



PLAN DE ACTIVIDAD DOCENTE

La asignatura ***ANÁLISIS ESTRUCTURAL I***, en la FRBB-UTN está ubicada en el Tercer Nivel de la carrera de Ingeniería Civil, del Área Estructuras del Bloque Tecnologías Aplicadas. Se dicta con una carga horaria de 160 hs, durante el primer semestre del año.

La carga horaria se distribuye en mitades prácticamente iguales, entre las actividades de la teoría y la práctica. En este último caso, el Diseño Curricular establece que los problemas deben ser del tipo abierto, remedando en lo posible, la práctica profesional.

En cuanto a las correlativas precedentes, se establece que para ingresar a la asignatura, deben estar aprobadas, ***Ingeniería Civil I, Física I, y Estabilidad***, y como materias cursadas están ***Ingeniería Civil II*** y ***Resistencia de Materiales***.

OBJETIVOS

Los objetivos de la asignatura, según la Ordenanza vigente de la carrera, son:

- Conocer los conceptos físicos de matriz de rigidez y flexibilidad y modelo teórico de análisis.
- Desarrollar capacidad para resolver sistemas estructurales planos por métodos automáticos de análisis, modelar e interpretar resultados y verificar la validez de los modelos de análisis.
- Despertar interés por los instrumentos de cálculo disponibles y su adaptación a la solución de problemas estructurales.

PERFIL DEL ALUMNO DE LA ASIGNATURA

En el *curriculum* de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad Regional, se requiere que los estudiantes aprueben los cursos de ***Estabilidad, Resistencia de Materiales, ANÁLISIS ESTRUCTURAL I, Análisis Estructural II***. Cabe también la posibilidad de incluir la electiva ***Estructuras Especiales***.

Teniendo en cuenta que en el campo de la ingeniería, la mayor parte de las fallas estructurales ocurren por alguna de las dos razones siguientes: (1) falla en los materiales, (2) inestabilidad estructural, cuando el alumno aprueba Análisis Estructural I cierra el primer ciclo básico que le permite sortear satisfactoriamente el primer tipo de falla.

En efecto, cuando el alumno ingresa a la asignatura, conoce del fracaso estructural causado por la falla del material, y sabe que ésta está gobernada por las propiedades de resistencia del mismo (tensión de fluencia), y que es independiente de su geometría.

La falla estructural ha sido abordada como problemática en las asignaturas de ***Estática*** y ***Resistencia de Materiales***, en donde se ha estudiado preponderantemente el comportamiento de los materiales elásticos ideales. Adicionalmente, el alumno ya ha adquirido el conocimiento general de las propiedades y características de los materiales ingenieriles, incorporados en ***Tecnología de los Materiales*** y similares, donde han tenido especial preponderancia, la presentación del hormigón y del acero. Las asignaturas ***Ingeniería Civil I*** y ***II*** han puesto en relevancia las responsabilidades profesionales.

Cuando el alumno aprueba el curso de ***ANÁLISIS ESTRUCTURAL I***, completa el ciclo que le permite predecir el comportamiento estructural, puesto que es capaz de determinar las reacciones, deflexiones y esfuerzos internos, tanto en estructuras estáticamente determinadas como indeterminadas.

La investigación metódica de la estabilidad, resistencia y rigidez de las estructuras es lo que en definitiva se conoce como análisis estructural, y el propósito en esta asignatura se da



por cumplido, cuando el alumno es capaz de obtener una estructura de barras geoméricamente estable, y logra comparar satisfactoriamente los esfuerzos y deformaciones desarrollados por las causas existentes, con los esfuerzos y deformaciones permisibles.

Si bien la formación en cuanto a conocimientos de resistencia de materiales se estima satisfactoria, se observan por lo general dos debilidades, que en el Curso de *ANÁLISIS ESTRUCTURAL I* deben ser subsanadas. En primera instancia, se detecta que el alumno cifra demasiadas expectativas en su poderosa computadora de bolsillo, resultándole extraña la idea de que el diseño estructural no sea una ciencia exacta, y que no tiene sentido obtener resultados con diez cifras significativas. El estudiante no posee aún acabada cuenta, de que los métodos de análisis se basan en suposiciones parcialmente ciertas, de que las resistencias de los materiales varían y que las cargas máximas solo pueden determinarse en forma aproximada. En la cátedra se debe reforzar la idea de que la ingeniería estructural no es una ciencia exacta, y de que los criterios de diseño deben acomodarse a esta incertidumbre.

