

# Hacia un laboratorio virtual para la creación asistida de estructuras en 3D

Arq. Antonio Tecchia

Dr. Ing. Sebastiano Tecchia

E-mail: [atecchia@arqmor.fadu.uba.ar](mailto:atecchia@arqmor.fadu.uba.ar)

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo UBA

## Introducción

El presente trabajo propone una experiencia de aprovechamiento de las técnicas digitales de visualización y animación 3D como herramienta de asistencia a la creación en las fases iniciales del proyecto de estructuras.

El proceso de diseño estructural, al igual que todo proceso de diseño, es producto de la interacción de reglas impuestas por el contexto cultural, económico, físico, etc., con el bagaje de conocimientos e instrumentos a disposición del diseñador.

Las herramientas a disposición del proyectista de estructuras están en gran parte constituidas por las que brinda la teoría de la elasticidad, abstracciones en la creación de modelos matemáticos, adopción de algoritmos de cálculo basados en hipótesis simplificadoras, casi siempre referidas a situaciones planas, llegando a la determinación de los estados tensionales para las distintas hipótesis de carga.

La búsqueda y determinación de las tensiones ha sido en muchos casos adoptada como finalidad última del análisis estructural, para solamente luego verificar la deformación en algunos puntos críticos del eje de los miembros más solicitados, en lugar de basar el proyecto en el funcionamiento espacial de toda la estructura.

Con el advenimiento de las herramientas electrónicas, de las técnicas digitales, y de códigos específicos para resolver veloz y efectivamente un sinnúmero de situaciones, se pudo comenzar a dar un enfoque completamente distinto al planteo y solución de las diferentes problemáticas estructurales. No obstante, la mayoría de los programas comerciales hoy disponibles para el cálculo estructural son herramientas que imponen un modelo ortogonal de generación y por ende no asumen el rol de asistir al proyectista durante la creación, limitándose a resolver organismos ortogonales con una serie de hipótesis simplificadoras tales como tipificar los elementos estructurales en vigas y columnas, reducir al plano en 2D casi todos los elementos, asumir que la rigidez axial de las columnas es infinita, que las losas son infinitamente rígidas en su plano, etc., todo con la finalidad de reducir la cantidad de operaciones a realizar, con un criterio, a nuestro juicio, solo aceptable antes de la existencia de las nuevas tecnologías.

Mediante la presente propuesta de laboratorio virtual para la creación asistida de estructuras en 3D se procura obtener una herramienta apta para la investigación y diseño de cualquier clase de estructura de barras en el espacio, sin necesidad de entrar en tipificaciones preestablecidas, operando directamente en 3D desde el inicio, evitando hipótesis simplificadoras, manipulando y cuantificando deformaciones al igual que en un verdadero laboratorio de ensayo de estructuras.

En todo proceso de diseño existe una retroalimentación resultante de la interacción del diseñador con los modelos por él producidos durante el mismo. En el laboratorio virtual los modelos con los que se interactúa son imágenes en 3D que representan a la estructura en pleno funcionamiento, es decir soportando las cargas reales que la afectan, reaccionando y deformándose bajo sus efectos.

