



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES  
REPUBLICA ARGENTINA

Foja 1 de 1

Programa de:

**Ingeniería Sísmica**

Código: 206 – OP14

**Carrera:** Maestría en  
Ciencias de la Ingeniería

**Mención:** Estructuras y Geotecnia

**Créditos:** 3

**Carga horaria:** 60 horas

**Horas Semanales:** 4 horas

**Objetivos**

- Introducir los elementos que definen la actividad sísmica y su importancia en la definición de sismos de diseño para obras de ingeniería.
- Presentar los métodos de análisis de sistemas con varios grados de libertad y su aplicación en estructuras civiles
- Ponderación de efectos de los sitios y de los procesos de interacción suelos-estructuras y fluidos-estructuras.

**Programa Sintético (títulos del analítico):**

Medidas de las acciones sísmicas  
Caracterización de las acciones sísmicas  
Aspectos a tener en cuenta para definir de las acciones sísmicas en un sitio  
Análisis sísmico de sistemas de múltiples grados de libertad  
Procesos de interacción en la respuesta sísmica de estructuras  
Efectos de superficie en las acciones sísmicas  
Acciones sísmicas de diseño

**Programa analítico:** Foja 2

**Bibliografía:** Foja 5

Aprobado por Res.HCD  
Fecha:

Modificado/Anulado/ por Res.HCD:  
Fecha:

El Secretario Académico de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba certifica que el programa está aprobado por el/los número/s y fecha/s que anteceden. Córdoba,

## INGENIERIA SISMICA

### PROGRAMA ANALÍTICO

#### Medidas de las acciones sísmicas

- Intensidad sísmica en un sitio. Escalas basadas en los daños a las construcciones; Escala de Mercalli Modificada. Tensor de Intensidad. Intensidad espectral.
- Magnitud de un sismo. Escalas de magnitud: Magnitud local  $M_L$ ; Magnitud según las ondas superficiales  $M_s$ ; Magnitud según las ondas de cuerpo  $m_b$ ; Magnitud  $M_w$  según el momento sísmico  $M_o$ . Saturación de las escalas de magnitud.
- Energía liberada por un sismo.

#### Caracterización de las acciones sísmicas

- Instrumentos de medición. Sismógrafos. Acelerómetros para registro de movimientos fuertes. Bandas de frecuencia de respuesta plana.
- Registros de 3 componentes de aceleración. Frecuencia de corte. Frecuencias dominantes en los registros de aceleración, de velocidad y de desplazamiento del movimiento del suelo. Variación del período dominante según la distancia al epicentro y según la magnitud sísmica.
- Duración de un sismo. Diferentes medidas: i) Entre instantes inicial y final que supera el 5% de  $g$  (*Bracketed duration*), ii) En función de la evolución temporal de la intensidad.
- Definición del ambiente sísmico en un sitio. Ondas sísmicas. Ondas de cuerpo: Ondas de presión (P) y ondas de corte (S). Ondas superficiales: Ondas de Rayleigh y ondas de Love.
- Espectros de respuesta elástica de un acelerograma. Espectro de Desplazamiento SD. Espectro de velocidad relativa SV. Espectro de máxima aceleración SA. Espectro de Pseudo aceleración (PSA). Relación entre los distintos espectros de respuesta y el espectro de amplitud de Fourier (FS).
- Procedimiento de cálculo de los espectros de respuesta. Cálculo del espectro de Fourier. Programación en Matlab. Aplicaciones a registros sísmicos disponibles.
- Correlación entre las distintas componentes de aceleración del suelo debidas al sismo en un punto. Coeficientes de correlación empíricos de registros sísmicos reales.
- Parámetros para caracterización de acelerogramas sísmicos. Intensidad de Arias. Factor de forma. Numero de ciclos equivalentes.
- Matriz de intensidad de Arias en un punto. Direcciones principales del movimiento sísmico en un punto.