Es importante que el alumno adquiera aquí el concepto, de que la estructura en estudio, se la analiza con la ayuda de un modelo aproximado, y que en la determinación del mismo, el alumno ha aceptado una serie de suposiciones y simplificaciones de análisis. Por ejemplo, dentro de éstas, el modelo está en equilibrio estático, las cargas se han aplicado gradualmente sin impartirles energía cinética, el sistema es conservativo y su funcionamiento no depende del tiempo. Incluso, el material de que se trata la mayoría de las veces, es homogéneo, isótropo, continuo, y satisface la ley de Hooke. Además, las deformaciones aceptables tienen que ser pequeñas, elásticas, y no deben alterar significativamente la geometría inicial de la estructura. El principio de la superposición lineal, tiene prácticamente validez universal en el campo de la asignatura.

La estructura se modela representando a las barras por los ejes centroidales de sus miembros, soportada por medio de restricción idealizada y sometida a cargas simbólicas supuestas.

El otro aspecto a corregir, es la dificultad que posee el alumno para formular los detalles constructivos. El alumno se muestra inseguro a la hora de plasmar en croquis o en planos, las dimensiones de los elementos estructurales tridimensionales que él mismo ha calculado. Desconoce la importancia de que los mismos, una vez efectuados, son los que permiten la construcción final en obra.

SIGNIFICACION DE LA ASIGNATURA

Algunos autores (A. Bignoli) señalan, hoy en día que *“ya no existe el arte de analizar estructuras. El análisis estructural lineal tiende rápidamente hacia su total automatización”*. Efectivamente, es verdad de que existe una gran variedad de programas de computadora que realizan el análisis estructural, a partir de los datos geométricos y mecánicos que definen la estructura.

Esta situación, determina la posibilidad de que haya un enfoque diferente al que tradicionalmente se le asignaba a la asignatura *ANÁLISIS ESTRUCTURAL I*. En efecto, además de mantener el tradicional enfoque del estudio de los métodos clásicos de resolución estructural, se incorpora aquí el análisis matricial, con el auxilio de las computadoras.



El análisis matricial sigue estando vigente, y existen a nuestro juicio, dos razones sumamente valederas, por las cuales el alumno debe conocerlo.

En primer lugar, el análisis matricial implica la división de la estructura en sus elementos constitutivos (barras, nudos) y obliga a pensar y a expresar matemáticamente el modelo de la estructura, esto es, a unir las diversas partes en un todo ordenado. El modelo logra así reproducir la situación estructural real analizada, y esto introduce invariablemente, conceptos válidos a la hora de proyectar estructuras, uno de los fines últimos de los ingenieros estructuralistas.

Por otro lado, el análisis matricial, introduce respuestas a las operaciones que realiza la computadora, al resultar en todo momento conocidas las instrucciones que han sido organizadas por el alumno.

La intromisión de la computadora, como herramienta en la cual se delega el cálculo tedioso, permite liberar una mayor disponibilidad de tiempo que se dedica al diseño, es decir, a la tarea de concebir formas, elegir y aún inventar nuevos materiales, seleccionar tecnologías, etc. Es evidente que para proyectar, es necesario conocer el comportamiento íntimo estructural, conocimiento éste que solo se adquiere analizando estructuras.

La ventaja del cálculo matricial, es que las formas y métodos conocidos del análisis de las estructuras, quedan resumidos y exaltados en las expresiones matriciales, y esto permite analizar cualquier tipo de estructura mediante la herramienta computacional. Efectivamente, el cálculo matricial a la par de implementar rápidamente el cálculo en un programa computacional, permite representar en forma concisa y clara las leyes de la física.

Atento a esto, una parte importante del curso debe ser dedicada a la posibilidad de implementar en la computadora programas sencillos, y es esperable que los alumnos puedan desarrollar simples manipulaciones simbólicas con ayuda de MAPLE y/o MATLAB.

Es de destacar que la mayoría de los casos estudiados en *ANÁLISIS ESTRUCTURAL I*, son bidimensionales. Si bien los denominados métodos energéticos son introducidos en esta asignatura, atento a que tradicionalmente el énfasis se pone en la resolución manual, existen por lo general, pocas oportunidades de abordar el análisis tridimensional.

Atento a lo anterior, resulta evidente que, a fin de adquirir un conocimiento más profundo en la ingeniería estructural, los alumnos deban tomar cursos más avanzados en el análisis matricial y/o en el Método de Elementos Finitos (MEF). En estos cursos, la práctica recae en la casi totalidad de los casos, en el uso de software específico con implementación computacional. De este modo, es posible enfatizar con el mismo grado de profundidad, el análisis de estructuras en dos y tres dimensiones, y desarrollar al mismo tiempo, una correcta comprensión del análisis estructural mediante el uso de las computadoras.