## Descripción

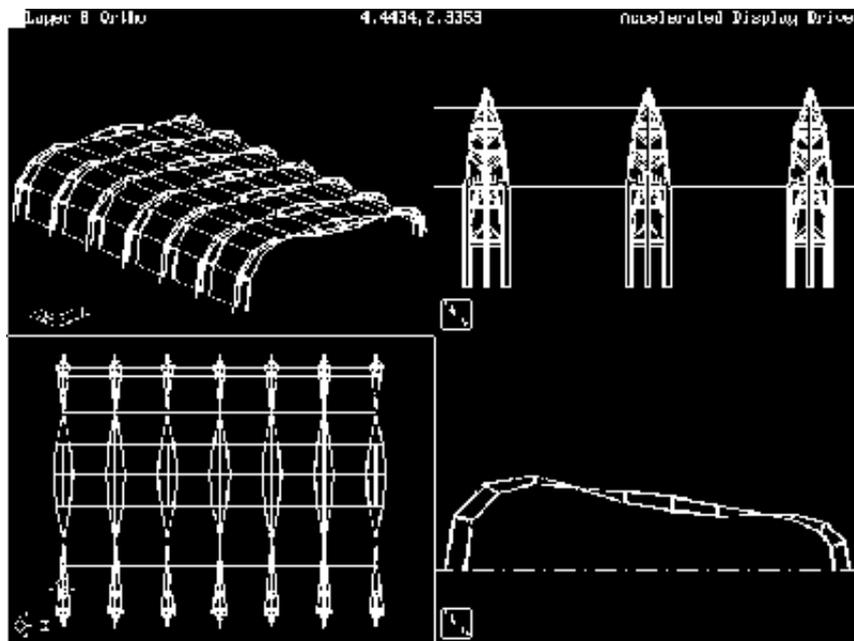
El procedimiento se basa en la combinación de las potencialidades de los sistemas CAD para la realización de inputs y outputs de datos analíticos en forma gráfica con las potencialidades de una original aplicación de cálculo por elementos finitos de barras en 3D<sup>1</sup>

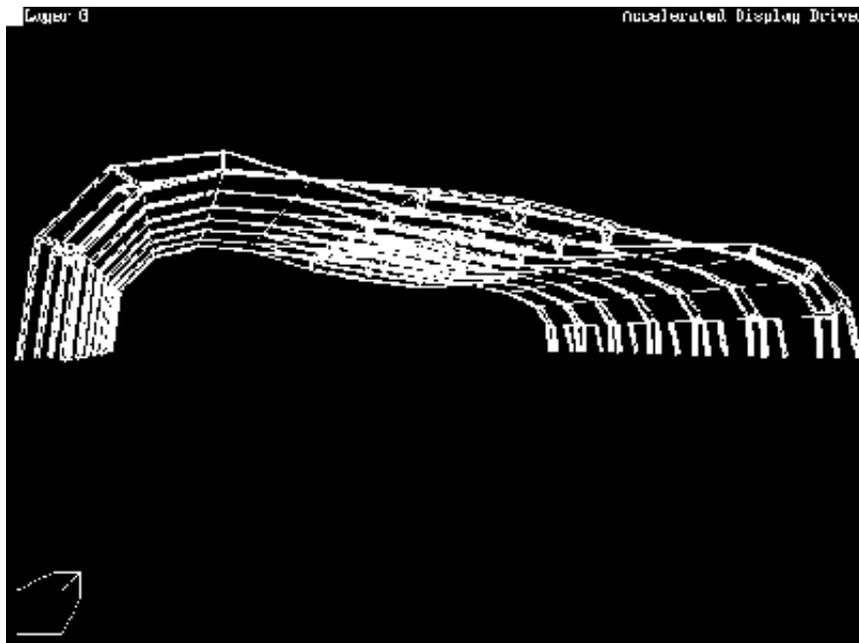
Una serie de rutinas *lisp* desarrolladas ad hoc recogen los inputs gráficos ingresados por el diseñador en las fases iniciales del proyecto y los exportan a la aplicación de cálculo, allí son procesados calculándose para cada elemento desplazamientos nodales, deformaciones, tensiones, etc. Finalmente, los resultados analíticos son recogidos por una nueva serie de rutinas *lisp* que envían a pantalla en forma gráfica las deformaciones de cada elemento en 3D. Una secuencia de imágenes con las deformaciones graduales de una estructura bajo incremento cuasi estático de carga permite al diseñador percibir en forma inmediata el

comportamiento relativo de cada elemento, al mismo tiempo que, dada la exactitud y precisión de las imágenes, permite realizar mediciones de los desplazamientos y deformaciones tal como se efectuarían en un verdadero laboratorio de ensayo de estructuras.

