

TAREA 5

Estimación de Daños y Pérdidas

El objetivo de esta tarea es aprender a usar curvas de fragilidad para estimar la probabilidad de diferentes tipos de daño en una estructura, y luego utilizar curvas de pérdida para estimar pérdidas económicas.

Resultados del análisis estructural

Durante esta tarea, utilizará los resultados del análisis de múltiples franjas que realizó a un edificio de 9 pisos ($T_1 = 2s$) ubicado en San Francisco ($Lat = 37.785^\circ$; $Lon = -122.44^\circ$) en la Tarea 4. En AULA encontrará un archivo .mat que contiene las siguientes variables:

- `IM_stripes`: Vector con los valores de intensidad sísmica de las 4 franjas analizadas.
- `medIDR`: Matriz de tamaño 9 (pisos) x 4 (intensidades). Cada valor (i,j) de esta matriz entrega la mediana de IDR en el piso i-ésimo para una intensidad igual a `IM_stripes(j)`. **Notar que estos valores están condicionados a que la estructura no colapsa.**
- `sLnIDR`: Matriz de tamaño 9 (pisos) x 4 (intensidades). Cada valor (i,j) de esta matriz entrega la desviación estándar logarítmica de IDR en el piso i-ésimo para una intensidad igual a `IM_stripes(j)`. **Notar que estos valores están condicionados a que la estructura no colapsa.**

Para la curva de fragilidad de colapso de la estructura, utilice los estimadores de máxima verosimilitud:

$$\begin{aligned}\mu_{\ln s a_c} &= -0.2788 \\ \beta_c &= 0.2829\end{aligned}$$

PARTE 1: Curva de amenaza sísmica

Lo primero que se le pide es obtener, desde la página web del USGS, la curva de amenaza sísmica para $T = 2s$ en el sitio en el cual se ubica el edificio. En este caso, considere un suelo con $V_{s30} = 360m/s$ (esto es, justo en la frontera entre los suelos tipo C y D). Grafique la curva obtenida en escala logarítmica. Realice un ajuste polinomial de cuarto grado e incluya la curva resultante, su ecuación, y el coeficiente de determinación (R^2) en el gráfico. Recuerde que al utilizar todos los puntos del USGS, el ajuste típicamente es deficiente. Por lo tanto, utilice solamente los puntos que correspondan a intensidades contenidas entre $[0.004g, 3g]$, con lo cual obtendrá un excelente ajuste (solo calcule el R^2 con los puntos considerados en la regresión).

PARTE 2: Estimación de probabilidad de fractura en conexiones de momento

En esta parte, usted evaluará la probabilidad de fractura en las conexiones de momento del segundo piso de la estructura. En particular, evaluará esta probabilidad para dos niveles de intensidad (terremoto máximo considerado, MCE, y terremoto de diseño, DBE). Además, comparará los resultados utilizando conexiones pre-Northridge y conexiones post-Northridge, las cuales fueron mejoradas dadas las fallas observadas durante el terremoto:

Primero, **considerando solo los casos en que la estructura no colapsa** (esto es, probabilidades condicionadas a no colapso), calcule:

1. La probabilidad de que las conexiones de momento del segundo piso del edificio se fracturen dado una intensidad sísmica con nivel de amenaza MCE (definida como la intensidad que tiene un 2% de probabilidad de excedencia en 50 años). Considere que las conexiones son post-Northridge y que su fragilidad se puede caracterizar de acuerdo a Lignos et al. (2010)¹ por una función lognormal con una mediana de deriva de entrepiso (IDR) de 0.05 y una desviación estándar logarítmica igual a 0.3.
Para obtener la intensidad sísmica al nivel MCE, interpole la curva de amenaza sísmica obtenida anteriormente **en el espacio log-log**. Por otro lado, para obtener la distribución de probabilidad de IDR en el segundo piso del edificio condicionada a no colapso para el nivel de intensidad MCE, interpole linealmente los valores de mediana y desviación estándar logarítmica dados para las 4 franjas de intensidad.
2. La probabilidad de que las conexiones de momento del segundo piso del edificio se fracturen dado una intensidad sísmica con nivel de amenaza DBE (definida como 2/3 de la intensidad MCE del punto anterior). Nuevamente, considere que las conexiones son post-Northridge. Al igual que el punto anterior, interpole linealmente los valores de mediana y desviación estándar logarítmica de las 4 franjas para obtener la distribución de la respuesta estructural condicionada a un nivel de intensidad DBE.
Notar que en este caso la curva de fragilidad es la misma que en el caso 1, pero cambia la respuesta estructural.
3. La probabilidad de que las conexiones de momento del segundo piso del edificio se fracturen dado una intensidad sísmica con nivel de amenaza MCE. En este caso, considere que las conexiones son pre-Northridge y que su fragilidad se puede caracterizar de acuerdo a Ramirez et al. (2010)² por una

¹ Lignos, D. G., Kolios, D., & Miranda, E. (2010). Fragility assessment of reduced beam section moment connections. *Journal of Structural Engineering*, 136(9), 1140-1150.

