

INTERRELACIONES DE LA DOCENCIA E INVESTIGACIÓN EN LAS ESTRUCTURAS ARQUITECTÓNICAS PARA CURSOS SUPERIORES.

Félix Escrig Pallares, José Sánchez Sánchez, Miguel Ángel Cobreros Vime, Enrique Vázquez Vicente, Victor Compán Cardiel, Teresa Rodríguez León y Rafael Bueno

Departamento de Mecánica de Medios Continuos, Teoría de Estructuras e Ingeniería del Terreno.
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Universidad de Sevilla

RESUMEN

Se trata de exponer los avances obtenidos a al aplicar metodologías docentes en que se combinan los procesos de investigación que conduce este grupo de autores con los contenidos de los conocimientos que se pretende transmitir y las habilidades que proporcionan.

Los alumnos se sumergen en un método en que nada se les da como inventado sino que tienen que participar en el descubrimiento.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las aportaciones docentes más importantes que consideramos se han planteado en la docencia de las estructuras de edificación desde el grupo de profesores que conformamos el proyecto metodológico STAR es la vinculación de los proyectos de investigación desarrollados por los componentes del grupo a las prácticas docentes y al enfoque de las materias más conceptuales. En este sentido consideramos la docencia como aplicada a la práctica real de la arquitectura tanto en su vertiente convencional como en la experimental a través de los propios proyectos de investigación del grupo.

2. OBJETIVOS GENERALES

El primer objetivo docente es conseguir que el estudiante se enfrente al problema con la conciencia de que lo que se puede dibujar se pueda construir. Es un planteamiento radical con el que no hay por qué estar de acuerdo pero que proporciona una cierta independencia e imaginación y contrasta con el hecho actual de “solo dibujo lo que se que sé hacer”. Consideramos pues la representación gráfica como una parte previa e importantísima en la definición estructural. Todas las herramientas de dibujo se aportan al diseño y exigimos un amplio conocimiento de programas de dibujo para avanzar en el programa de las materias. En las ocasiones en que la preparación del alumno es insuficiente se plantean herramientas para que adquieran manejo en las ellas y se proponen clases de apoyo para la comprensión del espacio y de las superficies.

En nuestro concepto de docencia estructural entra el aprendizaje, fuera de los programas de las asignaturas, de nuevos instrumentos de representación y construcción espacial. En estos momentos el software a disposición del diseñador es tan poderoso que consideramos imprescindible el aprovechamiento de su potencial. Requerimos que el alumno maneje alguno de los programas clásicos como el Autocad o el Rhinoceros en sus versiones más actualizadas y se aportan nociones de programas paramétricos como el Catia o el Grasshopper, más para estimularles en su aprendizaje que para darles clases de los mismos.

Por desgracia nos encontramos con el hecho de que la representación gráfica aprendida en asignaturas dedicadas a ello ha incidido más en la representación de la imagen que en la materialización del objeto. Cuando las líneas tienen sección y las superficies espesor aparecen problemas de compatibilidad que afectan directamente al diseño estructural. Por ejemplo un hecho tan elemental como dibujar una viga con dos líneas paralelas en lugar de simplificarla a una sola línea representa de por sí un cambio de actitud.

Le sigue en el tiempo la comprensión de los tipos existentes y las ideas generadoras junto con la justificación de su existencia. El alumno en este proceso comprende porque a determinados problemas se puede acercar desde distintas formas y cómo aspectos no estructurales pueden tener más importancia en el diseño que la propia estática o la optimización, tan sobrevaloradas en la pedagogía clásica.

En este sentido se valora especialmente la evolución histórica desde tiempos antiguos ya que la complejidad de las estructuras antiguas es tan grande, si no mayor, que muchas de las

actuales. La historia nos hace tener conciencia de que no hemos sido nosotros los que hemos inventado el mundo y proporciona lecciones de los viejos grandes maestros, conocidos o anónimos.

La piedra, la madera, el ladrillo el hormigón, el acero y los nuevos materiales sintéticos se muestran a través de ejemplos realizados analizados desde el punto de vista del comportamiento estructural. Se emplaza a los alumnos a que busquen ejemplos de los tipos que vamos a estudiar casi antes de que se hable de ellos. De este modo se les abre la puerta de la curiosidad puesto que contrastan lo que han encontrado con lo que nosotros consideramos importante y les explicamos.