### Ejemplo de aplicación

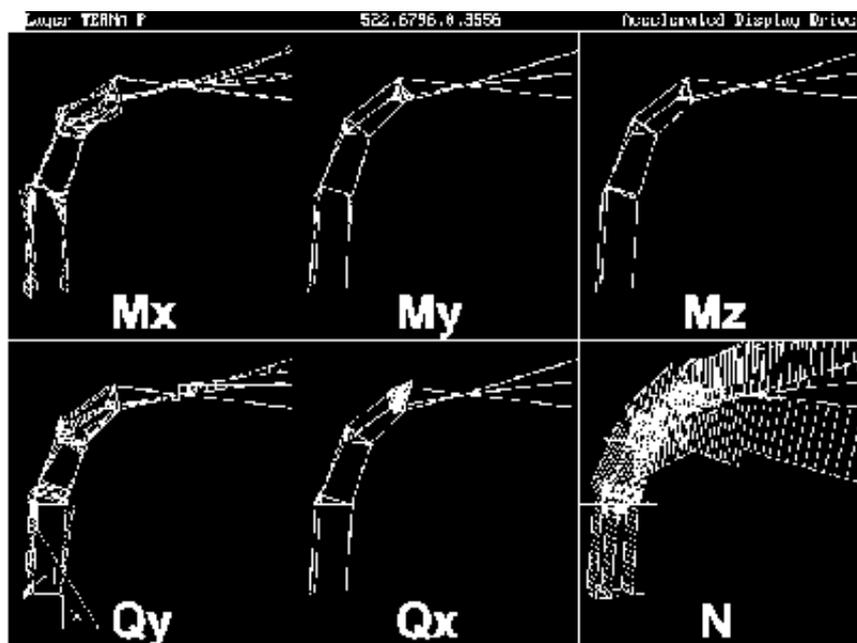
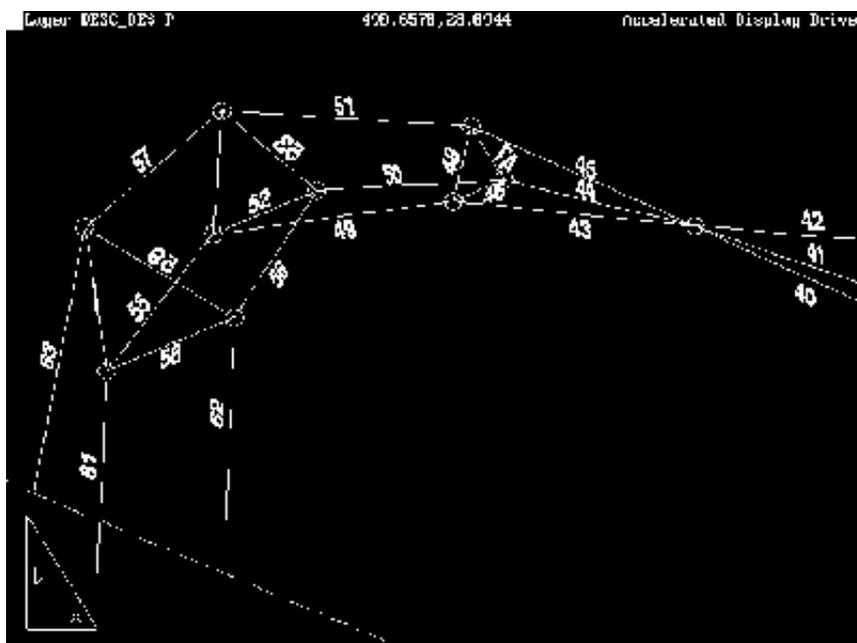
A los efectos de ejemplificar con un caso concreto la aplicación y funcionamiento del procedimiento propuesto se describe a continuación el proceso de diseño de una estructura de barras en 3D de características especiales. (Fig. 1 y Fig. 2).





Se trata de una cubierta de grandes luces generada a partir de una curva gestual de carácter libre con dos puntos de inflexión, combinada con una segunda curva, también gestual aunque más parecida a un arco, aprovechando los puntos de inflexión de la primera para generar las articulaciones. (Fig. 3).