² Ramirez, C. M., Lignos, D. G., Miranda, E., & Kolios, D. (2012). Fragility functions for pre-Northridge welded steel moment-resisting beam-to-column connections. *Engineering structures*, 45, 574-584.

función lognormal con una mediana de IDR de 0.0181 y una desviación estándar logarítmica igual a 0.44.

Notar que en este caso la respuesta estructural es la misma que en el caso 1, pero cambia la curva de fragilidad.

4. La probabilidad de que las conexiones de momento del segundo piso del edificio se fracturen dado una intensidad sísmica con nivel de amenaza DBE. Nuevamente, considere que las conexiones son pre-Northridge.

Notar que en este caso la respuesta estructural es la misma que en el caso 2, pero cambia la curva de fragilidad.

Presente sus resultados en una tabla en la cual muestre las 4 combinaciones de diferentes intensidades (MCE y DBE) y diferentes curvas de fragilidad (pre- y post-Northridge).

Calcule las mismas 4 probabilidades de fractura en las conexiones de momento del segundo piso del edificio, pero ahora considerando colapso y no colapso. Para esto, utilice la Ley de Probabilidades Totales y asuma que, si la estructura colapsa, entonces todas las conexiones se fracturan (es decir, la probabilidad de fractura dado colapso es igual a 1: $P[F|C] = 1$). Presente sus resultados en una tabla igual a la anterior, pero esta vez considerando colapso y no colapso.

Comente sobre sus resultados. En particular, comente sobre:

- El efecto de cambiar la conexión (pre-Northridge vs post-Northridge) en la probabilidad de fractura.
- El efecto de cambiar la intensidad sísmica a la cual es sometida la estructura (DBE vs MCE) en la probabilidad de fractura.
- La forma en que varía la contribución del colapso a la probabilidad de fractura dependiendo de la intensidad y la curva de fragilidad utilizada.

PARTE 3: Estimación de pérdidas económicas debidas al daño en conexiones de momento

En esta parte, usted evaluará la pérdida esperada de la estructura completa debida al daño en sus conexiones de momento. En este caso, considerará dos tipos de conexiones post-Northridge: conexiones con vigas conectadas a un solo lado de la columna, y conexiones con vigas conectadas a dos lados de la columna. Estos componentes corresponden a los identificados como B1035.001 y B1035.011 en el proyecto ATC-58, respectivamente.

Las curvas de fragilidad de los tres posibles niveles de daño (secuenciales) son iguales en ambos tipos de conexión, y se muestran en la Tabla 1. Por otro lado, las funciones de pérdida de ambos tipos de conexión son diferentes, y se muestran en las Tablas 2 y 3. Las funciones de pérdida de las Tablas 2 y 3 son por conexión individual. Notar que estas

funciones de pérdida son lognormales, por lo tanto **usted debe calcular el valor esperado de la pérdida a partir de la mediana y la desviación estándar logarítmica.**

Considere que en el caso de que la estructura colapse, la pérdida esperada de cada conexión a momento con una viga conectada a un solo lado es de **\$4,500**, mientras que para cada conexión con vigas conectadas a ambos lados es de **\$7,000**.

Tabla 1. Curvas de fragilidad de conexiones post-Northridge con vigas conectadas a uno o dos lados de la columna.

Nivel de Daño	Descripción	Curva de fragilidad (lognormal)	
		Mediana de IDR	Desv. Est. logarítmica
DS1	Pandeo local de ala y alma de la viga	0.03	0.3
DS2	DS1 + pandeo torsional de la viga en la zona de la rótula plástica	0.04	0.3
DS3	Fractura de bajo ciclado en la zona pandeada	0.05	0.3

Tabla 2. Funciones de pérdida de conexiones post-Northridge con vigas conectadas un lado de la columna.