Se aportan como ejemplo problemas para la asignatura proyectos de estructuras.

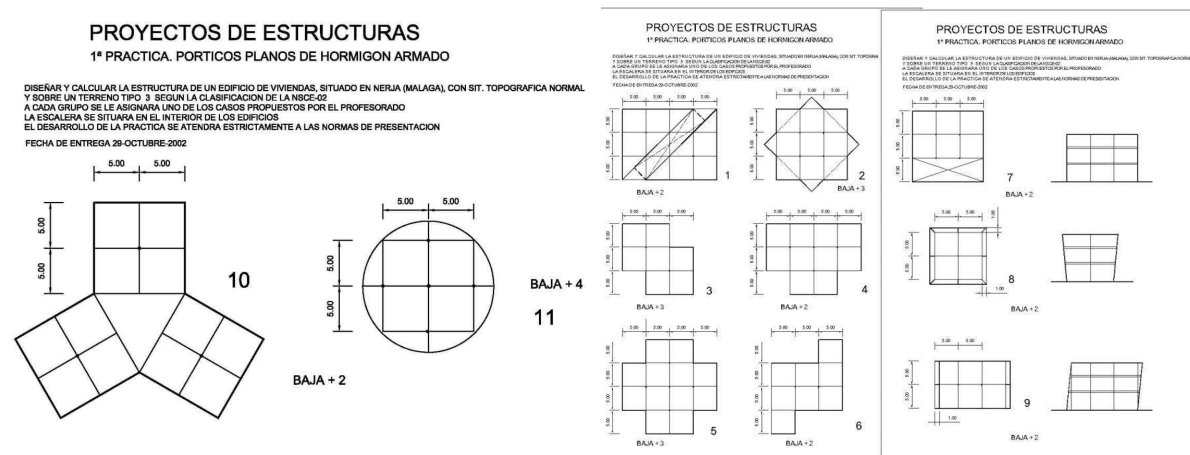


Figura 1. Ejemplos de la primera práctica con que se empieza el curso de Proyectos de estructuras.

3. OBJETIVOS PARTICULARES.

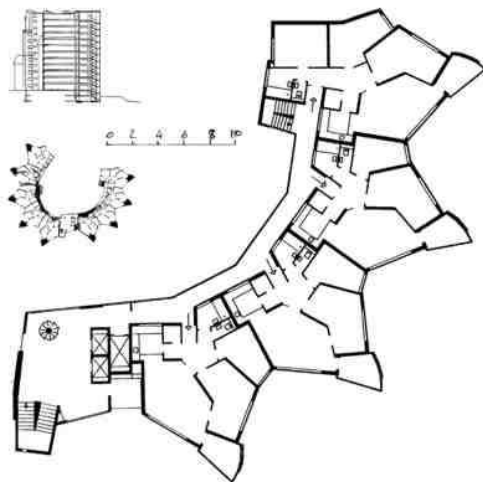
Los aspectos analíticos comienzan a adquirir importancia en el momento en que se idealiza la forma para convertir unos modelos geométricos en un modelo de cálculo, es decir reducibles a elementos simples, como líneas, polígonos y prismas. Esto implica un mallado de la forma que la simplifica y la representa. Con este modelo se accede a programas de cálculo que muestren de forma clara la relación entre lo que se pide y lo que se obtiene. Aunque los programas de cálculo siempre tienen una componente de caja negra imposible de obviar, utilizamos sólo aquellos que puedan chequear los resultados obtenidos por la lógica de las deformaciones y de los movimientos.

Hemos establecido convenios con empresas de software que facilitan el uso legal de herramientas de trabajo, en sus versiones tutoriales, reducidas, universitarias o incluso completas. En algunos casos hemos tenido que adquirir versiones con descuentos universitarios que podemos instalar en red. El programa básico que consigue hacer sencillo lo complejo y evidente lo oculto es el SAP2000, que se inicia como parte de la docencia de las asignaturas. Hay programas como el CYPE, que se introduce en sesiones prácticas por su facilidad de uso para el hormigón armado y que completa a otros menos habituales.