El módulo característico de la estructura, cuya luz aproximada es de 40m, se topologiza con el auxilio de programas CAD por medio de 63 barras tubulares de acero de diferentes secciones, que concurren en 29 nodos.(Fig. 4)



Sobre la geometría en 3D del módulo anterior, en la cual figuran individualizados los 29 nodos y los ejes de las

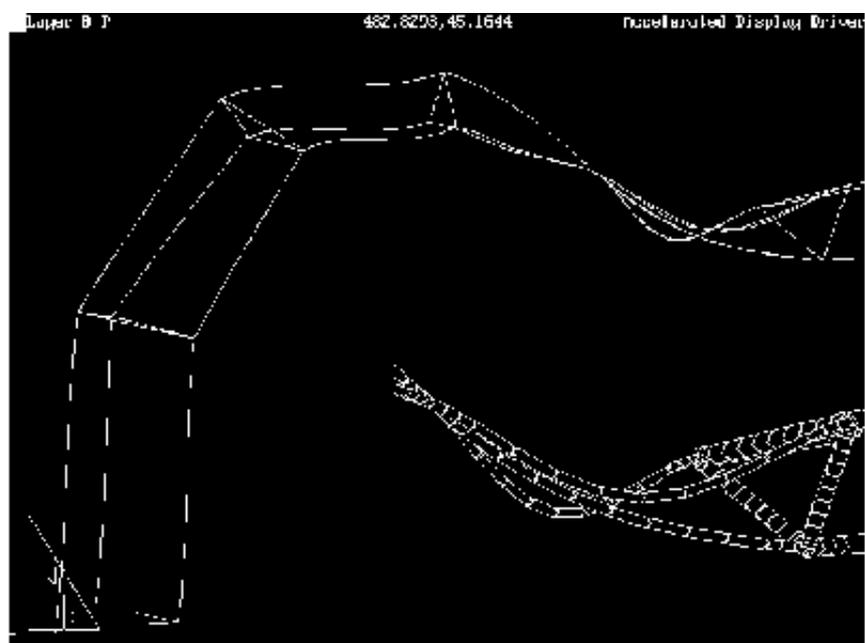
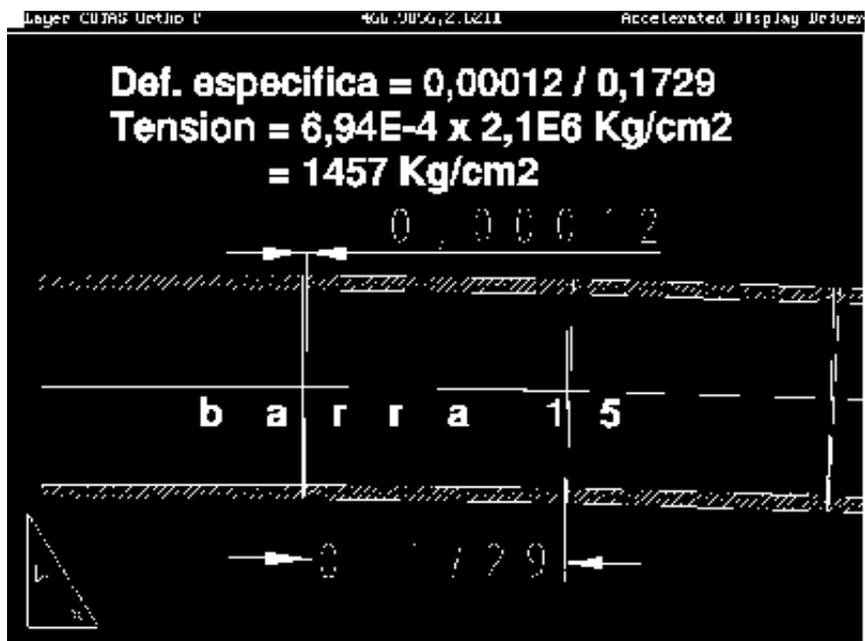
63 barras, se comienza por adoptar el tipo de sección, las dimensiones y el material de las barras a ingresar. Se van dibujando en CAD y simultáneamente ingresando barra por barra con sus respectivos pesos propios, eventuales cargas térmicas, sobrecargas distribuidas, y/o cargas concentradas, según las direcciones de la terna global  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . El programa construye para cada barra su terna local dextrógira  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  con origen coincidente con el nodo inicial y dirección  $z'$  coincidente con el eje de la barra. (Fig. 5).

