

## TAREA 4

### *Análisis Dinámico Incremental de un Sistema de MGD*

Esta tarea consiste en realizar un análisis a múltiples franjas (“multi-stripe analysis”) a un sistema de múltiples grados de libertad (MGDL). Al igual que en tareas anteriores, supondremos que la estructura se ubica en la ciudad de San Francisco, CA, EE.UU en un sitio cuya latitud y longitud son: 37.785 y -122.44, respectivamente. Usted deberá realizar un análisis a múltiples franjas utilizando los mismos registros de las Tareas 2 y 3, y deberá calcular la respuesta estructural en 4 intensidades (i.e., 4 franjas). Note que si se quiere hacer una evaluación basada en el desempeño “real” se deberían utilizar mucho más que 4 niveles de intensidad. Una vez realizado el análisis, deberá calcular la probabilidad de excedencia de varios EDPs, su frecuencia anual media, caracterizar la vulnerabilidad de la estructura según su fragilidad de colapso, y calcular la tasa anual de colapso.

#### ESTRUCTURA A ANALIZAR

La estructura a analizar consiste en un edificio de 9 pisos cuyo sistema estructural corresponde a marcos de momento. El edificio tiene un periodo fundamental  $T_1 = 2$  segundos y una fracción de amortiguamiento crítico del 5% para todos los modos.

La Tabla 1 indica las propiedades del marco a analizar, donde  $h$ ,  $W$ ,  $K$ , y  $F_y$  corresponden a la altura de entrepiso, el peso, la rigidez lateral, y la resistencia lateral de cada piso; y las columnas restantes indican los parámetros que definen el comportamiento histerético de cada piso. Note que el piso 1 se define como el primer nivel sobre el nivel de suelo (i.e., corresponde al piso 2 de arquitectura).

Tabla 1: Propiedades de la estructura a analizar

Piso	$h$ [cm]	$W$ [tonf]	$K$ [tonf/cm]	$F_y$ [tonf]	$\alpha_s$	$\alpha_c$	$\delta_c/\delta_y$
9	396.2	1066.8	330.4	1723.7	0.05	-0.02	5
8	396.2	990.3	330.4	1723.7	0.05	-0.02	5
7	396.2	990.3	348.2	1814.4	0.05	-0.02	5
6	396.2	990.3	348.2	1814.4	0.05	-0.02	5
5	396.2	990.3	366.1	1905.1	0.05	-0.02	5
4	396.2	990.3	366.1	1905.1	0.05	-0.02	5
3	396.2	990.3	375.0	1950.4	0.05	-0.02	5
2	396.2	990.3	375.0	1950.4	0.05	-0.02	5
1	548.6	1007.6	392.9	2041.2	0.05	-0.02	5

Su análisis debe considerar efectos  $P - \Delta$ . Para esto, considere que todo el peso de los pisos superiores contribuye a los efectos  $P - \Delta$ . Por ejemplo, el peso que contribuye a los efectos  $P - \Delta$  es 9006.5 [tonf] en el primer piso, 7998.9 [tonf] en el segundo, y así hasta 1066.8 [tonf] en el noveno piso.

## MODELAMIENTO Y ANÁLISIS

Para esta tarea usted debe utilizar el software educacional THAMDOF, desarrollado por el profesor Pablo Heresi. Baje el programa y lea la documentación disponible en:

<https://github.com/pheresi/THAMDOF>

Se solicita realizar un análisis a múltiples franjas de la estructura utilizando  $S_a(T_1)$  como medida de intensidad. Utilice los siguientes niveles de intensidad para su análisis: **0.1 g; 0.4 g; 0.6 g; 0.8 g.**

## RESULTADOS A DESARROLLAR

1. Genere un gráfico de la mediana del EDP como función de IM **condicionado a que no hay colapso** para:

- a. La máxima razón de derivas de entrepiso  $\delta$  del primer piso
- b. La máxima razón de derivas de entrepiso  $\delta$  del noveno piso
- c. La aceleración máxima de piso (PFA) en el techo
- d. El máximo valor de  $\delta$  en cualquier piso
- e. El máximo valor residual de  $\delta$  en cualquier piso

Estime la mediana calculando la media geométrica de sus resultados (esto es equivalente a suponer que  $EDP|IM, NC$  sigue una distribución lognormal).