PROYECTOS DE ESTRUCTURAS Propuesta 02
 CURSO 2003-2004. PLAN 1998.
 PRACTICA 2

fecha de propuesta 5-11-03
 fecha de entrega 17-12-03

Se trata de definir la estructura para el edificio cuya planta se adjunta, dimensionarla y dibujarla.
 Los forjados serán losas o mallas reticulares apoyadas sobre soportes aislados, y no se tendrán en cuenta los efectos sísmicos.
 Aunque las propuestas corresponden todas a edificios bien conocidos, se recomienda no detenerse en su análisis salvo en lo que se refiere a la estructura.
 El número de plantas se define en cada caso y no guarda relación con el edificio real. En este caso se considerarán dos plantas más castillete y el bajo no tendrá forjado sanitario. (Hans Scharoung).



PROYECTOS DE ESTRUCTURAS. Propuesta 15
 CURSO 2003-2004. PLAN 1998.
 PRACTICA 2

fecha de propuesta 5-11-03
 fecha de entrega 17-12-03

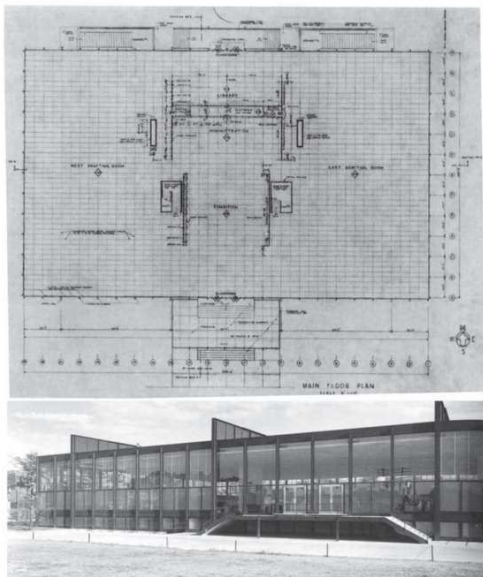
Se trata de definir la estructura para el edificio cuya planta se adjunta, dimensionarla y dibujarla.
 Los forjados serán losas o mallas reticulares apoyadas sobre soportes aislados, y no se tendrán en cuenta los efectos sísmicos.
 Aunque las propuestas corresponden todas a edificios bien conocidos, se recomienda no detenerse en su análisis salvo en lo que se refiere a la estructura.
 El número de plantas se define en cada caso y no guarda relación con el edificio real. En este caso se considerarán dos plantas más castillete y el bajo no tendrá forjado sanitario. (Correa y Milá).



Figuras 2. Ejemplos de la segunda práctica del curso de Proyectos de estructuras.

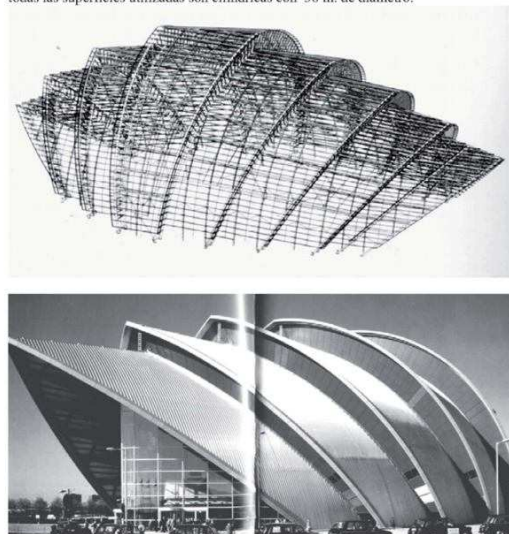
PROYECTOS DE ESTRUCTURAS. PRACTICA 3. ESTRUCTURA METALICA
 PLAN 98. ESCUELA DE ARQUITECTURA DE SEVILLA. CURSO 2003-04.

Se trata de definir la estructura para el edificio cuya planta se adjunta, dimensionarla y dibujarla.
 La estructura pertenece a un edificio de Mies Van der Rohe y deberá calcularse teniendo en cuenta sus planteamientos arquitectónicos y estéticos y con la normativa actual. Para las acciones se tendrá en cuenta una situación climatológica parecida en nuestro País a la de la ubicación real. El edificio es el Crown hall de la Escuela de Arquitectura de Chicago y se recomienda consultar textos sobre la obra. La superficie cubierta es de 70x35 m².