En la actualidad, la mayor parte, sino absolutamente todo el cálculo estructural, es realizado con la ayuda de la computadora y de programas específicos. Por esta razón, resulta imperativo que los ingenieros estructurales puedan comprender que es lo que se encuentra en estas “cajas negras”, y desarrollen una adecuada seguridad, tanto personal como profesional, que les permita abrir y modificar estos programas de cálculo, realizar ciertas modificaciones, y lo más importante, comprender los límites de los mismos.

Con el actual énfasis con que el MEF ha irrumpido en todas las ingenierías, incluyendo lógicamente a civil, muchos estudiantes se sienten tentados a no asignarle importancia a este tipo de materia, ya que desean involucrarse directamente con los cursos de MEF. Sin



embargo, el curso de *ANÁLISIS ESTRUCTURAL I* sigue siendo una oportunidad válida para comprender la conexión y el rol existente entre ambos tipos de cursos.

El MEF se refiere al análisis del medio continuo principalmente en dos y tres dimensiones. De este modo, la incógnita primera la constituyen los desplazamientos nodales, y los esfuerzos internos están restringidos usualmente a la determinación de las tensiones. Mientras que el medio continuo en dos y tres dimensiones resulta esencial para modelar la realidad estructural en la ingeniería civil (estructuras tales como represas, cáscaras, fundaciones), la mayoría de las estructuras en la ingeniería civil, es posible modelarlas mediante barras, como vigas, columnas, etc., es decir, elementos unidimensionales. Precisamente, para estos elementos, los desplazamientos y fuerzas internas son, si se quiere, más complejos que aquellos encontrados en los elementos finitos continuos.

Contrariamente a lo que ocurre en el medio continuo, analizado bajo MEF en donde el desplazamiento es casi sinónimo de traslación, en los elementos unidimensionales, y dependiendo en el tipo estructural, los desplazamientos generalizados pueden incluir traslaciones, y/o rotaciones flexionales y/o torsionales. De igual modo, los esfuerzos internos no se miden solo por las tensiones, sino por fuerzas axiales, de corte, momentos flexionales y torsionales. Estos conceptos son más relevantes en el diseño y análisis de la mayoría de las estructuras de la ingeniería civil.

Por lo tanto, el Análisis Estructural, basado en el análisis matricial estructural, se constituye en un puente entre el análisis introductorio y los cursos de elementos finitos. La matriz de rigidez elemental se presenta aquí, derivándola a partir de los métodos del análisis estructural básico, y luego, utilizando los conceptos de energía. Esta última aproximación, es la que se utiliza en los cursos de FEM.

La reducción de lo continuo a lo discreto, es importante en la formación ingenieril, puesto que permite visualizar que el análisis estructural es una forma válida de conocer la mecánica estructural, y por lo tanto, debe verse que detrás de cada matriz subyace un hecho físico, propio de la ingeniería.

La materia brinda también una oportunidad para el tratamiento del coeficiente de seguridad y sus alcances. Es usual que en las materias donde se han analizado los materiales propios de la ingeniería estructural, el coeficiente de seguridad se presenta como la relación entre la resistencia última del miembro respecto al esfuerzo máximo esperado. Se debe dejar perfectamente en claro, que existen otros criterios para fijar el coeficiente de seguridad, tal como evitar fallas derivadas de deformaciones excesivas. Además, el coeficiente de seguridad, está sujeto a una gran serie de incertidumbres, de ahí que algunos proyectistas denominan a este índice el *factor de ignorancia de la estructura*. Esto debe ser destacado.

ANÁLISIS DE CONTENIDOS

La unidad 1, permite presentar la asignatura y su relación con otras áreas afines del Diseño Curricular. Facilita recordar algunos conceptos vistos en otras asignaturas e introduce el conocimiento de los distintos tipos de tipologías estructurales y también de los llamados teoremas energéticos.

Todo este permite que el alumno se familiarice con los distintos tipos estructurales en relación a su función, se sensibilice con las diferentes geometrías según los roles que cumplen las estructuras. Además, logra reconocer los vínculos de apoyo, las vinculaciones establecidas



entre los distintos miembros, y las diferencias entre los sistemas isostáticos y los hiperestáticos. También, se debe considerar el rol del análisis en el proceso de diseño estructural, y los modos de idealizar las estructuras a fin de obtener un modelo adecuado a fin de reproducir la realidad. Debe también quedar en claro, que cuando un ingeniero diseña una estructura para alguna determinada función, debe hacerlo contemplando la seguridad, la estética y el servicio a prestar, además de considerar las restricciones económicas y medio ambientales.

