

LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA ENSEÑANZA DE "CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE LA EDIFICACIÓN"

N. Tuesta¹

¹ Arquitectura Técnica, Universidad Europea Miguel Cervantes
Escuela Politécnica Superior, C/. Padre Julio Chevalier 2, 47012-Valladolid, España.
Correo-e: ntuesta@uemc.edu
Tfno: 983 22 85 08 Ext. 313. Fax: 983 27 89 58

RESUMEN

Mediante esta ponencia se pretende hacer hincapié en que las clásicas clases presenciales de las asignaturas de *Cálculo de Estructuras de la Edificación, I y II* para el caso de la titulación de Arquitectura Técnica de nuestra universidad, se pueden complementar con el uso de programas informáticos: de simulaciones y animaciones multimedia, así como los de cálculo y/o dimensionamiento de elementos estructurales. A manera de ejemplo se presentan varios casos de aplicación de dichas tecnologías en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la asignatura que nos ocupa, a partir de los cuales se puede observar que la transmisión de contenidos teóricos y prácticos a los alumnos se realiza de una forma más amena, concisa y clara.

PALABRAS CLAVE: Innovación educativa, Cálculo de estructuras de la edificación.

1. INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos de los últimos años están posibilitando, cada vez más, la utilización en el aula de nuevas herramientas con las que afrontar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Las nuevas tecnologías están propiciando la aparición de nuevos esquemas metodológicos, propio de la búsqueda de una mayor eficacia en el uso de estos recursos innovadores. Estos recursos potencian el método de la pizarra tradicional y permiten que los extensos temarios de las asignaturas se puedan impartir en algo menos de tiempo. Es de destacar que las nuevas tecnologías permiten mostrar contenidos teóricos y prácticos a los estudiantes, de una forma más amena, concisa y clara.

Las simulaciones que suelen hacerse utilizando una goma de borrar, ya sea para explicar la flexión o la torsión (véase figura 1), son ampliamente superadas por simulaciones y animaciones multimedia de estas tecnologías; que incluso pueden mostrar procesos que pueden presentar una mayor dificultad si lo tratamos de exponer en un aula. Asimismo, la posibilidad de dotar a estas simulaciones y animaciones de una interactividad con el estudiante abre al profesor un inmenso campo de tácticas educativas que de un modo fácil y sencillo puede poner al alcance de todos sus alumnos con tan solo publicarlas en Internet.



Figura. 1. Simulación utilizando una goma de borrar.

El Grupo de Innovación Educativa (GIE) de la Escuela Politécnica Superior, de la Universidad Europea Miguel de Cervantes, está trabajando, básicamente, en dos líneas. La primera de ellas está encaminada a la utilización, por parte de nuestros alumnos, de programas de cálculo -contrastados por los propios miembros del GIE y de bajo precio- que puedan ser utilizados para comprobar los cálculos manuales que realicen, así como para la obtención de conclusiones derivadas de modificar los parámetros de cualquier ejercicio; potenciando así, en forma indirecta, sus habilidades para analizar y resolver problemas. La segunda línea de trabajo está orientada al desarrollo de aplicaciones propias, tanto a nivel de software como de librerías para programas comerciales.

2. UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIONES Y ANIMACIONES MULTIMEDIA

Nuestro grupo se ha inclinado por el uso de la herramienta Flash de Macromedia para el desarrollo de simulaciones y multimedia, entre otras circunstancias por su incorporación en los navegadores más comerciales y por el sistema de vectorización que utiliza; permitiendo así la no distorsión de las imágenes cuando se cambia el tamaño de la ventana de presentación. A continuación se muestran algunas capturas de pantalla de la traducción de uno de los videos creados por el Profesor Ph.D. Timothy A. Philpot, de la Universidad de Missouri-Rolla, ganador en 1998 del *Premio de Excelencia en la educación de la ingeniería mediante software educacional* (1998 Premier Award for Excellence in Engineering Education Courseware).