#### Aspectos a tener en cuenta para definir de las acciones sísmicas en un sitio

- Peligro sísmico (*seismic hazard*). Riesgo sísmico
- Mecanismos focales de generación de sismos. Zona de subducción. Tipos de fallas: fallas normales (*dip slip*), fallas inversas (*reverse*), fallas laterales (*strike slip*), fallas combinadas (*lateral normal, lateral reverse*).
- Parámetros para definir las acciones sísmicas en un sitio. Distancia epicentral,

- profundidad.
- Atenuación de las ondas sísmicas. Atenuación geométrica de ondas de cuerpo y de ondas superficiales. Atenuación por amortiguamiento. Leyes empíricas de atenuación.
- Frecuencia media de excedencia y de ocurrencia de los sismos. Período medio de recurrencia. Ley de Gutenberg-Richter (G-R). Máximo sismo de una fuente sísmica. Probabilidad acumulada y densidad de probabilidad de ocurrencia a partir de la Ley de G-R. Probabilidad de excedencia.
- Modelo de Poisson para la evolución temporal de los sismos. Limitaciones del modelo de Poisson. Aplicación del modelo de Poisson para calcular la probabilidad de excedencia en un tiempo dado a partir de la frecuencia media de excedencia.
- Probabilidad de excedencia de un cierto parámetro sísmico. Valores característicos adoptados en códigos y reglamentos sísmicos para definir el Peligro sísmico para distintos tipos de construcciones. Regla del 10 % en 50 años. Regla del 2 % en 50 años.
- Procedimiento numérico básico para calcular el peligro sísmico en un sitio. Curvas de Peligro sísmico (*Seismic hazard curves*). Probabilidad de ocurrencia de un sismo a partir de la frecuencia media. Probabilidad condicional de la distancia de la fuente al sitio. Probabilidad de ocurrencia de sismos en un intervalo de magnitud. Probabilidad de superación del valor medio de la aceleración dado por la ley de atenuación. Ejemplo de aplicación.

#### Análisis sísmico de sistemas de múltiples grados de libertad

- Ecuaciones de equilibrio dinámico expresadas en desplazamientos totales. Excitación sísmica definida a través del histograma del desplazamiento simultáneo de todos los apoyos.
- Ecuaciones de equilibrio dinámico expresadas en desplazamientos relativos. Vector de desplazamientos relativos a los apoyos, supuestos éstos como fijos en los grados de libertad de traslaciones. Vector de carga equivalente a la acción sísmica.
- Método de descomposición modal. Aplicación al cálculo de la respuesta sísmica modal.
- Masa modal. Definición y aplicaciones
- Método estático equivalente para calcular los esfuerzos y desplazamientos en sistemas de múltiples grados de libertad producidos por las acciones sísmicas. Justificación. Limitaciones
- Vector de cargas equivalentes a la acción sísmica. Representación modal del vector de cargas. Cargas sísmicas residuales.
- Respuesta sísmica casi-estática de los modos superiores.
- Movimientos debidos al sismo que son diferentes en los distintos puntos de apoyo.
- Cálculo de la respuesta al sismo por el método de los desplazamientos totales. Acción sísmica (*input*) expresada en función de los desplazamientos del suelo.
- Método de los desplazamientos relativos. Estado estático de referencia. Respuesta dinámica calculada en función de los acelerogramas de los apoyos, y respuesta estática asociada a los histogramas de desplazamientos de los apoyos.
- Criterios de superposición de los efectos máximos de cada modo para determinar el valor máximo. Suma cuadrática completa. Estimación de los coeficientes de correlación de la respuesta según la frecuencia. Respuesta casi-estática de los modos cuya frecuencia es superior a 16 Hz.

## Procesos de interacción en la respuesta sísmica de estructuras

- Rigidez dinámica de las fundaciones. Coeficientes de rigidez estática y coeficientes de amortiguamiento efectivo de las fundaciones. Variación de la rigidez dinámica en función de la frecuencia.
- Amortiguamiento por radiación de las fundaciones.
- Interacción suelo-estructura (ISE). Desplazamiento de campo libre. Desplazamiento de las fundaciones.
- Ejemplos de interacción suelo-estructura para casos de fundaciones superficiales.
- Influencia de la interacción suelo-estructura en la respuesta sísmica. Zonas del espectro donde la ISE incrementa la respuesta de la estructura. Zona del espectro donde la ISE disminuye la respuesta de la estructura.
- Ecuaciones de equilibrio dinámico en función de desplazamientos totales teniendo en cuenta la ISE.
- Ecuaciones de equilibrio dinámico en función de los desplazamientos relativos al campo libre.
- Presiones hidrodinámicas en la cara mojada de una presa debido a las acciones sísmicas horizontales y verticales. Simplificaciones para fluido incompresible.
- Efecto de olas en la superficie del fluido debidas al sismo sobre las presiones hidrodinámicas. Aproximaciones.
- Interacción fluido estructura (IFE). Masa agregada de agua sobre la estructura.