Una vez ingresados los datos, la rutina *def.lsp* los recoge y envía a una serie de archivos ASCII datos geométricos, de cargas y elásticos de cada elemento de barra. Un grupo de módulos de programa de cálculo basado en el método de las deformaciones<sup>1</sup> procesa los datos de las barras y va ensamblando la matriz de rigidez de la estructura espacial, considerando los seis grados de libertad de cada nodo en el espacio. Resuelven el sistema de ecuaciones para cada estado de cargas, pasan los valores a las ternas locales, y preparan una serie de archivos para cada barra, a los cuales exportan la solución completa de la estructura, desde deformadas hasta los valores de las solicitaciones características  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ,  $Q_x$ ,  $Q_y$  y  $N$ . En este momento se está en condiciones de visualizar los diagramas característicos de cada barra y de toda la estructura en general, para cada uno de los estados de carga, los cuales son graficados en forma automática por las rutinas *elast3D.lsp* y *dis.lsp* (Fig. 6).

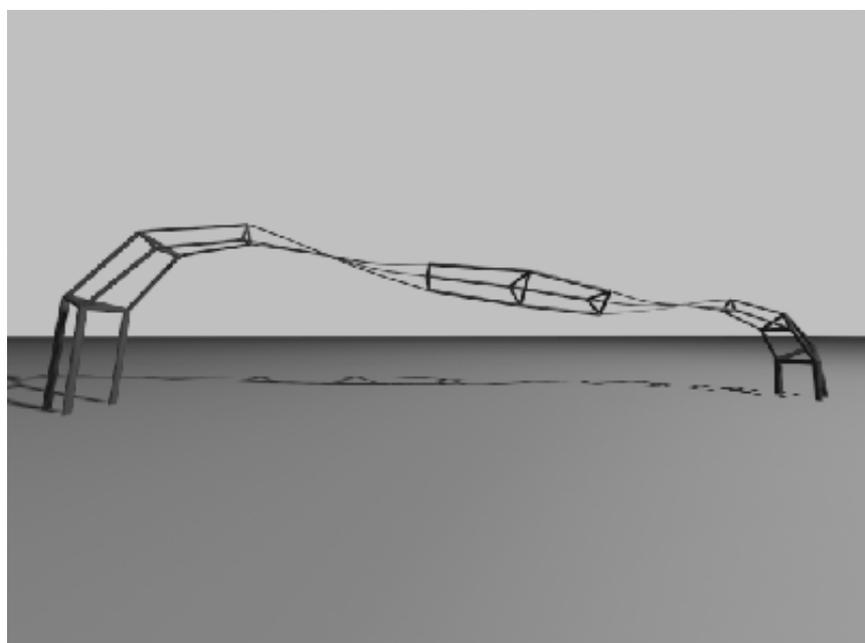
A los efectos de posibilitar la visualización de las deformaciones de cada barra en 3D, éstas están divididas en diez segmentos y los dos extremos, a su vez, subdivididos en tres segmentos más pequeños, esto último para permitir la medición de las deformaciones y obtener una representación gráfica más realista en los puntos críticos. (Fig. 7).