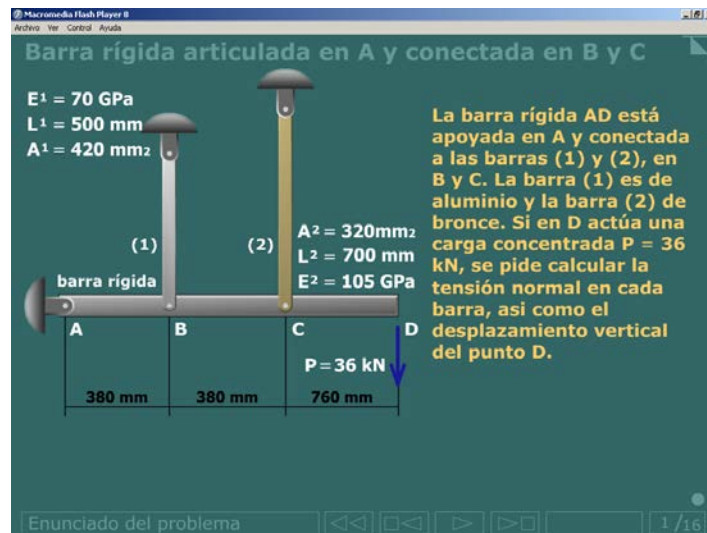


Figura. 2. Enunciado del problema.

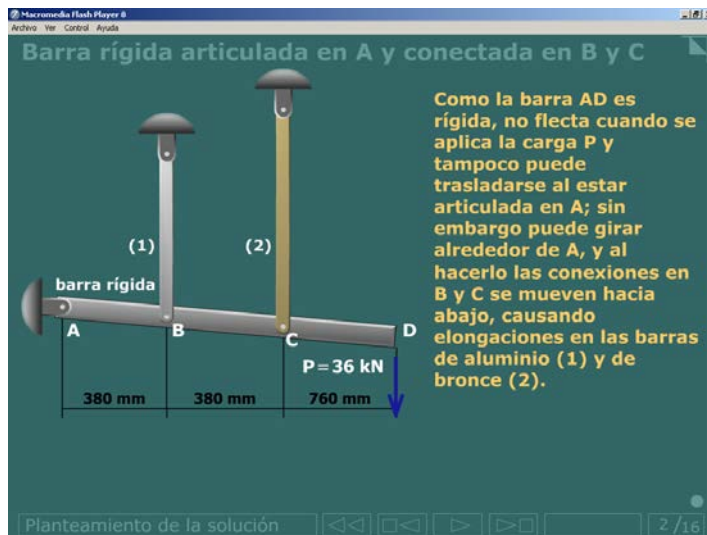


Figura. 3. Planteamiento de la solución.

Macromedia Flash Player 8

Archivo Ver Control Ayuda

Barra rígida articulada en A y conectada en B y C

Debido a que cada barra está conectada a la barra rígida AD, las elongaciones en las barras (1) y (2) no son independientes. De hecho podemos usar la geometría de la estructura deformada para establecer la relación entre la elongación de la barra (1) y la de la barra (2). Esta relación geométrica nos permitirá resolver el problema.

Planteamiento de la solución

3 / 16

Figura. 4. Posición final de la estructura.

Macromedia Flash Player 8

Archivo Ver Control Ayuda

Barra rígida articulada en A y conectada en B y C

Iniciamos la solución del problema a partir del diagrama de cuerpo libre que se genera al dar un corte a las barras (1) y (2). Si tomamos momentos con respecto a A, se tiene:

$$\sum M_A = F_1(380 \text{ mm}) + F_2(760 \text{ mm}) - P(1,520 \text{ mm}) = 0$$

Equilibrio

4 / 16

Figura. 5. Ecuación de equilibrio.

Macromedia Flash Player 8

Archivo Ver Control Ayuda

Barra rígida articulada en A y conectada en B y C

A partir de la rotación de la barra rígida y aplicando semejanza de triángulos, se puede calcular la relación entre las deformaciones de las barras (1) y (2): v_B y v_C respectivamente.

Usando el concepto de semejanza de triángulos, se tiene que:

$$\frac{v_B}{380 \text{ mm}} = \frac{v_C}{760 \text{ mm}}$$

Geometría de deformaciones

8 / 16

Figura. 6. Ecuación de compatibilidad de movimientos.

