

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL  
MAESTRIA PROFESIONAL EN INGENIERIA CIVIL  
ENFASIS: INGENIERIA ESTRUCTURAL, SISMICA Y MATERIALES**

**PROPUESTA Y PROYECTO DE GRADO DE LA MAESTRIA DE PROFUNDIZACIÓN**

**1 PROPUESTA DE PROYECTO DE GRADO POSGRADO ICYA4291**

Los estudiantes de maestría en profundización del área de ingeniería estructural, sísmica y materiales deben inscribir y aprobar los cursos ICYA4291 y ICYA4293. Simultáneamente, el estudiante deberá cumplir con lo presentado en esta sección 1a) a 1e) de este documento, el cual es de carácter obligatorio.

**a) Descripción general**

El estudiante deberá seleccionar y diseñar una estructura. Al final del semestre, el estudiante debe presentar memorias de diseño y planos de construcción, de acuerdo con las prácticas profesionales para este tipo de proyectos. El estudiante debe sustentar la propuesta y justificar su diseño. Este diseño será la base para el curso de proyecto de grado posgrado ICYA4208.

**b) Objetivos**

- Aplicar los conocimientos adquiridos en el análisis y diseño de una estructura real.
- Desarrollar de manera integral un proyecto de diseño de una estructura con altos estándares de calidad.

**c) Tipo de proyecto**

El proyecto debe ser una estructura real localizada en una zona de amenaza sísmica alta y seleccionada de las siguientes posibilidades:

- Edificios de mínimo diez pisos.
- Bodega de mínimo 1000 metros cuadrados con luces mínimas de 15 metros.
- Puente vehicular primario de mínimo dos carriles y dos luces de 20 metros cada una.
- Edificio industrial de mínimo 1000 metros cuadrados de área con luces mayores a diez metros y/o más de tres pisos.
- Tanques de mínimo 1500 metros cúbicos.
- Otros equivalentes.

#### **d) Actividades a desarrollar y entregables**

##### Recopilación de información, selección y aprobación del proyecto:

- Descripción: Planos arquitectónicos, estudio de suelos, topografía, especificaciones del propietario (ubicación, uso, cargas, etc.), y otros estudios necesarios (hidro-meteorológicos, sísmicos, geológicos, etc.)
- Entregables: Resumen de la información relevante (máximo 2 páginas), estudios y planos como anexos. Este resumen se debe entregar para aprobación en la recepción del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental a más tardar la tercera semana de clases. Los profesores del área de estructuras se reunirán para evaluar los proyectos y los resultados se comunicarán vía email una semana después.
- Fecha de entrega: Tercera semana de clases.

##### Modelación y análisis estructural de acuerdo con normas vigentes

- Descripción: (1) Justificar el material y sistema estructural seleccionado considerando ventajas y desventajas de varias alternativas. (2) Modelar y analizar la estructura utilizando modelos tridimensionales elásticos. (3) Verificar los desplazamientos y fuerzas internas del modelo de computador usando métodos aproximados. El análisis estructural debe cumplir con el numeral A.4.4 de la NSR-10. Para estructuras que no sean edificios (por ejemplo, torres, puentes, bodegas y tanques) se deben consultar normas nacionales y/o internacionales vigentes para el análisis de dichas estructuras.
- Entregables: Memoria del análisis estructural y sustentación. La memoria debe incluir: justificación del material, sistema estructural seleccionado (ventajas y desventajas de varias alternativas), modelación de la estructura incluyendo evaluación de cargas, análisis estructural utilizando modelos tridimensionales, verificación de los desplazamientos y fuerzas internas del modelo de computador usando métodos aproximados. Se deben usar por lo menos un método aproximado para chequear desplazamientos, un método aproximado para chequear fuerzas internas por carga vertical y un método aproximado para verificar fuerzas internas por carga horizontal. Si el grupo de profesores programa sustentaciones orales, se deben preparar 20 diapositivas en Power Point o similar. No se permitirán sustentaciones proyectando memorias de cálculo en Word o Excel. Durante la sustentación, el estudiante debe tomar nota de todos los

comentarios que hagan los profesores acerca de su trabajo, ya que estos no se entregaran de manera escrita. Los documentos o planos entregados por los estudiantes servirán de apoyo a la sustentación y serán revisados y comentados durante la sustentación; los profesores no les harán correcciones escritas a estos documentos.

Fecha de entrega: Octava semana de clases.

Diseño estructural de acuerdo con normas vigentes

Descripción: (1) Diseñar la estructura basado en normas recientes para el material seleccionado. (2) Verificar manualmente el diseño de mínimo un elemento representativo de cada tipo (losas, vigas, columnas, muros, zapatas, vigas de amarre, pilotes, etc.)

