

## **RESUMEN**

### **Vulnerabilidad sísmica de estructuras mediante simulación dinámica estocástica: aplicación a puentes**

Se presenta una metodología para evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras en base a conceptos probabilísticos. En ese contexto, a través de funciones de fragilidad obtenidas mediante simulación de Monte Carlo, se destaca su aplicación hacia el método de evaluación y diseño por desempeño para verificación de estructuras nuevas o análisis de posibles intervenciones en estructuras existentes. La técnica expuesta implica seis pasos los cuales son aplicados a un puente de hormigón como ejemplo. Los resultados de vulnerabilidad pueden ser utilizados para corregir el comportamiento estructural de una red vital, proponer índices de decisión económica para prever prioridades de inversión o planear la emergencia post desastre.

Keywords: Fragilidad · Contexto probabilístico · Evaluación sismorresistente · Vulnerabilidad.

## **ABSTRACT**

### **Seismic vulnerability of structures via stochastic dynamic simulation: assessment of bridge-structures**

Performance based earthquake engineering requires robust analytical tools for obtaining the structural response, damage assessment, as well as for performing reliability analysis. In this context, particular interest is dedicated to a probabilistic framework to evaluate possible interventions on new or existing structures by means of fragility functions computed using Monte Carlo simulation. The proposed framework consists of six basic steps to construct a vulnerability function and it is applied on a reinforced concrete bridge case study. Outcomes of the proposed framework can be used to improve the seismic assessment of the whole road network, to better plan emergency, post-emergency actions and define a general priority for budget allocation.

Keywords: Fragility · Probabilistic framework · Seismic assessment · Vulnerability.

# CONTENIDO

## CAPÍTULO 1 - Introducción

1-1 Teoría de la decisión con incertidumbre o riesgo .....	1-1
1-2 Motivación del trabajo .....	1-1
1-3 Objetivos y Alcance.....	1-3
1-4 Organización de la tesis .....	1-4

## CAPÍTULO 2 - Definiciones trascendentales

2-1 Introducción al riesgo .....	2-2
2-2 Definición de riesgo sísmico.....	2-3
2-3 Simulación de riesgos .....	2-5
2-4 Proceso de toma de decisiones.....	2-6

## CAPÍTULO 3 - Acelerogramas artificiales con variabilidad estocástica

3-1 Introducción .....	3-2
3-2 Señales artificiales estadísticamente compatibles.....	3-4
3-2.1 Señales artificiales compatibles con Criterio A .....	3-5
3-2.2 Señales artificiales compatibles con Criterio B .....	3-5
3-3 Formulación del problema estocástico.....	3-6
3-3.1 Parámetros para generar las señales .....	3-11
3-3.2 Simulación acorde al criterio (A) con $\gamma = 0$ .....	3-11
3-3.3 Simulación acorde al criterio (A) con $\gamma \neq 0$ .....	3-14
3-3.4 Simulación acorde al criterio (B).....	3-15
3-4 Notas sobre el factor de pico.....	3-17
3-5 Observaciones .....	3-19
3-6 Consideraciones sobre la corrección de línea de base .....	3-22
3-7 Referencias bibliográficas para el presente capítulo.....	3-24

## CAPÍTULO 4 - Límites de capacidad

4-1 Introducción .....	4-2
4-2 Costos, modelos de daño y funciones de pérdida .....	4-3
4-3 Relación entre daño físico y capacidad operativa .....	4-4
4-4 Extracto de daños recurrentes en puentes .....	4-8
4-5 Límites prescriptivos de daño .....	4-12
4-6 Empalmes mecánicos en zonas de rótulas dúctiles .....	4-19
4-7. Parámetros para capacidad y respuesta optados para la tesis.....	4-21
4-8. Sinopsis.....	4-21

4-9. Referencias bibliográficas para el presente capítulo.....	4-23
--	------

## **CAPÍTULO 5 - Funciones de vulnerabilidad**

5-1 Introducción .....	5-2
5-2 Objetivo del análisis.....	5-3
5-3 Esquema conceptual.....	5-3
Paso 1. Diseño de la construcción.....	5-4
Paso 2. Acción sísmica .....	5-5
Paso 3. Análisis estructural .....	5-5
Paso 4. Cuantificación del daño.....	5-6
Paso 5. Costos de reparación .....	5-13
Paso 6. Función de vulnerabilidad .....	5-19
5-4. Aplicaciones del estudio de vulnerabilidad .....	5-20
5-5. Algoritmo de cálculo.....	5-24
5-6. Referencias bibliográficas para el presente capítulo.....	5-26