3. CONFRONTACIÓN MANUAL-INFORMÁTICO DE CÁLCULO DE ESFUERZOS

Una vez que el alumno se ha familiarizado con los diagramas de esfuerzos, el poder contar con un programa informático le permitirá afianzar sus conocimientos. La ventaja de los programas específicos de cálculo de esfuerzos, es que la mayoría de ellos son muy intuitivos y permiten con la introducción de una sola geometría el analizar distintas situaciones de carga (generalmente introducidas como hipótesis de cargas), diferentes tipos de apoyos y de geometrías de los elementos; con lo cual el alumno ahorra tiempo en el cálculo manual, que en esta etapa no debe tener dificultad de dibujar los diagramas de vigas y pórticos de un vano y de una altura; pero sobretodo el estudiante desarrolla su capacidad de análisis que le será de utilidad tanto a nivel de exámenes como en su propia vida profesional. A manera de ejemplo se presenta el siguiente ejercicio en el que a cada alumno se le asigna una variable de L -entre 3 y 5 m, variando cada 10 cm- y se le pide que lo resuelva manualmente y que lo compruebe con los resultados que se obtienen mediante el uso del ordenador. Después que el alumno ha entregado la práctica, se deja en reprografía la solución paramétrica. En aquellos ejercicios de prácticas domiciliarias que al tener dos o más variables sean laboriosos de resolverlos paraméricamente, se opta por dejar en reprografía la solución para unas variables específicas.

EJERCICIO 3.1

La estructura que se muestra está formada por una pieza de acero **1234**, de rigidez flectora EI constante, armada con cinco barras, cada una de sección transversal Ω . Si se desprecian las deformaciones por axil y cortante en la pieza **1234**, se pide calcular el esfuerzo axil en la barra **56**.

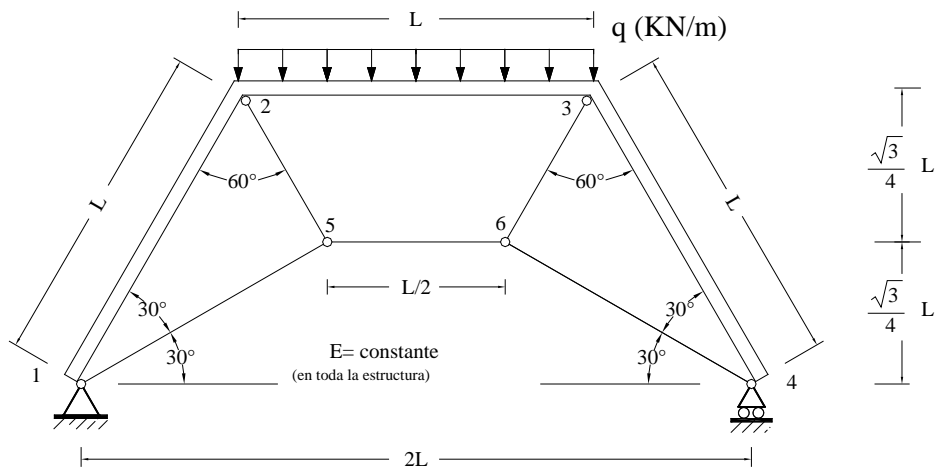


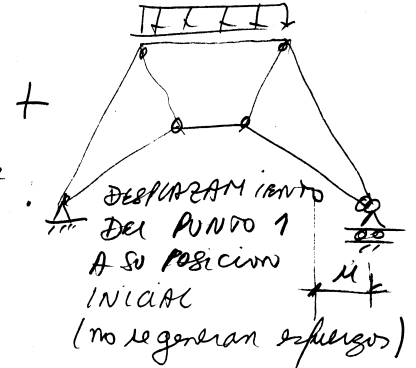
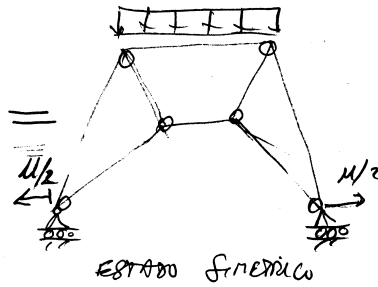
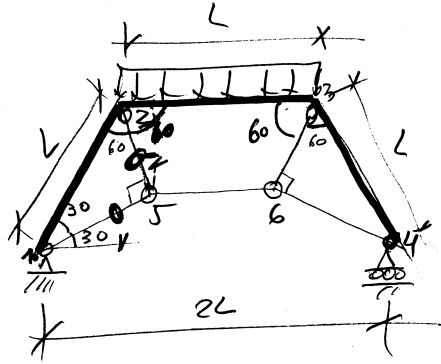
Figura. 7. Estructura para confrontación manual-informático de cálculo de esfuerzos.