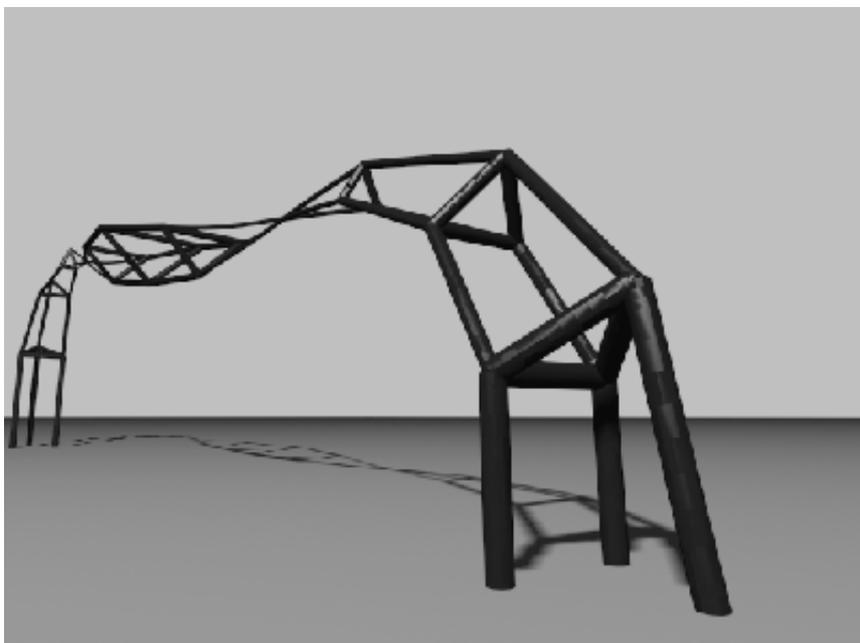
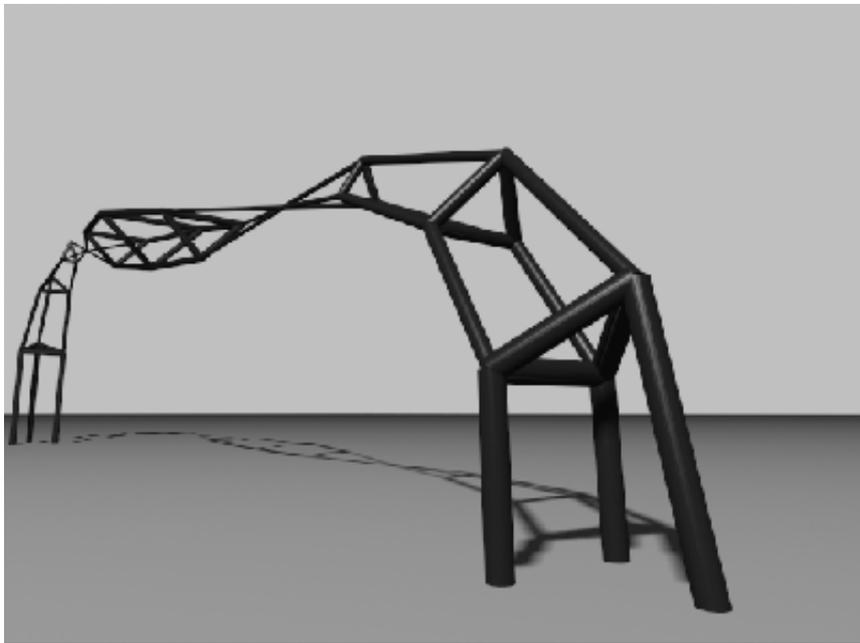
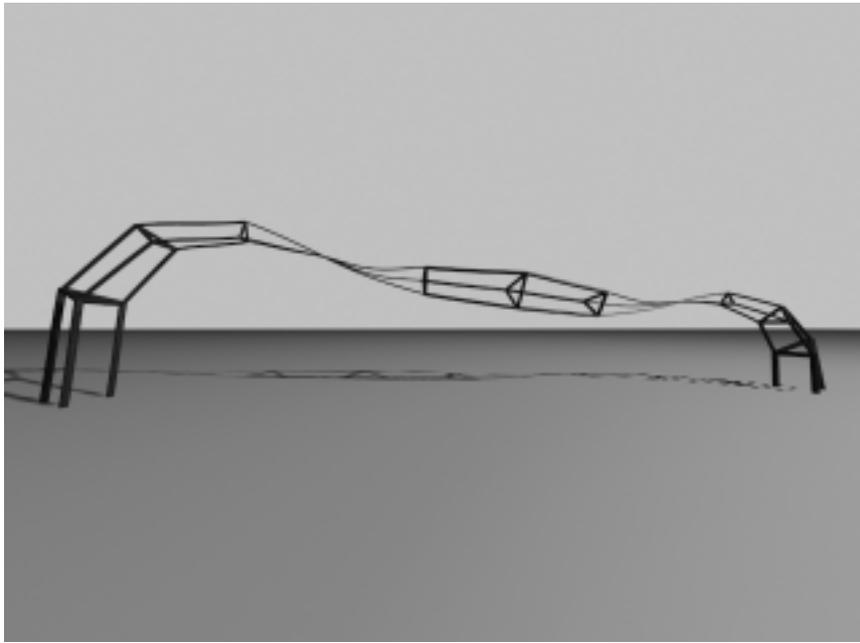
La posibilidad de medir el desplazamiento entre dos elementos contiguos de la barra permite estimar las