Entregables: Memorias de diseño, planos de construcción (planta de cimentación, planta piso tipo o equivalente, cortes y detalles para elementos representativos), propuesta de tesis y sustentación oral. La memoria debe tener máximo 30 páginas y no debe incluir anexos de ningún tipo. Se debe dar prioridad al uso de tablas y gráficas que resuman los resultados. Se deben entregar máximo 10 planos de 50cmx35cm (cuarto de pliego). Planos entregados en otros tamaños o memorias de más de 30 páginas no serán revisadas. Para la sustentación oral se deben preparar 20 diapositivas en Power Point o similar. No se permitirán sustentaciones proyectando memorias de cálculo en Word o Excel. Durante la sustentación, el estudiante debe tomar nota de todos los comentarios que hagan los profesores acerca de su trabajo, ya que estos no se entregaran de manera escrita. Los documentos o planos entregados por los estudiantes servirán de apoyo a la sustentación y serán revisados y comentados durante la sustentación; los profesores no les harán correcciones escritas a estos documentos.

Fecha de entrega y sustentación: Periodo de exámenes finales.

El estudiante deberá asistir a todas las tutorías de los cursos de propuesta y proyecto y deberá cumplir con todos los requisitos de la clase. La inasistencia del más del 20% (ART 43 del reglamento estudiantil de maestrías) se penalice con el reprobado de la asignatura, siempre y cuando la ausencia no se encuentre dentro las excusas válidas y tiempos del párrafo del ART 44.

### e) Criterios de evaluación

La nota del curso ICYA4200 será asignada por el grupo de profesores del área de ingeniería estructural, sísmica y materiales y por el profesor de la clase de propuesta de tesis. Para que el estudiante apruebe el curso deberá obtener la calificación “Aprobado” de parte de todos los profesores.

En la evaluación del diseño de la estructura, se tendrá en cuenta:

- Calidad, profesionalismo y completitud de cada una de las entregas y sustentaciones.
- Capacidad de comunicación oral y escrita.
- Conocimientos generales de comportamiento, análisis y diseño de estructuras.
- Capacidad del estudiante para aplicar los conocimientos adquiridos en los cursos de maestría.

Se considera como fraude la entrega o utilización parcial o total de:

- Proyectos previamente diseñados.
- Proyectos elaborados en semestres anteriores por otros estudiantes.

Se espera que el estudiante:

- Conozca los fundamentos del software que utilice.
- Presente planos con altos estándares de calidad que eventualmente se puedan utilizar para construcción.
- Realice visitas a oficinas de ingeniería para conocer los estándares típicos para presentación de planos y memorias de esta clase de proyectos.
- Sea capaz de responder integralmente por su diseño.
- Trabaje de manera autónoma e independiente.
- Repase todos los temas de los cursos de la maestría.

## 2 PROYECTO DE GRADO POSGRADO ICYA4293

### a) Descripción general

Como proyecto de grado el estudiante debe desarrollar individualmente la evaluación del comportamiento de la estructura diseñada en la clase de propuesta de tesis. Al final del semestre, el estudiante debe presentar memorias del análisis avanzado (análisis no-lineal, análisis dinámico, interacción suelo-estructura-agua, etc.), modificaciones al diseño original, cantidades de obra, presupuesto y especificaciones técnicas de construcción de acuerdo con las prácticas profesionales para este tipo de proyectos. El estudiante debe comparar el diseño original con el modificado y concluir si los requisitos del código usado para diseñar la estructura son adecuados. Adicionalmente, el estudiante debe sustentar el proyecto de grado y presentar un examen oral sobre los temas de todas las clases que tomó durante la maestría.

### b) Objetivos

- Aplicar los conocimientos adquiridos en el análisis y diseño de una estructura real.
- Desarrollar de manera integral un proyecto de diseño de una estructura con altos estándares de calidad.
- Consolidar y profundizar los temas de los cursos del programa.