Uno de los desafíos a los cuales el futuro profesional deberá acostumbrarse, es determinar las cargas y métodos de diseño. Como ello implica invariablemente recurrir a los códigos vigentes, si bien esto no constituye una prioridad para la asignatura, se debe introducir aquí la idea de que en las llamadas cargas de servicio estructural, interviene la colaboración de los códigos. Esto aminoraría el impacto que se produce normalmente en las materias de especialización, en los niveles superiores, en las cuales, por lo general, el alumno desconoce la existencia de estos códigos.

La Unidad 2 introduce el teorema fundamental de Trabajos Virtuales. Trata preponderantemente los sistemas planos isotáticos en reticulados y sistemas de alma llena. Este permite que el alumno comienza a evidenciar las hipótesis simplificativas introducidas en el cálculo estructural, a los fines de determinar los esfuerzos y deformaciones de los sistemas bajo carga, y afectados por variaciones de temperatura y asientos de apoyo.

La Unidad 3, plantea los sistemas hiperestáticos y los clásicos métodos de resolución: método de las fuerzas, métodos de deformaciones. Se deriva la resolución matricial de las estructuras. Se logran conocer los fundamentos matemáticos y físicos del cálculo moderno de las estructuras, al identificar los elementos básicos de éste, es decir, matriz de rigidez, vector de desplazamientos, vector de cargas, y su significado físico. Se vislumbra además, la potencialidad del MEF.

Esto brinda la oportunidad de que el alumno comprenda que la realidad es infinitamente más compleja que el modelo que se pueda plantear. Efectivamente, el modelo describe en forma aproximada la realidad.

La Unidad 4 introduce el cálculo de líneas de influencia en reticulados, vigas, vigas continuas y pórticos.

La Unidad 5 hace una introducción al régimen plástico, es decir, cuando el comportamiento lineal deja de satisfacerse.

METODOLOGIA DE ENSEÑANZA

La metodología que se propone, aborda la introducción de los contenidos de la asignatura desde la teoría, que debe complementarse con la práctica, que integra los conocimientos desde aplicaciones casi-profesionales, tal cual lo solicita el Diseño Curricular de la carrera.

Se utilizan los criterios de enseñanza y aprendizaje tradicionales. En las clases, tanto teóricas como prácticas, se busca promover la participación activa de los alumnos, de forma que la misma resulte interactiva y consultiva.

Por lo general, se prevé el uso de la tiza y el pizarrón. En algunos casos de unidades mayormente informativas, se podrán utilizar medios de proyección (PC y proyector).



Se considera fundamental la interacción entre unidades teóricas y prácticas. Se promueve la participación en las clases prácticas. La resolución de problemas cotidianos, del tipo denominados abiertos, que introducen la problemática de la especialidad.

La carpeta de trabajos es complementada con tareas adicionales, obligatorias para quienes cursan la asignatura, y su propósito es afianzar conceptos teóricos y de diseño, y a su vez, disponer de situaciones estructurales diferentes a las que se tiene en la ejercitación individual, ampliando la formación del alumno para el análisis de los sistemas resistentes.

Además de la actividad tradicional en aula, para completar su capacitación, los estudiantes trabajan en el gabinete informático, conociendo y utilizando para el cálculo software específico como MAPLE y MATLAB, ya vistos en *Fundamentos de Informática*.

Los alumnos trabajan en comisiones de tres a cinco integrantes, a fin de promover la interoperación. El propósito es remedar la actividad interdisciplinaria de la vida profesional, ya que invariablemente la metodología promueve la distribución de las acciones dentro de cada Comisión de alumnos.

Debido a que el diseño en ingeniería estructural involucra, por lo general, una escala de obra importante en magnitud, tal el caso de puentes, estructuras de edificios, caminos, represas, resulta dificultoso poder desarrollar proyectos reales de diseño, durante el cursado de la asignatura. Esta situación, se ve de alguna manera agravada, cuando los cursos son numerosos. Esto introduce un desafío a la hora de formar a los estudiantes. Las visitas a obras locales, parecen ser una alternativa válida a la hora de exponer a los alumnos a proyectos de construcción de magnitud. De este modo, los estudiantes pueden observar las cuestiones prácticas de los procesos de construcción, a la par de familiarizarse con los detalles constructivos que definen el comportamiento estructural.

La propuesta de las visitas de obras, se complementa con dos informes, cuyas características se detallan más adelante. Ellos son el Informe de Detalles Constructivos, y el Informe de Predimensionado, Análisis de Carga, Cálculo y Verificación.