PROYECTOS DE ESTRUCTURAS. PRACTICA 3. ESTRUCTURA METALICA
 PLAN 98. ESCUELA DE ARQUITECTURA DE SEVILLA. CURSO 2003-04.
 . Pabellón e exposiciones y conferencias de Glasgow. Norman Foster.

Se trata de establecer gráficamente el modelo estructural y de montaje de modo que sea fácilmente comprensible, dibujar diagramas de funcionamiento, establecer los sistemas estructurales que definen el proyecto de cubierta y dimensionar el gajo principal de la estructura de cubierta. La solución será totalmente en estructura metálica y será fundamental un adecuado conocimiento de la geometría, por lo que se pide un análisis de la obra. En cuanto a las dimensiones se obtendrán de los gráficos y sabiendo que todas las superficies utilizadas son cilíndricas con 38 m. de diámetro.



Figuras 3. Ejemplos de la tercera práctica del curso de Proyectos de estructuras.

Nos interesa en esta fase que se analicen los resultados. Es necesario comparar las reacciones con las acciones, si es razonable la magnitud de los esfuerzos y si las flechas y las deformaciones son admisibles. De ello dependerá la bondad del diseño y del cálculo. ¿Cómo evaluar lo que es admisible o no? Los esfuerzos y los desplazamientos van relacionados y no puede ser uno de ellos válido si el otro no lo es.

Las unidades utilizadas deben ser chequeadas puesto que errores de dimensión suelen ser los causantes de errores en los resultados.

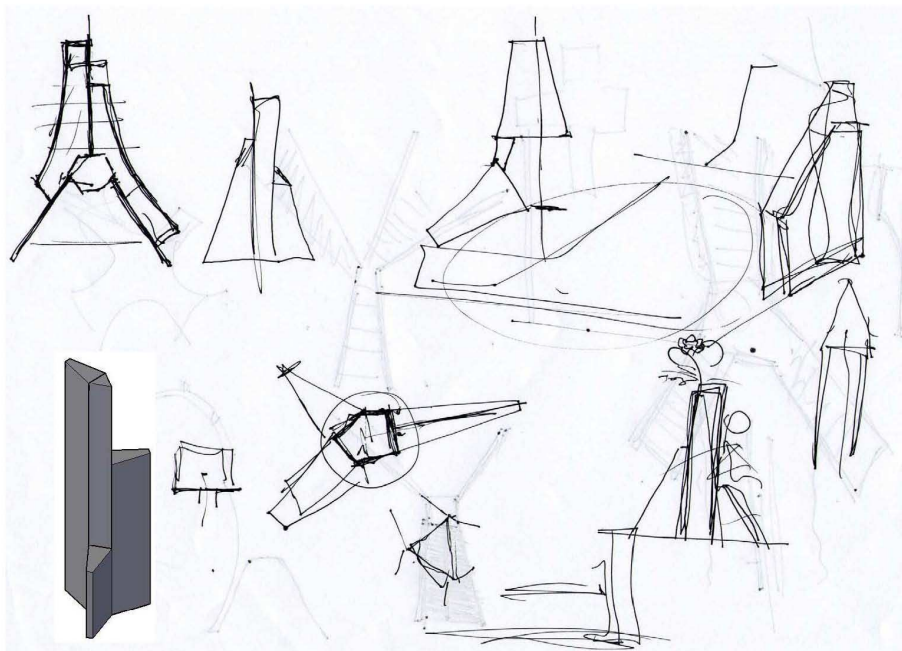
Un ejemplo claro de la utilidad que tiene la introducción de herramientas interactivas es el Programa de generación de superficies tensadas introducidas en este curso. El Formfinder les proporciona tal capacidad de generación formal que ha dejado de ser un problema el costoso proceso de ajuste de mallas en tracción.

Cuando se introducen modelos muy complejos es muy difícil saber si el resultado es correcto salvo que aparezcan barbaridades. Aun así, si aparecen es difícil detectar por qué. De modo que se propone por sistema que, antes de introducir un modelo con muchos elementos, se tantee un proyecto similar mucho menor para comprobar la validez del método. Este método de comprobar en lo pequeño la funcionalidad de lo mayor suele dar buenos resultados. Ponemos un ejemplo de estructura compleja que los alumnos resolvieron por tanteos en elementos más pequeños.