### c) Actividades a desarrollar y entregables

#### Avance de la verificación del comportamiento de la estructura de acuerdo con el ASCE/SEI 41-17 o similar

Descripción:

Para estructuras diferentes a torres, puentes, bodegas, tanques y otras estructuras especiales: (1) Adaptar el modelo tridimensional para realizar un análisis no lineal de la estructura. Considerar la flexibilidad de la cimentación como se establece en el capítulo 4 del ASCE/SEI 41-17. (2) Evaluar las propiedades y curvas de comportamiento inelástico de los elementos estructurales claves. Se pueden utilizar las propiedades definidas en el estándar ASCE/SEI 41-17. (3) Realizar el análisis no lineal estático de la estructura utilizando un programa de computador de acuerdo al ASCE/SEI 41-17. No olvidar considerar efectos de geometría no lineal usando como mínimo la formulación P-Delta. (4) Obtener e interpretar las curvas de capacidad (pushover) del edificio. En las curvas se debe identificar: el cortante basal de diseño

con y sin  $R$ , el desplazamiento elástico de la estructura para  $R=1$ , el cortante resistente a la aparición de la primera rótula y el cortante basal con  $R$  multiplicado por el factor  $\Omega_0$  (ver Figura C12.1-1 del FEMA P-750). Para tanques, puentes y otras estructuras especiales el estudiante debe consultar y usar normas nacionales y/o internacionales vigentes para la verificación del comportamiento de dichas estructuras (análisis no lineal estático, interacción suelo-estructura-agua, etc.).

Entregables: Sustentación oral y memorias. Las memorias deben incluir el diseño elástico corregidas y el avance en la verificación del comportamiento no lineal de la estructura. Las memorias deben tener máximo 30 páginas y no debe incluir anexos de ningún tipo. Se debe dar prioridad al uso de tablas y gráficas que resuman los resultados. Para la sustentación oral se deben preparar 20 diapositivas en Power Point o similar. No se permitirán sustentaciones proyectando documentos en Word o Excel. La presentación de informes debe cumplir con los estándares utilizados en la práctica profesional. Durante la sustentación, el estudiante debe tomar nota de todos los comentarios que hagan los profesores acerca de su trabajo, ya que estos no se entregarán de manera escrita. Los documentos o planos entregados por los estudiantes servirán de apoyo a la sustentación y serán revisados y comentados durante la sustentación; los profesores no les harán correcciones escritas a estos documentos.

Fecha de entrega y sustentación: Octava semana de clases.

#### Verificación del comportamiento de la estructura diseñada de acuerdo con el ASCE/SEI 41-17 o similar

Descripción: Para estructuras diferentes a torres, puentes, bodegas y tanques: (1) Estimar manualmente el desplazamiento en cubierta máxima (“target displacement”) que alcanzará el edificio para el sismo de diseño. (2) Interpretar y comparar los resultados en términos de: el rango de comportamiento elástico, el límite de fluencia general del edificio y la capacidad última y mecanismo de colapso esperado, el “target displacement” entre los métodos de computador y los métodos aproximados. En las curvas de capacidad se debe identificar: el cortante basal de diseño con y sin  $R$ , el desplazamiento en cubierta elástico de la estructura ( $R=1$ ), el “target displacement”, el cortante resistente a la aparición de la primera rótula y el cortante basal con  $R$  multiplicado por

el factor  $\Omega_o$  (ver Figura C12.1-1 del FEMA P-750). (3) Definir si los análisis conducidos son adecuados de acuerdo con las limitaciones presentadas en el ASCE/SEI 41-17. (4) Emitir un concepto sobre el nivel de comportamiento esperado para la estructura. (5) Proponer posibles modificaciones al diseño para mejorar el comportamiento esperado del edificio, en términos de resistencia, ductilidad y nivel de daño de acuerdo al ASCE/SEI 41-17. (6) Comparar el diseño original con el modificado y concluir si los requisitos del código usado para diseñar la estructura son adecuados. Para tanques, puentes y otras estructuras especiales el estudiante debe consultar y usar normas internacionales vigentes para el análisis no-lineal de dichas estructuras.

Entregables: 10 planos de construcción modificados de 50cmx35cm (cuarto de pliego) y memorias completas incluyendo diseño lineal, verificación no-lineal de acuerdo con ASCE/SEI 41-17, resumen de cantidades de obra, presupuesto preliminar y especificaciones técnicas especiales (ver numeral e). Las memorias deben tener máximo 45 páginas y no debe incluir anexos de ningún tipo. Todos los entregables se deben realizar para elementos representativos únicamente. Planos en tamaños diferentes al especificado o memorias de más de 45 páginas no serán revisadas. Durante la sustentación, el estudiante debe tomar nota de todos los comentarios que hagan los profesores acerca de su trabajo, ya que estos no se entregaran de manera escrita. Los documentos o planos entregados por los estudiantes servirán de apoyo a la sustentación y serán revisados y comentados durante la sustentación; los profesores no les harán correcciones escritas a estos documentos.

Fecha de entrega: Último día de clases.