EVALUACIÓN

El primer día de clase la cátedra pone en conocimiento de los estudiantes las modalidades de cursado de la materia: a) Regularización. b) Promoción.

Requisitos para c/u de ellas.

Regularidad: El alumno debe lograr una asistencia no menor al 75% de las clases. Debe aprobar la carpeta de trabajos prácticos y dos Informes de aplicación ingenieril. Ellos son los Informes sobre Detalles Constructivos y el Predimensionado de una estructura de hormigón.

Con respecto a los exámenes parciales, se prevé la Evaluación Diagnóstica y otros dos exámenes parciales.

La primera ocurre durante la primera semana de inicio de actividades académicas, y constituye una evaluación de las capacidades, habilidades y conocimientos, que el alumno posee al ingreso de la asignatura, y que se consideran básicas para abordarla.

El alumno debe aprobar dos exámenes parciales, con mayor incidencia de práctica, con puntaje igual o mayor a sesenta sobre cien. Al final del cuatrimestre se prevé la recuperación de uno solo de ellos.

A su vez, debe aprobar los siguientes dos informes, que buscan promover el concepto de que proceso de cálculo estructural de ninguna manera puede desprenderse del diseño estructural.



INFORME DETALLES CONSTRUCTIVOS

Los alumnos se constituyen en Comisión, de tres a cinco integrantes.

En las primeras dos semanas de clases, además de la formación práctica, los alumnos deberán presentar este Informe, que consiste en recabar de la realidad de obras locales, los detalles constructivos que logran plasmar las archiconocidas condiciones de vínculos de las estructuras. En general, se detecta que el alumno llega a la materia, sin ser normalmente capaz de esquematizar correctamente, el clásico apoyo simple, el empotramiento, la articulación, tanto en estructuras de hormigón como metálicas.

Se observa pues, que el puente entre la abstracción del modelo y la realidad, aún no está convenientemente tendido.

El informe debe incluir la descripción funcional de los apoyos, y la presentación de detalles y croquis propios de taller, obtenidos por el alumno a partir de la realidad.

Informe Predimensionado, Análisis de Carga, Cálculo y Verificación

Los alumnos se constituyen en Comisión, de tres a cinco integrantes. Cada Comisión debe entregar el Informe que verse sobre el cálculo de una estructura de hormigón armado, correspondiente a un edificio de varios pisos.

La propuesta busca que el alumno sea capaz de integrar un sinnúmero de conocimientos que ya posee a esta altura de la carrera, cuando aborde la tarea de predimensionar la estructura ya mencionada.

Se pretende que al alumno comience a prestar atención a las geometrías usuales puestas en juego a la hora de calcular edificios de hormigón armado. Es usual constatar, que el alumno no está familiarizado con las dimensiones típicas de este tipo de estructuras, resultándole sumamente difícil la tarea de predimensionar. Se pretende favorecer en el alumno, una mirada crítica por su entorno, sensibilizándolo para la tarea de predimensionado, tarea básica y elemental en toda estructura real, que por lo general, es hiperestática.

A fin de analizar el estado de cargas previsible en el edificio, se busca que el alumno comience su trato con los Reglamentos CIRSOC, ya sea para cuantificar el estado de carga de pesos propio del edificio, sobrecargas, y también las cargas más usuales, como viento y sismo.

Se pretende además, que el alumno pueda modelar diferentes alternativas estructurales, para modelar el comportamiento de la estructura. Para ello, se aplicará un programa informático para determinar los esfuerzos en la estructura.

Obtenidos los esfuerzos, el alumno podrá corroborar mediante el simple análisis de las tensiones de trabajo si la propuesta de predimensionado ha sido correcta o no.

El informe debe incluir croquis, análisis de cargas y sobrecargas, modelos de cálculo, planos, etc. Finalmente, el mismo acrecentará el acervo bibliográfico del Departamento.

Promoción: El alumno debe aprobar los dos exámenes parciales con un puntaje igual o mayor a sesenta sobre cien, dando cuentas de su habilidad para satisfacer los objetivos de la asignatura. Puede complementarse con una evaluación oral. En el caso de aprobar los parciales con un puntaje entre sesenta y ochenta sobre cien se promocionará mediante examen final.

Examen Final:

Los exámenes finales son del tipo teórico-prácticos, realizados por escrito. Se entrega al alumno una hoja con los temas y ejercicios a desarrollar. De acuerdo a los temas y ejercicios resueltos presentados por el alumno, se realizan preguntas teóricas para establecer el grado de comprensión de los conocimientos.