Figuras 4. Análisis en modelo reducido de propuestas para cubrir el puente de Isabel II en Sevilla.

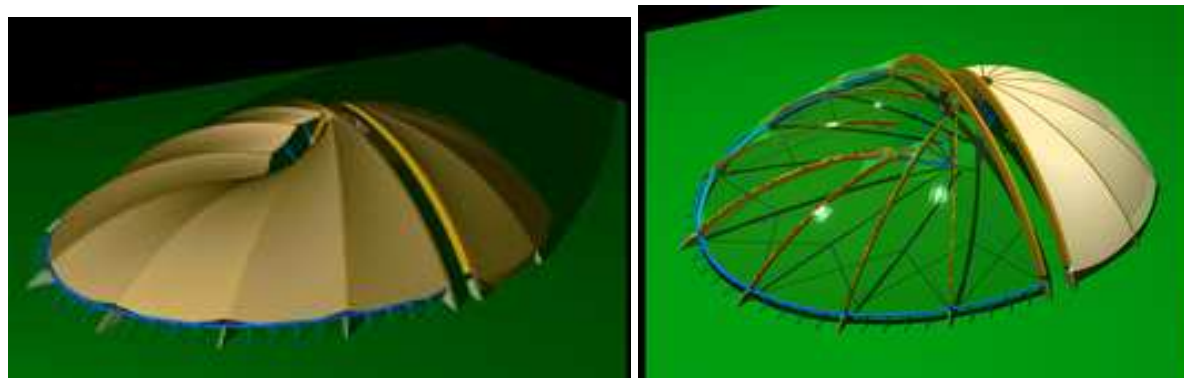
Para poder seguir estos pasos no son necesarios grandes conocimientos previos aunque si exigimos conocimientos de Teoría de la Elasticidad y de la Resistencia de Materiales, así como Geometría Descriptiva y Geometría Analítica, Cálculo Numérico e Historia de la Arquitectura.



19

Figuras 5. Proceso de análisis hasta la definición estructural del Burg Dubai.

En las asignaturas de Proyectos de Estructuras y Estructuras especiales, de cursos superiores, hemos introducido las sesiones críticas. Consisten en “invitar” en cada una de las cuatro prácticas que realizamos a lo largo del curso a dos o tres grupos a lo largo de las semanas que dura la práctica, para que en un tiempo breve (10 – 15 minutos) expongan ante el resto de compañeros el enfoque que están dando a la práctica, fundamentalmente en lo que se refiere a modelización en CAD (conversión de un modelo geométrico en un modelo de cálculo), lo que les ayuda a una mejor comprensión del funcionamiento estructural de cada modelo propuesto .



Figuras 6. Proceso infográfico que se remataría con la construcción en modelo reducido.

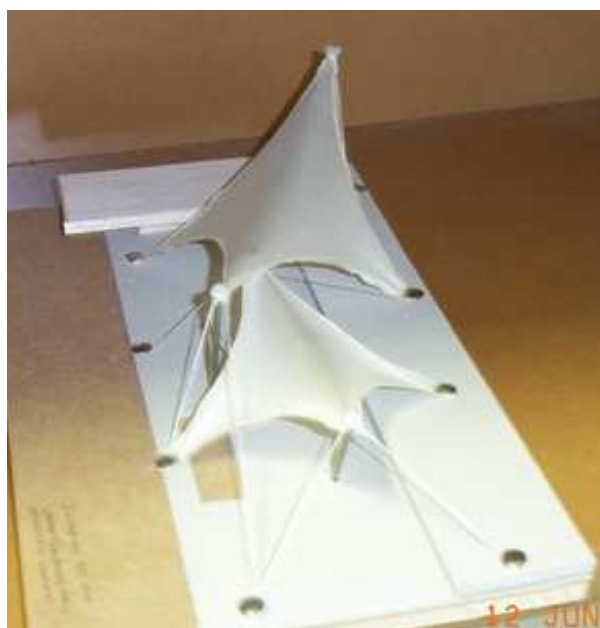
Puesto que los modelos son repetidos por diferentes grupos, intentamos extraer dos o tres modelos diferentes en cada práctica, de manera que el resto de compañeros puedan tomar referencias acerca de su propia práctica, y puedan incluso llegar a detectar errores en su propio trabajo, incidiendo también en el hecho de que no existe una solución única para cada modelo. Consideramos que estas sesiones críticas pueden resultar muy interesantes como

ejercicios participativos de análisis, y personalmente planteo que además de la clase teórica que se imparte en cada una de las prácticas, podríamos dedicar una parte de la misma a mostrar proyectos realizados por los propios alumnos en años anteriores, que les ayuden a comprender el contenido de la práctica al término de ésta.