## **CAPÍTULO 6 - Caso de aplicación**

6-1 Introducción .....	6-2
6-2 Método de ingeniería sísmica basada en el desempeño .....	6-2
6-2.1 Planteo del método .....	6-3
6-2.2 Frecuencia media anual de excedencia de un valor límite.....	6-6
6-2.3 Técnicas de resolución.....	6-7
6-2.4 Grupos de desempeño para el puente .....	6-8
6-3 Funciones de peligrosidad y selección de acelerogramas .....	6-10
6-3.1 Excitación para el caso de estudio .....	6-10
6-4 Estudio de la respuesta estructural.....	6-11
6-4.1 Modelos estructurales deterministas versus estocásticos.....	6-14
6-4.2 Aplicación al caso de estudio .....	6-14
6-5 Definición de condiciones límite .....	6-18
6-5.1 Implementación al caso de estudio .....	6-18
6-6 Modelos de daño estructural .....	6-18
6-6.1 Aplicación al puente .....	6-19
6-7 Cómputo de recursos.....	6-23
6-7.1 Costos y duraciones por nivel de daño para el caso de estudio .....	6-24
6-8 Función de vulnerabilidad.....	6-25
6-8.1 Vulnerabilidad en sentido longitudinal.....	6-25
6-9 Opciones para expresar resultados.....	6-27
6-10 Referencias bibliográficas para el presente capítulo.....	6-33

**CAPÍTULO 7 - Conclusiones y recomendaciones**

7-1 Contribuciones de este trabajo .....	7-2
7-2 Líneas de trabajo futuro .....	7-3
7-2.1 Soporte al modelo de objetos.....	7-3
7-2.2 Modelo de comportamiento estructural .....	7-3
7-2.3 Análisis, mitigación y gestión de riesgo .....	7-4

**APÉNDICE A - Definición del modelo numérico**

A-1. Introducción .....	A-2
A-2. Objetivos .....	A-3
A-3. Características de la estructura.....	A-4
A-4. Definición de nodos y elementos .....	A-5
A-5. Materiales.....	A-6
A-6. Momento de inercia de las masas.....	A-6
A-7. Modelación de la superestructura .....	A-6
A-8. Representación inelástica de vigas y columnas .....	A-7
A-9. Relación entre momento flector y curvatura .....	A-8
A-10. ¿Ductilidad de curvatura o ductilidad de desplazamiento?.....	A-10
A-11. Alternativas para representación de no linealidad material .....	A-11
A-12. Modelo de inelasticidad adoptado en el trabajo.....	A-14
A-13. Condiciones de borde.....	A-17
A-13.1 Interacción suelo-estructura.....	A-17
A-13.2 Fundación de las columnas .....	A-18
A-13.3 Vínculo entre superestructura e infraestructura .....	A-18
A-13.4 Representación de los estribos .....	A-18
A-13.5 Estribo simplificado.....	A-20
A-13.6 Observaciones .....	A-22
A-14. Topes antisísmicos de hormigón .....	A-22
A-14.1 Corte por fricción debido a deslizamiento relativo.....	A-23
A-14.2 Modelo de corte mediante bielas y tirantes.....	A-23
A-14.3 Corte debido a hipótesis de deformación por flexión en el tope .....	A-24
A-14.4 Fisuración en vigas de gran altura .....	A-24
A-14.5 Relación envolvente entre fuerza y desplazamiento .....	A-24
A-15. Análisis dinámico.....	A-28
A-15.1 Sobre el análisis dinámico con integración directa (THA) .....	A-28
A-15.2 Métodos de la familia de Newmark .....	A-29
A-16. Definición del amortiguamiento .....	A-30

A-17. Referencias.....	A-32
------------------------	------

#### **APÉNDICE B - No linealidad material con fibras**

B-1 Pasos para representar las fibras en regiones inelásticas.....	B-1
B-2 Observaciones .....	B-2
B-3 Referencias .....	B-3

#### **APÉNDICE C - Funciones de fragilidad**

C-1. Introducción .....	C-1
C-2. Funciones a partir de relevamientos y ensayos .....	C-2
C-3. Funciones analíticas de fragilidad .....	C-2
C-4. Funciones basada en métodos de confiabilidad .....	C-5
C-5. Funciones instauradas según dictámenes .....	C-6
C-6. Definiciones híbridas.....	C-6
C-7. Combinación de las funciones de fragilidad .....	C-7
C-8. Ejemplos.....	C-8
C-9 Referencias .....	C-12

#### **APÉNDICE D - Síntesis sobre peligrosidad probabilista**

D-1 Conceptos fundamentales .....	D-1
D-2 Referencias.....	D-5