El estudiante deberá asistir a todas las tutorías de los cursos de propuesta y proyecto y deberá cumplir con todos los requisitos de la clase. La inasistencia del más del 20% (ART 43 del reglamento estudiantil de maestrías) se penalice con el reprobado de la asignatura, siempre y cuando la ausencia no se encuentre dentro las excusas válidas y tiempos del párrafo del ART 44.

#### Sustentación y examen de conocimiento

Descripción: El proyecto de grado se debe sustentar oralmente mediante una presentación de 15 min seguida por 10 min de preguntas acerca del proyecto. Posteriormente, se realizará un examen oral de conocimiento de 20 minutos basado en los temas de los cursos vistos durante la

maestría. Para la sustentación oral se deben preparar 15 diapositivas en Power Point o similar. No se permitirán sustentaciones proyectando documentos en Word o Excel.

Entregables: Presentación. Máximo 15 diapositivas.  
Fecha: Periodo de exámenes finales

#### d) Criterios de evaluación

La nota del proyecto de grado será asignada por el grupo de profesores del área de ingeniería estructural, sísmica y materiales una vez finalizada la sustentación y el examen de conocimiento, teniendo en cuenta:

- Calidad, profesionalismo y completitud de cada una de las entregas y sustentaciones.
- Capacidad de comunicación oral y escrita.
- Conocimientos generales de comportamiento, análisis y diseño de estructuras.
- Capacidad del estudiante para aplicar los conocimientos adquiridos en los cursos de maestría.

Se considera como fraude la entrega o utilización parcial o total de:

- Proyectos previamente diseñados.
- Proyectos elaborados en semestres anteriores por otros estudiantes.

Se espera que el estudiante:

- Conozca los fundamentos del software de análisis no-lineal que utilice.
- Presente planos con altos estándares de calidad que eventualmente se puedan utilizar para construcción.
- Realice visitas a oficinas de ingeniería para conocer los estándares típicos para presentación de planos y memorias de esta clase de proyectos.
- Sea capaz de responder integralmente por su diseño.
- Trabaje de manera autónoma e independiente.
- Repase todos los temas de los cursos de la maestría.

La nota final se calculara con base en los siguientes porcentajes:

- Primera entrega:
  - Sustentación oral 10%
  - Informe 15%
- Segunda entrega
  - Sustentación oral 20%
  - Informe 20%
- Examen de conocimiento 35%

#### e) Documento para la biblioteca

El estudiante deberá elaborar y revisar un documento resumen de máximo 45 páginas (sin contar anexos) para entregar en la biblioteca que incluya como mínimo los siguientes aspectos:

- Portada y tabla de contenido
- Resumen
- Abstract
- Introducción (máximo 4 páginas): antecedentes, objetivos y alcance.
- Resumen del análisis estructural (máximo 15 páginas): justificación del material, sistema estructural seleccionado (ventajas y desventajas de varias alternativas), modelación de la estructura incluyendo evaluación de cargas, análisis estructural utilizando modelos tridimensionales, verificación de los desplazamientos y fuerzas internas del modelo de computador usando métodos aproximados.
- Resumen del diseño estructural (máximo 10 páginas): memorias de diseño, planos de construcción (planta de cimentación, planta piso tipo o equivalente, cortes y detalles para elementos representativos). En el documento solo se incluyen algunos esquemas representativos; los planos van como anexo en formato magnético.
- Resumen de los análisis no lineales de verificación de comportamiento (máximo 15 páginas). Para estructuras diferentes a torres, puentes, bodegas y tanques: descripción del modelo no lineal, curvas de pushover, desplazamiento en cubierta esperado (“target displacement”), interpretación de resultados en términos de rango de comportamiento elástico, límite de fluencia general del edificio, capacidad última y mecanismo de colapso esperado. Para tanques, puentes y otras estructuras especiales, se deben incluir detalles de la modelación y los resultados obtenidos. Además, se debe: definir si los análisis conducidos son adecuados, emitir un concepto sobre el nivel de comportamiento esperado para la estructura, proponer posibles modificaciones al diseño para mejorar el comportamiento esperado del edificio, en términos de resistencia, ductilidad y nivel de daño de acuerdo al ASCE/SEI 41-17 y comparar el diseño original con el modificado para concluir si los requisitos del código usado para diseñar la estructura son adecuados.
- Cantidades de obra, presupuesto y especificaciones técnicas especiales.

Dado que el estudiante es el autor del documento, su contenido es enteramente de su responsabilidad. El estudiante debe revisar organización, ortografía, redacción y veracidad del documento. Si el documento tiene errores, no será aceptado y se podría retrasar la fecha de graduación.