En segundo lugar, incidimos en el tema del contenido de una memoria de un proyecto de cálculo de estructuras, de manera que al término del curso los alumnos sean capaces de realizar este tipo de memorias. En años anteriores hemos detectado que las entregas realizadas no consisten en un proyecto de estructuras, sino que en muchos casos se trata más de un tutorial de un programa informático. Es por ello que estamos introduciendo el tema de las rúbricas. La rúbrica es un guión que nos ayuda a los profesores a la corrección de la práctica, pero que al mismo tiempo muestra a los alumnos el contenido mínimo de la misma. Además, les sirve como autoevaluación, ya que pueden comprobar en qué apartados se incide especialmente a través de la puntuación asignada a cada uno de los puntos que componen este guión.

En tercer lugar, aunque los enunciados de cada una de las prácticas están fijados de antemano y a los alumnos se les propone un modelo sobre el que trabajar, con objeto de hacer realidad el concepto de “Aula de Arquitectura” se permite que aquellos grupos que lo deseen desarrollen algunas de las prácticas (en el caso de edificios en altura no resulta posible) sobre proyectos realizados en los talleres de Proyectos. Es decir, estamos permitiendo que lleven a cabo lo que un año después deberán realizar en la asignatura Proyecto Fin de Carrera: integrar proyecto y estructura. De esta manera, los alumnos comprenden el significado de un proyecto global y piensan la estructura de manera integrada.

Finalmente, estamos elaborando a través de las preguntas que los propios alumnos plantean en el foro cada año un documento de preguntas frecuentes que se actualice cada curso con las nuevas preguntas y sirva para los alumnos del año siguiente. (Tener en cuenta que los alumnos no pueden consultar el foro de años anteriores, por lo que en muchas ocasiones se repiten las mismas.



Para muchos de los proyectos a través de los que se desarrolla la docencia primamos los modelos físicos sobre los informáticos. El contacto con la corporeidad es muy importante en todo aquello que en algún momento del proceso se materializará. El modelo físico aporta una información imposible de sustituir por ninguna otra herramienta. De modo que al menos uno de los ejercicios se completará con modelo reducido aprovechando las nuevas instalaciones del laboratorio de la ETSA, Taller de Fabricación Digital. Modelo reducido para el estudio de formas alabeadas.

Figura 7. Modelo para el estudio de formas alabeadas.

El trabajo realizado por el alumno se intenta que en ningún caso sea individual y damos gran importancia al trabajo en grupo puesto que el proceso de convertir una idea en un objeto útil es colectivo y la arquitectura tiene la suficiente complejidad como para que sea la suma de muchas ideas. Igualmente se evaluará en conjunto y en ningún caso, si es posible mediante pruebas tipo examen. Esto no significa que el proceso de evaluación sea continuo, se evalúan resultados, resultados que además se han tutorizado permanentemente. Evaluamos por resultados que hemos ayudado a progresar.

El trabajo en grupo estará muy controlado y no se admiten grupos mayores de tres y, aunque no nos gustan los trabajos individuales, no podemos limitarlos puesto que hay personas que prefieren trabajar en solitario por razones diferentes.

4. ASPECTOS COMPLEMENTARIOS.

Para que nuestro método funcione no es necesaria una ratio excesivamente baja y consideramos que tres profesores pueden dirigir treinta grupos de 3 miembros. Se hace esta observación porque rompemos la tendencia de los grupos fragmentados pequeños para profesores aislados. Al igual que fomentamos el aprendizaje en grupo tratamos de impartir la docencia en grupos de profesores y consideramos un valor positivo la participación simultánea de varios profesores incluso en la clases conceptuales. De este modo consideramos más importante que tres profesores impartan las clases presenciales a noventa a alumnos que uno a treinta. Hemos comprobado que aumenta el estímulo en el docente y las ideas en la sesión pública.