Comente sus resultados.

2. Para los mismos EDPs de la parte 1, genere un gráfico de la desviación estándar logarítmica del EDP,  $\sigma_{lnEDP}$ , como función de IM **condicionado a que la estructura no colapsa**. Comente sus resultados.
3. Genere un gráfico que muestre la distribución en altura de la media geométrica de los siguientes EDP, **dado no colapso**:
  - a. La máxima razón de derivas de piso,  $\delta$
  - b. El máximo valor residual de  $\delta$
  - c. PFA

Sus resultados deben incluir 3 gráficos (1 para cada EDP) de 4 curvas cada uno (una para cada nivel de IM). Las ordenadas de cada gráfico deben corresponder a la altura de piso con respecto a la base del edificio, mientras que el eje de las abscisas debe indicar el valor de la media geométrica del EDP en estudio. Comente sus resultados.

4. Calcule y grafique la curva de fragilidad de colapso de esta estructura utilizando:
  - a. El método de mínimos cuadrados.
  - b. El método de máxima verosimilitud.

Comente las diferencias entre estos métodos.

5. Obtenga la curva de amenaza sísmica del sitio en estudio desde la pagina web del USGS (ver tareas anteriores). Considere suelo clase D y las coordenadas del sitio indicadas al comienzo de esta tarea. Grafique la curva obtenida en escala logarítmica. Realice un ajuste polinomial de tercer 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, evite utilizar tanto los primeros puntos (intensidades muy chicas, por ejemplo menores a 0.05 g) y los últimos puntos (frecuencia anual media de excedencia muy chica). Así, debe escoger el grupo de puntos del USGS a utilizar para el ajuste polinomial de forma de obtener un alto valor de  $R^2$  en el rango de interés.
6. Calcule los siguientes valores:
  - a. La frecuencia anual media de excedencia de la máxima razón de derivas de piso  $\delta$  (en cualquier piso), para  $\delta_{max} > 1\%$  y  $\delta_{max} > 4\%$ , **condicionado a que la estructura no colapsa**:  $\lambda_{EDP}(\delta_{max} > 0.01|NC)$  y  $\lambda_{EDP}(\delta_{max} > 0.04|NC)$ . Realice la integración numérica utilizando el ajuste polinomial de la curva de amenaza sísmica.
  - b. Calcule  $\lambda_{EDP}(\delta_{max} > 0.01)$  y  $\lambda_{EDP}(\delta_{max} > 0.04)$  utilizando integración numérica y el ajuste polinomial de la curva de amenaza sísmica. Esto es similar a lo que ya se calculó en la parte 6ª, pero esta vez considerando también la probabilidad de colapso. Asuma que  $\delta_{max} \gg 0.04$  si es que la estructura colapsa. Comente sobre la contribución del colapso a diferentes niveles de EDP.
  - c. Calcule la frecuencia anual media de excedencia de la aceleración máxima de piso a nivel de techo (PFA<sub>r</sub>) para 0.5 g y 1.0 g:  $\lambda_{EDP}(PFA_r > 0.5 g)$  y  $\lambda_{EDP}(PFA_r > 1.0 g)$ . Realice la integración en forma numérica y utilice el ajuste polinomial de la curva de amenaza sísmica. Suponga que  $PFA_r > 1.0 g$  si es que la estructura colapsa.
  - d. Calcule la probabilidad de colapso para los valores de IM correspondientes a niveles amenaza sísmica asociados a probabilidades de excedencia de 10% en 50 años y 2% en 50 años.
  - e. Calcule la frecuencia anual media de colapso  $\lambda_c$  de esta estructura. Realice la integración en forma numérica y utilice el ajuste polinomial de la curva de amenaza sísmica. A partir de  $\lambda_c$ , calcule la probabilidad de colapso en 50 años.