$$EI_{1234} = \text{cte}$$

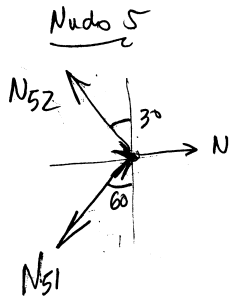
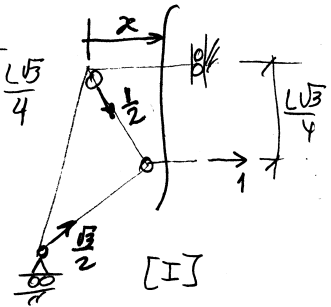
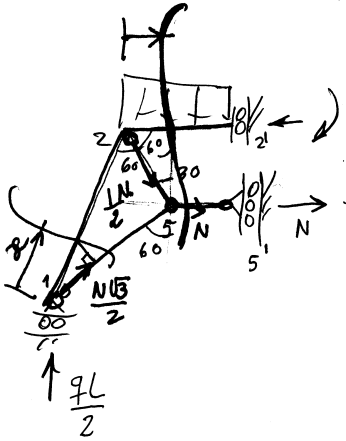
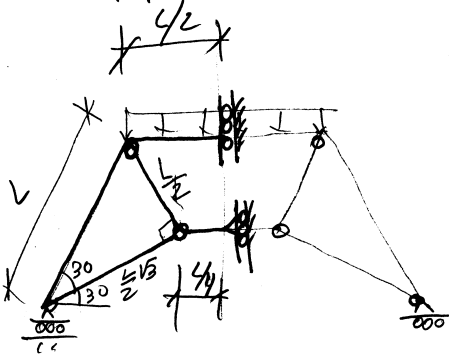
$$\Omega_{\text{bielas}} = \Omega$$

Despreciar las deformaciones debidas a Q y N en el elemento 1234

$$N_{56} = ?$$



Por lo q' para calcular N_{56} , basta con resolver el estado simétrico.



$$\sum F_y = 0$$

$$N_{52} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = N_{51} \cdot \frac{1}{2} \Rightarrow N_{51} = N_{52} \sqrt{3}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$\frac{1}{2} N_{52} + N_{52} \sqrt{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = N$$

$$2 N_{52} = N$$

$$N_{52} = \frac{N}{2}$$

\Rightarrow

$$N_{51} = \frac{\sqrt{3}}{2} N$$

$$\frac{\partial U}{\partial N} = 0 \Rightarrow \int MM' \frac{ds}{EI} + \sum \frac{NN'L}{ER} = 0$$

Tramo $\overrightarrow{12}$ ($0 \leq x \leq L$):

$$M = \frac{qL}{2} \cdot \frac{x}{2} - \frac{N\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{x}{2} = \frac{qLx}{4} - \frac{\sqrt{3}}{4} Nx$$

$$M' = -\frac{\sqrt{3}}{4} x$$

Tramo $\overrightarrow{22'}$ ($0 \leq x \leq L/2$):

$$M = \frac{qL}{2} \left(\frac{L}{2} + x\right) - \frac{qx^2}{2} - \frac{\sqrt{3}}{4} NL$$