Nivel de Daño	Descripción	Función de pérdida (lognormal)	
		Mediana	Desv. Est. logarítmica
DS1	Endurecimiento por calor en las alas y alma pandeadas de la viga	\$1,740	0.35
DS2	Remover y reemplazar la porción pandeada de la viga	\$2,930	0.31
DS3	Remover y reemplazar la porción fracturada de la viga	\$2,930	0.31

Tabla 3. Funciones de pérdida de conexiones post-Northridge con vigas conectadas en dos lados de la columna.

Nivel de Daño	Descripción	Función de pérdida (lognormal)	
		Mediana	Desv. Est. logarítmica
DS1	Endurecimiento por calor en las alas y alma pandeadas de la viga	\$3,000	0.28
DS2	Remover y reemplazar la porción pandeada de la viga	\$5,230	0.28
DS3	Remover y reemplazar la porción fracturada de la viga	\$6,100	0.28

La Tabla 4 muestra el número de conexiones de momento de ambos tipos en cada piso de la estructura.

Tabla 4. Número de conexiones de momento por piso.

Piso	Número de conexiones de momento con viga conectada a un solo lado de la columna	Número de conexiones de momento con vigas conectadas a dos lados de la columna
1	8	16
2	8	16
3	8	16
4	8	16
5	8	16
6	6	12
7	6	12
8	4	8
9	4	8

Dada la información provista, calcule:

1. La pérdida esperada en el edificio debida al daño en sus conexiones a momento para una intensidad sísmica con un nivel de amenaza MCE.

Es recomendable primero calcular las pérdidas esperadas de cada tipo de conexión en función de la demanda de IDR. Para esto, solo necesita la información de las curvas de fragilidad y los valores esperados de la pérdida para cada nivel de daño. Luego, para cada piso calcule la distribución de probabilidad de IDR condicionado a una intensidad con un nivel de amenaza MCE. Para esto, interpole linealmente los valores de mediana y desviación estándar logarítmica dados para las 4 franjas de intensidad.

Integrando los términos recién obtenidos, calcule para cada piso y cada tipo de conexión, el valor esperado de la pérdida debida a no colapso. Recuerde en este punto que el número de conexiones varía en cada piso y para ambos tipos de conexión. Sume las pérdidas para todos los pisos y para ambos tipos de conexión para obtener la pérdida esperada total del edificio, condicionada a no colapso, para una intensidad MCE.

Finalmente, combine la pérdida total esperada dado no colapso con la pérdida total esperada dado colapso (esto es, la suma de las pérdidas esperadas de todas las conexiones cuando la estructura colapsa), para lo cual necesitará calcular la probabilidad de colapso dado MCE (utilizando la curva de fragilidad de colapso).

2. La pérdida esperada en el edificio debida al daño en sus conexiones a momento en función de la intensidad sísmica para valores entre 0.01 g y 3 g.
En este punto, se le pide repetir lo hecho anteriormente, pero ahora variando la intensidad entre 0.01 g y 3 g.

A diferencia del punto anterior, acá necesitará no solo interpolar linealmente la mediana y desviación estándar logarítmica de las 4 franjas de intensidad, si no que también tendrá que extrapolar estos resultados. Esto se debe a que la máxima intensidad de las 4 franjas fue solamente 0.8 g. Así, deberá decidir cómo extrapolar la mediana y la desviación estándar logarítmica para valores de intensidad sobre 0.8 g. Por ejemplo, puede extrapolar utilizando la última pendiente, o bien un promedio de las últimas pendientes, entre las franjas a las cuales realizó el análisis de múltiples franjas. Cualquier forma razonable de extrapolación es válida y no afectará demasiado a sus resultados, dado que esta zona estará mayormente controlada por el colapso. Sin embargo, tenga cuidado con que la extrapolación de la mediana y desviación estándar logarítmica no resulte en valores negativos de estos parámetros (esto entregaría un error al intentar calcular la distribución de probabilidad).

Recuerde combinar la pérdida total esperada dado no colapso con la pérdida total esperada dado colapso, tal como lo vimos en clases.

3. La pérdida anual esperada en el edificio debida al daño en sus conexiones a momento.

Para esto, deberá integrar la curva obtenida en el punto anterior con la derivada de la curva de amenaza sísmica obtenida en la Parte 1. Puede utilizar la derivada analítica del polinomio de cuarto orden que ajustó en la Parte 1.

Comente todos sus resultados.