Como estímulo al proceso de creación se hace partícipe al alumno de los propios problemas que en la práctica investigadora del grupo se consideran relevantes para ser compartidos. De ese modo el grupo tiene abiertas líneas de trabajo en Rehabilitación, Arquitectura ligera, hormigón y fábrica, y los trabajos que se proponen para ser resueltos tienen relación con ideas meditadas por el grupo de investigación y vinculados a la arquitectura contemporánea y los problemas de la ciudad.

Para facilitar el acceso a la información se tiene abierta también una línea de publicaciones que abarcan todos los temas que consideramos de interés. Estas publicaciones están en formato papel y en formato electrónico. Se están iniciando otras formas de difusión como las páginas WEB y la enseñanza virtual. En la misma línea se han abierto Foros y FAQ s en los que la comunidad docente comparte sus experiencias e incorpora opiniones y trabajos.

En todos los cursos se aumenta la biblioteca de publicaciones referidas a las actividades docentes y de investigación que conciernen a los alumnos ya que a los años anteriores se añaden las nuevas aportaciones. Así por ejemplo se tienen monografías de Estructuras móviles, mallas de barras, estructuras en tracción, edificios en altura, edificios históricos, rehabilitación, geometría de estructuras, estructuras laminares, patologías, etc.. Y se han subido a la red los materiales referentes a estructuras de fábrica, estructuras tensadas, forjados, etc.. En este momento está en producción el manual de SAP para estructuras metálicas y forjados de hormigón. Se sigue trabajando en la elaboración de nuevos temas.

Una información adicional que tenemos en proyecto elaborar es una síntesis de los ejercicios

presentados por alumnos de cursos anteriores que sirva como guión y estímulo de los siguientes alumnos puesto que se publicarán como título en la página virtual y tendrán catalogación de publicación, lo que incidirá en el currículo de los propios alumnos



Figura 8. Portadas de algunas de las publicaciones del grupo de investigación con incidencia en la docencia.

Una extensión del método a actividades complementarias es el uso del Centro de Informática para la Investigación del propio grupo con programas especializados para fomentar intensificaciones. En este capítulo destacamos el interés que ponemos en aprovechar todas las convocatorias de becas y subvenciones para que los alumnos se integren en una dedicación mayor que la de los créditos estrictos de la titulación. Lógicamente esto queda restringido al grupo que se interese por ello, que cada vez es más abundante. Con los alumnos que se integran en esta intensificación se forma la cantera que nutre a los docentes del grupo que, en su mayor parte han llegado a ser profesores o formar parte de los gabinetes más prestigiosos por este procedimiento. La convocatoria de alumnos colaboradores y alumnos internos es de una gran utilidad puesto que un grupo de alumnos puede incorporarse a las labores de investigación de una forma temprana, remunerada e intensiva.

Los principales problemas que nos encontramos para la aplicación de estas utilidades

pedagógicas son las siguientes:

- Preparación insuficiente en temas que consideramos básicos.
- Conciencia del alumno de que las estructuras son una cosa y que el proyecto es otra, alimentada permanentemente desde otras asignaturas.
- Falta de espacio para el desarrollo de las actividades ya que muchas veces ni hay infraestructura ni superficies adecuadas para su realización.
- Presupuesto escaso para las prácticas y viajes.
- Falta de relación con las otras materias por causa de un Plan de Estudios desarticulado.

5. AFORISMOS PARA UN FINAL FELIZ.

La curiosidad es una virtud que debe compartirse. Encontrar cosas nuevas o redescubrir la viejas debe hacerse en grupo. El profesor también debe aprender de lo que enseña y es el primer alumno de sí mismo.

REFERENCIAS

- Torroja, E. “Razón y ser de los tipos estructurales”. IET.
Engel.” Sistemas de estructuras.” Gustavo Gili.
White, R. & Salmon, CH. “Building Structural Design Handbook”. Wiley & Sons.
Gordon.” Estructuras. O por qué las cosas no se caen”. Celeste.
Salvadori, M. “Why Buildings stand up” W..Northon.
Salvadori, M. “Why Buildings fall down” W.W.Northon.
Escrig, F. “La cúpula y la torre”. F.C.F.A. de Sevilla.
Quintas, V. “Estructuras especiales de edificación”. Ed. Rueda, 2 tomos.