$$M' = -\frac{\sqrt{3}}{4} L$$

∴

$$\int \frac{MM' ds}{EI} = \underbrace{\frac{1}{EI} \int_0^L \left(\frac{qLx}{4} - \frac{\sqrt{3}}{4} Nx\right) \left(-\frac{\sqrt{3}}{4} x\right) dx}_{I_1} + \underbrace{\frac{1}{EI} \int_0^{L/2} \left[\frac{qL}{2} \left(\frac{L}{2} + x\right) - \frac{qx^2}{2} - \frac{\sqrt{3}}{4} NL\right] \left(-\frac{\sqrt{3}}{4} L\right) dx}_{I_2}$$

$$I_1 = \frac{1}{EI} \left[\left(\frac{qL}{4} - \frac{\sqrt{3}}{4} N\right) \left(-\frac{\sqrt{3}}{4}\right) \right] \left(\frac{x^3}{3}\right)_0^L \Rightarrow \boxed{I_1 = \frac{1}{EI} \left(-\frac{qL^4\sqrt{3}}{48} + \frac{3}{48} NL^3\right)}$$

$$I_2 = -\frac{1}{EI} \frac{\sqrt{3}L}{4} \int_0^{L/2} \left[\frac{qL}{2} \left(\frac{L}{2} + x\right) - \frac{qx^2}{2} - \frac{\sqrt{3}}{4} NL\right] dx$$

$$= -\frac{\sqrt{3}L}{4EI} \left[\frac{qL}{4} \left(\frac{L}{2} + x\right)^2 - \frac{qx^3}{6} - \frac{\sqrt{3}}{4} NLx\right]_0^{L/2}$$

$$= -\frac{\sqrt{3}L}{4EI} \left[\frac{qL^3}{4} - \frac{qL^3}{48} - \frac{\sqrt{3}}{8} NL^2 - \frac{qL^3}{16}\right] = -\frac{\sqrt{3}L}{4EI} \left[\frac{1}{6} qL^3 - \frac{\sqrt{3}}{8} NL^2\right]$$

$$\boxed{I_2 = \frac{1}{EI} \left[-\frac{\sqrt{3}}{24} qL^4 + \frac{3}{32} NL^3\right]}$$

$$\boxed{I_1 + I_2 = \frac{L^3}{32EI} \left[-2\sqrt{3} qL + 5N\right]}$$

$$\sum \frac{NN^I L}{ES} = N \cdot \frac{L}{4} \times \frac{1}{ES} + \frac{N}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{2} \times \frac{1}{ES} + \frac{N\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{L\sqrt{3}}{2ES}$$

$$= \frac{NL}{4ES} + \frac{NL}{8ES} + \frac{3\sqrt{3}NL}{8ES} = \frac{3NL}{8ES} + \frac{3\sqrt{3}NL}{8ES}$$

$$= \frac{3NL}{8ES} (1 + \sqrt{3})$$

$$\therefore \frac{L^3}{32EI} [-2\sqrt{3}qL + 5N] + \frac{3NL}{8ES} (1 + \sqrt{3}) = 0$$

$$\left[\frac{5L^3}{32EI} + \frac{3L}{8ES} (1 + \sqrt{3}) \right] N = \frac{2\sqrt{3}qL^4}{32EI}$$