## Efectos de superficie en las acciones sísmicas

- Reflexión de ondas de S y P en la superficie de un semiespacio elástico cuando el ángulo de incidencia es normal a la superficie libre. Onda incidente y onda reflejada en un semiespacio homogéneo con amortiguamiento histerético lineal. Solución analítica. Formulación del Programa Shake.
- Transferencia (o Deconvolución) de un acelerograma dado en un punto al correspondiente a otro punto en el espacio. Función de Transferencia.
- Amplificación de un pulso de onda en la superficie de un espacio homogéneo. Demostración que no hay amplificación de ondas armónicas en régimen estacionario debido a los efectos de superficie en un semiespacio homogéneo. Demostración que la amplificación de ondas armónicas en régimen se produce cuando hay marcado contraste entre las propiedades dinámicas del estrato superior respecto al semiespacio en el que se apoya.
- Respuesta no lineal de los suelos a la acción sísmica. Aproximación de Seed-Idriss para considerar la reducción de rigidez y el incremento del amortiguamiento del suelo en función de las deformaciones máximas efectivas. Método lineal equivalente. Iteraciones.

## Acciones sísmicas de diseño

- Espectros de diseño elástico. Espectros de diseño generales para cualquier sitio. Espectros de diseño específicos para un sitio dado. Caracterización estadística de los espectros de diseño y del valor de la aceleración de "anclaje" correspondiente.
- Acelerogramas sintéticos compatibles con los espectros de diseño. Aproximación por superposición de ondas armónicas moduladas en amplitud. Proceso de ajuste iterativo de las amplitudes de las componentes armónicas. Requerimientos normativos a los grupos de acelerogramas sintéticos.
- Espectros inelásticos de diseño para sistemas elastoplásticos ideales. Aproximación de Newmark-Blume para determinar los espectros inelásticos de diseño. Criterios normativos. Factor de reducción de los esfuerzos elásticos como consecuencia de las deformaciones inelásticas. Factor de incremento de los

desplazamientos máximos. Limitaciones implícitas para el uso de los espectros inelásticos de diseño de estructuras sismo-resistentes.

- Efectividad del amortiguamiento y de la ductilidad en reducir las acciones sísmicas.
- Criterios para calcular los efectos combinados de las tres componentes de aceleración independientes del suelo. Suma cuadrática. Superposición lineal ponderada.
- Variación espacial de las acciones sísmicas de diseño alrededor de un punto. Definición de la función Coherencia aplicada a las acciones sísmicas en dos puntos diferentes del campo libre. Coherencia de las acciones sísmicas en el sitio. Leyes empíricas que describen la Coherencia de las acciones en función de: i) la distancia entre dos puntos del campo libre, y ii) de la frecuencia.
- Efectos de fase de ondas superficiales. Diferencia de fase en función de la distancia entre puntos debida a la propagación de ondas superficiales. Efecto de ondas viajeras (traveling wave effects).

#### Bibliografía:

- F. Naeim, "The Seismic Design Handbook", Segunda Edición, (2001) Kluwer Academic Publishers.
- S.L. Kramer, "Geotechnical Earthquake Engineering", (1996) Prentice Hall. Capítulos 2, 3 y 4.
- R.K. McGuire, "Computations of Seismic Hazard", Risk Engineering Inc. (Sin datos referenciales).
- L.E. Suárez, Programas Matlab para cálculo de espectros de respuesta y espectro de Fourier. Desarrollado para el curso de Dinámica Estructuras INCI 6029. Departamento de Ingeniería Civil, UPRM.
- A.K. Chopra, "Dynamics of Structures - Theory and Applications to Earthquake Engineering", (2000) Prentice Hall.

#### Lectura obligatoria:

Los alumnos deberán leer las siguientes secciones del documento: ASCE STANDARD ASCE 4-86 "Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures..."

- Sección 2 Seismic Input
- Sección 3.2.7 Combination of Modal Component Responses

Se sugiere la lectura del todo el contenido del documento entre las páginas 6 y 39.