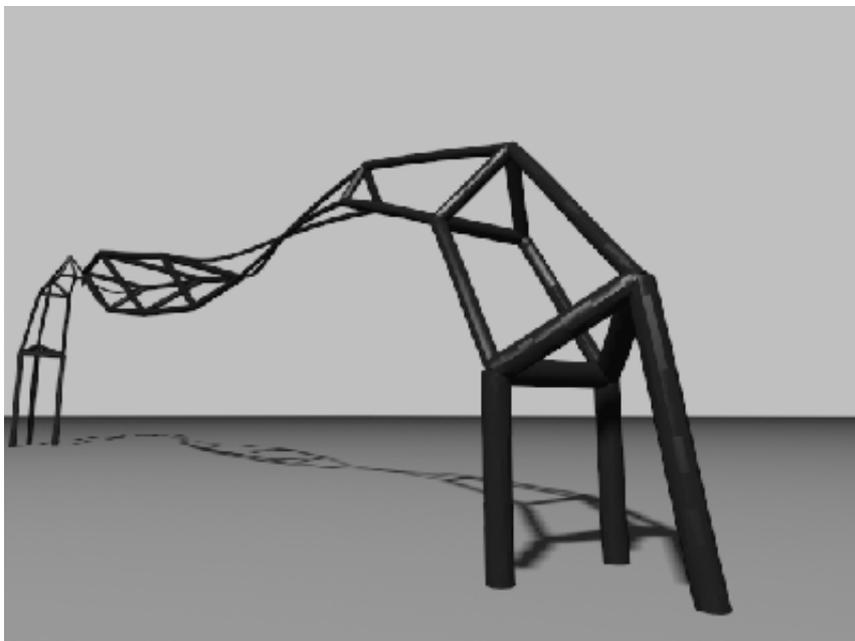
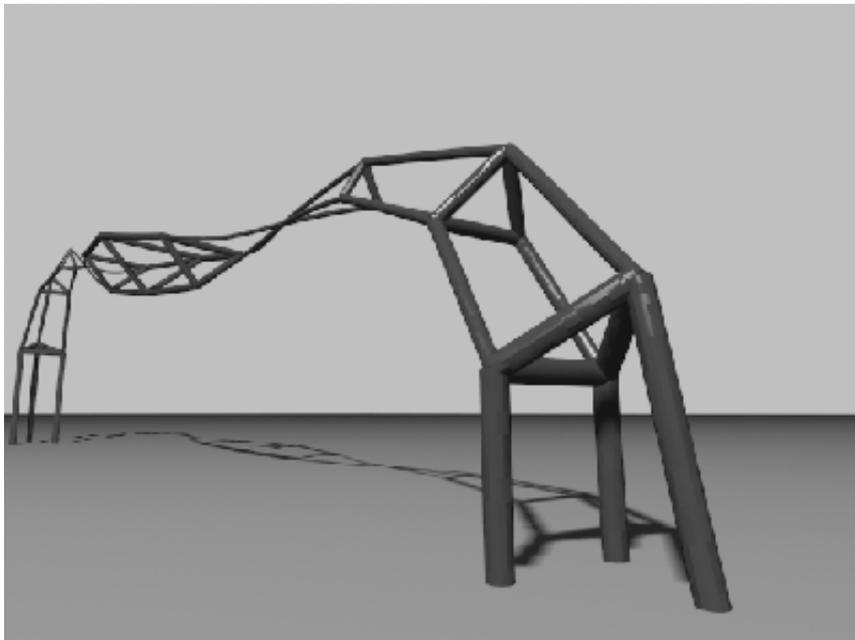




tensiones como si en un ensayo real de carga colocáramos extensómetros. ( Fig. 8)







La secuencia de imágenes para distintas escalas de deformaciones simulan el comportamiento elástico bajo el incremento cuasi estático de las cargas. (Fig. 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17).

## Conclusiones

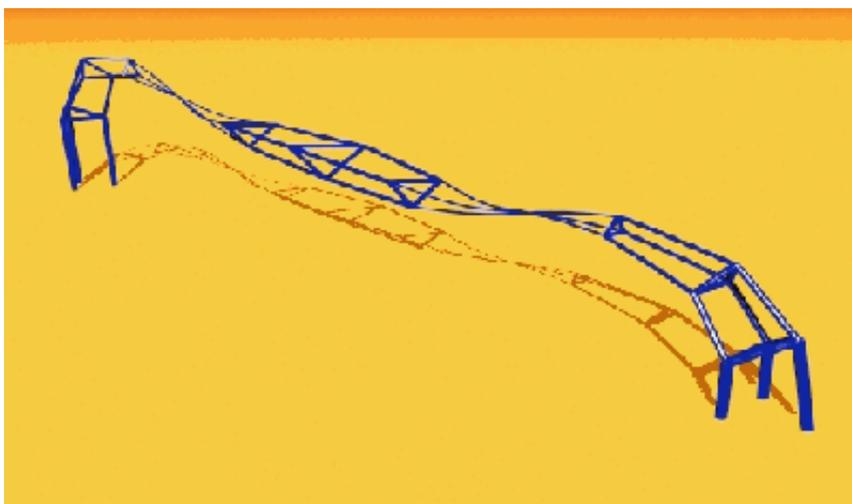
Al independizarse de los sistemas ortogonales preconcebidos y operar fundamentalmente en un entorno gráfico 3D, la serie de herramientas que constituyen el laboratorio virtual permiten la libre creación del modelo estructural desde el inicio. La posibilidad de visualizar el comportamiento de carga y descarga del modelo virtual se convierte en un instrumento de estimulación que retroalimenta el proceso de diseño, tendiendo a la optimización de la estructura, produciéndose una mayor integración entre las etapas de proyecto y de cálculo propiamente dicho.

La arquitectura abierta de la serie de módulos de programas propuestos permite el incremento futuro de las capacidades del laboratorio virtual. Posible evoluciones serían:

Aumentar la variedad de secciones tratadas, añadiendo aquellos tipos cuyo centro de torsión no pase por el eje  $z'$  de la barra.

Posibilitar el empleo de barras con momento de inercia variable por medio de coeficientes de corrección en las respectivas rigideces.

Queda abierta la posibilidad de introducir desvinculaciones plásticas en los elementos de barras próximos a la plastificación, y por medio de aplicaciones reiteradas ejecutar el procedimiento *step by step* para acotar dentro de márgenes cada vez más reducidos la seguridad frente a los diferentes tipos de colapso estructural.



*Hacia un laboratorio virtual para la creación asistida de estructuras en 3D* (Arq. A. Tecchia, Dr. Ing. S. Tecchia)

Módulo estructural deformado bajo hipótesis de carga 3, viento s/X global y cargas permanentes. Escala de las deformaciones magnificada 20 veces.