$$N = \frac{\sqrt{3}qL^3/2I}{\frac{5L^2}{4I} + \frac{3}{2}(1 + \sqrt{3})}$$

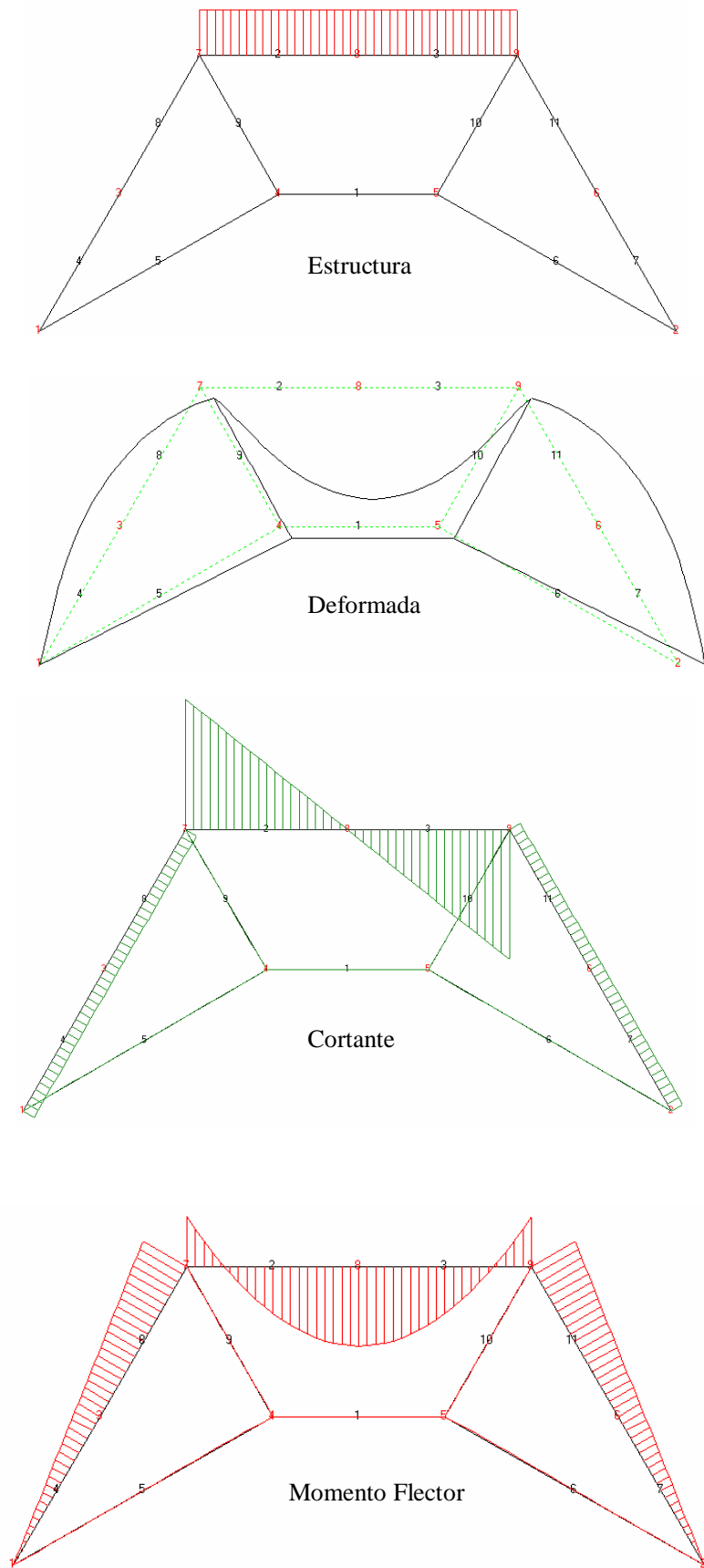


Figura. 8. Diagramas de esfuerzos obtenidos con programa informático.

4. CONFRONTACIÓN MANUAL–INFORMÁTICO DEL DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Actualmente existen programas informáticos encaminados al cálculo de estructuras de la edificación que permiten al estudiante o al profesional calcular y dimensionar con un nivel de precisión imposible de lograr con sólo una calculadora manual.

En la metodología que venimos aplicando para la Práctica de Curso de la asignatura de *Estructuras de la Edificación II*, en nuestra universidad, el profesor es el que introduce el edificio y el alumno participa en el análisis de los resultados que se obtienen al hacer participar el viento o cambiar el canto del forjado o la tipología del mismo; con lo cual, al igual que en el apartado anterior, desarrolla su capacidad de análisis. A manera de ejemplo se presenta algunas capturas de pantalla de lo que constituyó la última Práctica de Curso. En esta práctica cada alumno tuvo a su cargo un edificio, de entre 4 a 10 plantas, con forjado unidireccional, con y sin efecto del viento, y con unas variables únicas de canto de forjado y ancho de nervio.

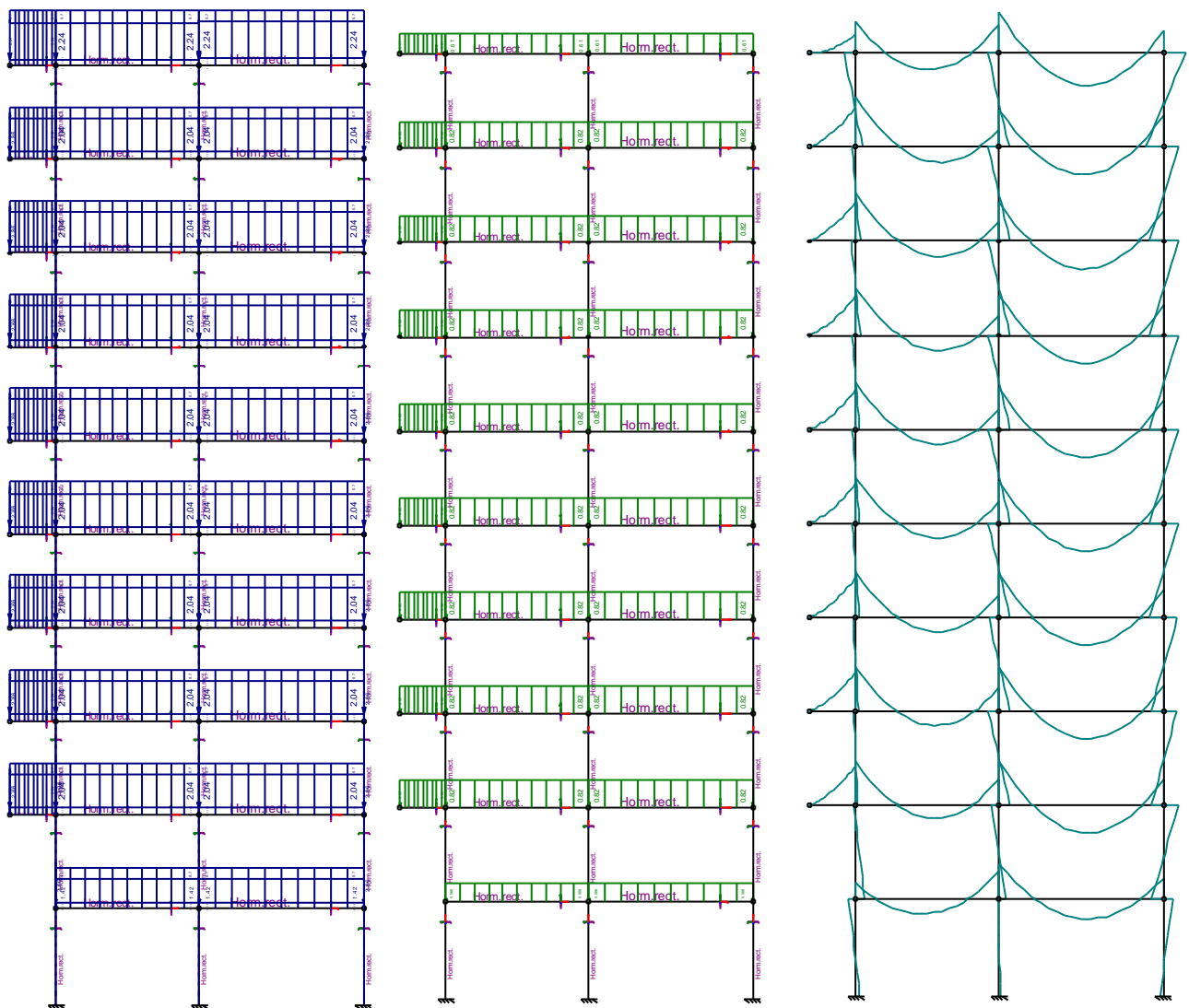


Figura. 9. Hipótesis de carga y diagrama de envolventes de momento flector para concarga y sobrecarga de uso.

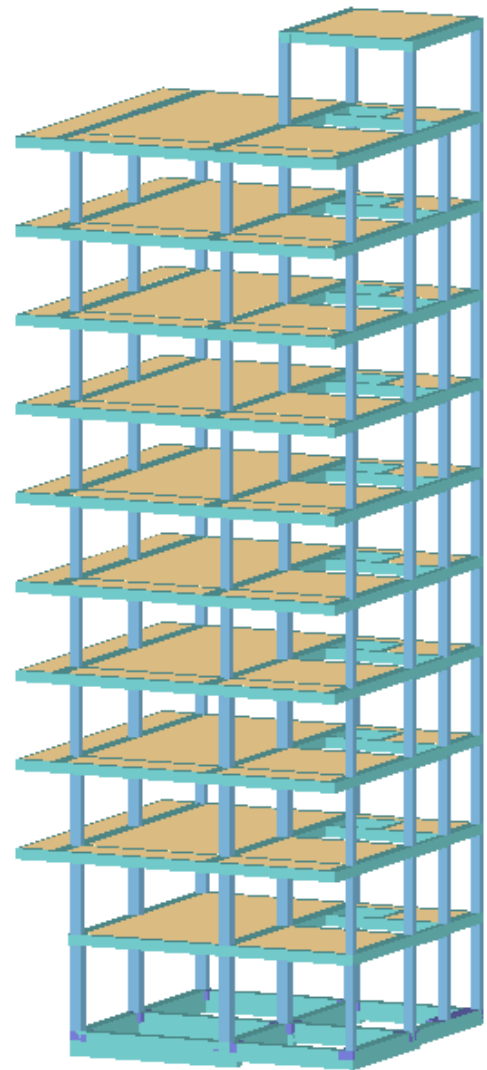
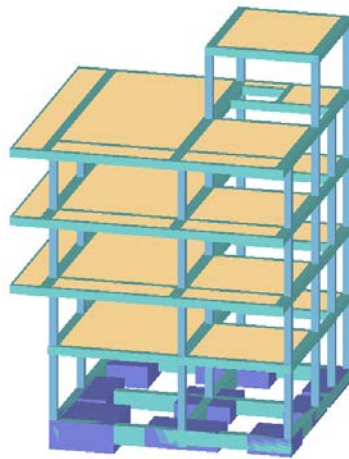
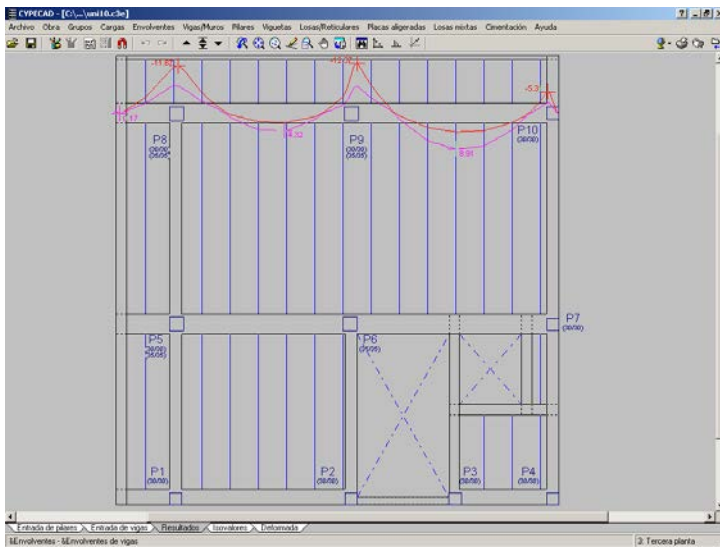


Figura. 10. Planta típica de edificios, de 4 a 10 plantas, para Práctica de Curso.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer al Profesor Ph.D. Timothy A. Philpot, de la Universidad de Missouri-Rolla, por su altruismo en compartir las simulaciones y animaciones que ha desarrollado, con la herramienta Flash de Macromedia. También mi agradecimiento va para la Profesora Dra. Nieves Sánchez Garre, Directora del Estudio Fotográfico de la Universidad Europea Miguel de Cervantes.

REFERENCIAS

- [1] Suárez, J., Rubio, R., Gallego, R. y Martín, S, “Gráficos por computador: una experiencia de formación on-line en el campus virtual compartido del Grupo G9”, *XII Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Resumen de ponencias. Barcelona, 2004.*
- [2] Rubio, R., Suárez, J, Gallego, R. y Martín, S, “Librería interactiva de simulaciones y animaciones multimedia de dibujo industrial”, *XII Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Resumen de ponencias. Barcelona, 2004.*