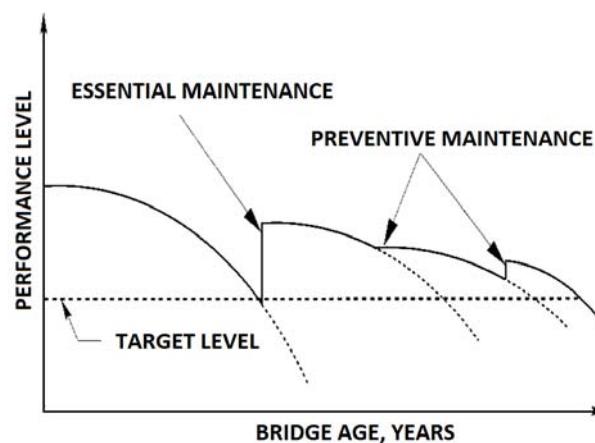
Conceptos de vida útil de las estructuras de hormigón armado (Prieto, 2012)



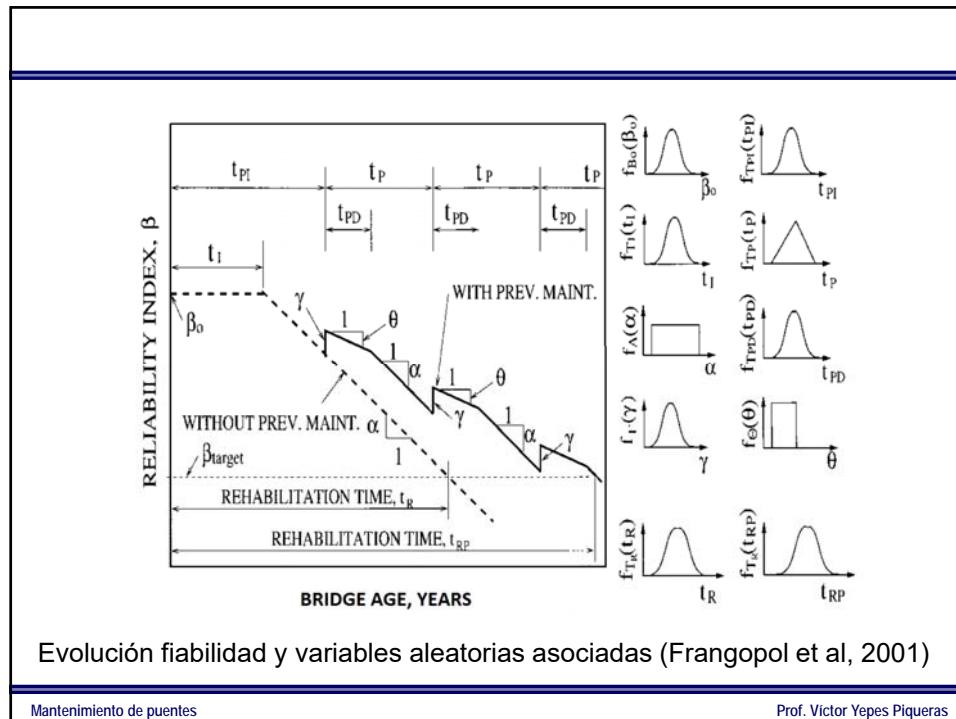
Proceso de carbonatación en el hormigón (Moreno, 2008)



Proceso de corrosión del acero en hormigón (Tuutti, 1982)



(Frangopol et al, 2001)



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

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

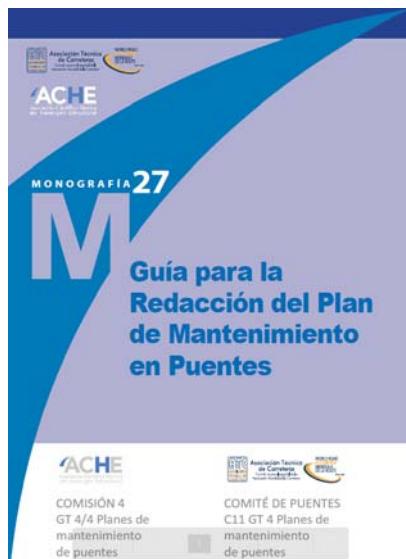
Prof. Víctor Yepes Piqueras

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”

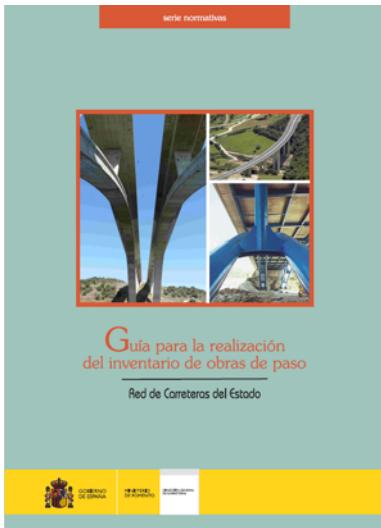
Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras



Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras



**Guía para la realización
del inventario de obras de paso**
Red de Carreteras del Estado



**RECOMENDACIONES PARA LA REDACCIÓN DE LOS
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS**

Mantenimiento de puentes

Prof. Víctor Yepes Piqueras



Tesis Doctoral

Sistemas de Gestión de Puentes
Optimización de estrategias de mantenimiento
Implementación en redes locales de carreteras

Realizada por:
Javier Martínez Calamares
Ing. de Caminos, Canales y Puertos

Director de tesis:
Miguel Ángel Astiz Suárez
Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos



PROYECTO FIN DE MÁSTER
"PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURAS"

SISTEMA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE PUENTES DE FÁBRICA

Autor: Héctor Morales Campo
Tutor: Fernando Varela Soto

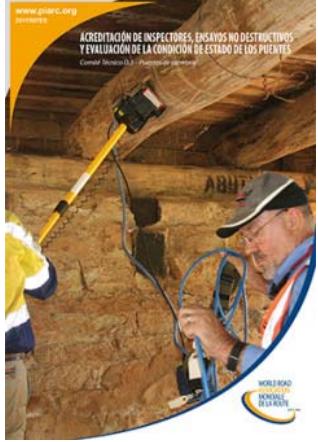
Fecha: Mayo 2016

Mantenimiento de puentes

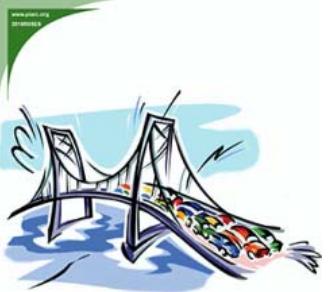
Prof. Víctor Yepes Piqueras

Propuestas Trabajos Fin de Grado

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



www.puerc.org
ACREDITACIÓN DE INSPECTORES, ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DE ESTADO DE LOS PUENTES
Comité Técnico C-4.1: Puentes de carretera
Asociación mundial de la Carrera



www.puerc.org
ANÁLISIS DE RIESGOS Y GESTIÓN DE RIESGOS EN PUENTES
Comité Técnico C-4.1: Puentes de carretera
Asociación mundial de la Carrera

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 PUERTOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA