

## SIMULACIONES NUMERICAS DE ACCIONES DE VIENTO Y SISMO Y SU RELACION CON ENSAYOS FISICOS

Marta B. Rosales<sup>1,2,3</sup>, Patricia M. Bellés<sup>1,2,4</sup>, Silvia Gonzalez<sup>1</sup> y Juan Chierchie<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur  
Avda Alem 1253, B8000CPB Bahía Blanca, Argentina. TE: 54-(0291)-4595156–Interno 3200  
e-mail: [dtoinge@criba.edu.ar](mailto:dtoinge@criba.edu.ar), web page: <http://www.uns.edu.ar/>

<sup>2</sup>IMA, Universidad Nacional del Sur

<sup>3</sup>CONICET (Argentina)

<sup>4</sup>CIC (Pcia. Bs. As., Argentina)  
e-mail: [mrosales@criba.edu.ar](mailto:mrosales@criba.edu.ar), [pbelles@criba.edu.ar](mailto:pbelles@criba.edu.ar)

**Palabras clave:** simulaciones numéricas, viento, sismo, viviendas, estructuras.

**Resumen.** *En este trabajo se muestran experiencias numéricas realizadas con el método de elementos finitos. Se trata del modelado de dos tipos de acciones, las de sismo y las de viento. Como es sabido, las técnicas de análisis experimental utilizando modelos físicos conllevan un considerable costo tanto del modelo propiamente dicho como del ensayo. Por otro lado, estudios paramétricos requieren de la modificación del modelo y/o de la acción. En este trabajo se comentan las posibilidades de complementar dichos ensayos con simulaciones numéricas de forma tal de contar con una herramienta más económica y que permite fácilmente modificar el modelo.*

*Por un lado se ilustrará la acción de sismo sobre una estructura que sostiene un tanque elevado. Se comparan resultados de ensayos en laboratorio con un modelo físico y los obtenidos con la herramienta Simulación de Eventos Mecánicos de un programa de elementos finitos. Dicho procedimiento permite realizar un ensayo en un “laboratorio virtual”. Por otro lado, la acción del viento sobre viviendas es evaluada con simulaciones numéricas considerando las cargas cuasiestáticas, utilizando cargas de ensayos realizados en túneles de viento.*

## 1 INTRODUCCIÓN

Los ensayos experimentales con modelos en Ingeniería Civil deben cubrir las necesidades de complejidad aunque el costo de su ejecución muchas veces puede resultar alto.

En el caso de sismo, su modelación física se realiza, como es conocido, con modelos a escala ensayados sobre una mesa sísmica. Por otra parte, las cargas de viento sobre estructuras y/o vivienda, son usualmente simuladas en ensayos en túnel de viento de capa límite. En ambos casos, tanto el desarrollo del modelo como la infraestructura necesaria para los ensayos, requieren de erogaciones importantes.

En los últimos tiempos aparecen los métodos numéricos y las herramientas computacionales como alternativas versátiles y económicas para lograr fines similares. No obstante, se requiere de validaciones y comparaciones entre ambas técnicas para verificar la convergencia de los resultados. Por otro lado, ambos enfoques no son totalmente reemplazables uno por otro, sino que pueden ser técnicas complementarias.

En este trabajo se muestran resultados de dos estudios realizados con cargas de sismo y viento respectivamente; el primer caso trata de una estructura sometida a acciones de sismo que fue ensayada con un modelo físico a escala sobre una mesa sísmica y también fue estudiada con un programa de elementos finitos. El segundo caso muestra las posibles simplificaciones tanto en un modelo de ensayo de presiones de viento sobre edificios de baja altura y la simulación de las acciones sobre el modelo con elementos finitos.

## 2 ENSAYO SISMICO REAL Y VIRTUAL

Una misma estructura fue analizada experimental y computacionalmente. La estructura está esquematizada en Figura 1. En las dos secciones subsiguientes se describen brevemente los ensayos experimentales y el estudio numérico-computacional. En la sección 2.3 se discuten los resultados de ambos enfoques.

### 2.1 Estudio Experimental.

La elección del modelo respondió a la necesidad de comparar los resultados obtenidos con valores de referencia comprobables. La estructura que se analiza es un modelo existente en el Laboratorio Central de Estructuras del CEDEX, que se describe a continuación. Para más detalles ver Bellés y Legazpi<sup>1</sup>.

Se trata de una estructura construida con perfiles de acero de planta rectangular. Esta formada por dos pisos de 1.29m de altura cada uno. Sobre el piso superior se apoya un bloque de hormigón de planta cuadrada y con un agujero central cuadrado.

Teniendo en cuenta las leyes de semejanza que rigen la construcción de modelos a escala, el modelo de laboratorio que se describe representa una estructura real que podría ser un depósito elevado. El objetivo que se persigue es estudiar el comportamiento del modelo en la mesa sísmica. Por consiguiente, en esta etapa del análisis no se realiza la extrapolación de resultados a la

hipotética estructura real.

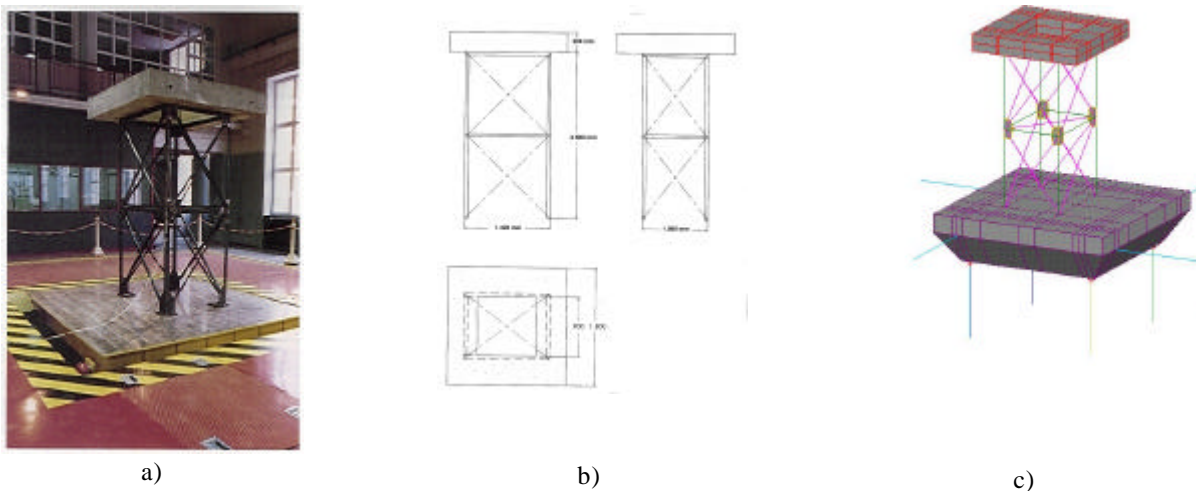


Figura 1. Configuración de la estructura bajo carga de sismo. a) modelo físico montado sobre la mesa sísmica; b) configuración geométrica; c) modelo de elementos finitos.

El Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX cuenta con un simulador sísmico de 6 grados de libertad que permite la excitación simultánea e independiente de seis movimientos: dos traslaciones horizontales y una vertical y dos giros de basculamiento y una torsión respecto al eje vertical. Para reproducir el movimiento espacial causado por un sismo en la superficie del terreno, son necesarios al menos tres grados de traslación. Sin embargo, por problemas de control, es aconsejable utilizar seis grados de libertad para un simulador sísmico que reproduzca las tres componentes del movimiento.

Básicamente, el simulador sísmico (Figura 1a) consiste en una mesa cuadrada (3 m de lado y 0.80m de altura) de gran rigidez, construida con paneles de acero y apoyada sobre cimentación flotante. Cuenta con un sistema de soporte estático centrado por pistón neumático, con rótulas esféricas. La mesa es movida por cuatro actuadores horizontales y cuatro verticales, que la someten a movimientos programados.

La estructura sobre la mesa sísmica fue sometida a la acción de las cargas correspondientes al terremoto del Centro (1940), cuyas características son usualmente empleadas para representar un terremoto típico. Como ejemplo, en la Figura 2 a se muestra la componente vertical de dicho terremoto para los primeros 5 seg. Se aplicaron separadamente las componentes horizontales y verticales del movimiento sísmico.

La instrumentación de control de la mesa permite medir el desplazamiento y la aceleración, obteniéndose la velocidad a partir de ellas por un circuito electrónico analógico en tiempo real.

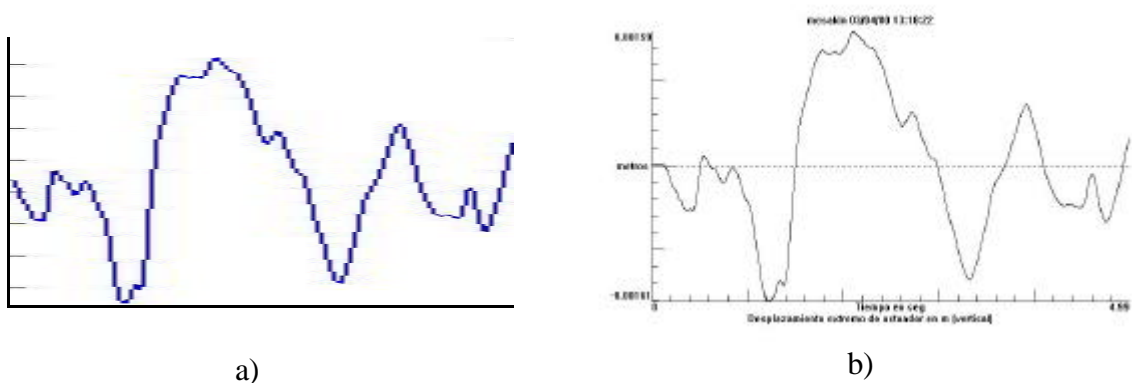


Figura 2. a) Componente vertical del terremoto del Centro (1940) en los primeros 5 seg. b) curva de carga aplicada a los actuadores verticales en la simulación computacional.

## 2.2 Análisis Computacional.

El algoritmo comercial ALGOR<sup>2</sup> posee una herramienta adecuada para este estudio llamada MES ( Mechanical Event Simulation). El módulo MES permite analizar eventos mecánicos incluyendo en forma simultánea grandes deformaciones, no linealidad de materiales, movimientos y fuerzas originadas por esos movimientos.

Tanto la estructura bajo análisis como las influencias exteriores que conforman el evento físico, pueden ser modeladas asumiendo un número mínimo de hipótesis básicas lo cual reduce la posibilidad de errores en los resultados. Además de simular los movimientos y deformaciones, calcula y muestra las tensiones en cada instante del proceso.

La simulación está regida por la conocida ecuación de movimiento, que combina las fuerzas inerciales, amortiguamiento y deformación mecánica:  $[M]\{a\} + [C]\{v\} + [K]\{d\} = \{f\}$ , donde  $[M]$  es la matriz de masa,  $\{a\}$  el vector aceleración,  $[C]$  la matriz de amortiguamiento,  $\{v\}$  el vector velocidad,  $[K]$  la matriz de rigidez,  $\{d\}$  el vector desplazamiento y  $\{f\}$  las fuerzas actuantes.

Básicamente, la simulación de eventos consiste en tres pasos:

a) Preproceso: Es la generación del modelo y la configuración del evento. Para ello, en primer lugar se determinan los tipos de elementos que serán usados para representar de la forma más adecuada tanto la geometría como el tipo de análisis. Se construye la malla de elementos finitos de la estructura en forma manual o automática. Luego se especifican los materiales empleados con sus propiedades (lineales o no lineales) y se aplican las condiciones de borde.

Es necesario especificar algunos parámetros de cálculo: el tiempo de observación del evento, la cantidad de registros de tensiones, deformaciones y desplazamientos que se desea obtener por cada segundo de observación.

Se deben especificar las fuerzas ( o presiones) en función del tiempo si se conocen en forma precisa. De lo contrario, las fuerzas serán determinadas por los cambios en el movimiento. Las cargas resultantes de cambios en el movimiento son computadas interna y automáticamente.

b) Proceso: Con la ejecución de la simulación se inicia un proceso interactivo del desarrollo del evento. Además, pueden monitorearse desplazamientos, deformaciones y tensiones a medida que se producen y pueden verse las velocidades y aceleraciones en distintos puntos del modelo.

c) Post-proceso: Es el examen de los resultados incluyendo su historia animada. Se pueden obtener gráficos de tensiones, movimiento, deformaciones para cada instante a lo largo del proceso de simulación. También es posible reproducir una animación temporal del proceso.

Para modelar la estructura metálica se utilizó el elemento lineal viga de 2 nodos, formulado en el espacio 3D. Tiene 6 grados de libertad por nodo: 3 traslaciones y 3 rotaciones en cada extremo del elemento.

Las cartelas rigidizadoras se representaron con el elemento placa, triangulares de 3 nodos y cuadriláteros de 4 nodos. Son elementos formulados en el espacio 3D, tienen 5 grados de libertad por nodo: 3 traslaciones y 2 rotaciones.

Para modelar los bloques de hormigón se utilizó el elemento sólido deformable 3D. Son elementos de 8 nodos en el espacio 3D con 3 grados de libertad traslacionales por nodo.

Con la finalidad de representar algunas características particulares del modelo y el tipo de análisis, fueron empleados además otros tipos de elementos no clásicos: actuadores, elementos cinemáticos 3D y elementos de contacto, cuyas características se describen a continuación.

El mecanismo servo hidráulico que imprime el movimiento, fue modelado con un elemento llamado actuador. El mismo consiste en un elemento lineal muy rígido con 6 grados de libertad que reproduce desplazamientos variables controlados a través de curvas de carga. La incorporación de actuadores en el modelo de elementos finitos hace posible simular movimientos en el tiempo en cualquier dirección. Este tipo de elemento permite reproducir extensión y retracción en el espacio 3-D, siendo este el típico movimiento de cilindros hidráulicos y neumáticos.

Una vez realizadas las verificaciones previas (estática y dinámica), los elementos standard de los bloques de hormigón fueron reemplazados por elementos “cinemáticos” 3D. Con ellos se consigue reducir el proceso de cálculo ya que son elementos que tienen la posibilidad de utilizarse como los elementos finitos usuales, pero obviando el cálculo de las tensiones. Dado que el problema estudiado no requiere el análisis de las tensiones en el bloque de hormigón, el uso de estos elementos permite reducir notablemente el número de grados de libertad que intervienen en el problema.

También con este tipo de elementos y por análogas razones, fue modelada la mesa sísmica sobre la cual se apoya la estructura y sobre la que se aplican los actuadores.

Se utilizaron además elementos de contacto. Este tipo de elemento es lineal de dos nodos, tiene tres grados de libertad de traslación global en cada extremo y transmite solamente fuerza axial.

En el ensayo aquí descrito el soporte estático central permaneció inactivo durante el ensayo, por lo que no fue incluido en el modelo. Este soporte cumpliría la función de compensar el peso de la mesa y del modelo, de manera que los actuadores sólo soporten las fuerzas dinámicas.

### **2.3 Resultados experimentales y computacionales; comparaciones.**

Previo al estudio de la respuesta a la excitación sísmica, se ajustó el modelo de elementos finitos con las siguientes verificaciones. Se calculó el desplazamiento vertical de la parte superior de la estructura (0.08 mm) utilizando un análisis estático lineal. Fueron obtenidas las siguientes tensiones máximas: 25.5 kg/cm<sup>2</sup> de tracción y 92 kg/cm<sup>2</sup> de compresión.

Con respecto a la respuesta dinámica, se realizó el estudio modal, encontrándose las

primeras frecuencias naturales y sus respectivas formas modales. Los valores obtenidos para las tres primeras frecuencias de vibración fueron, respectivamente: 13.89 Hz; 17.92 Hz; y 25.02 Hz. En la Figura 3 están esquematizados los primeros tres modos.

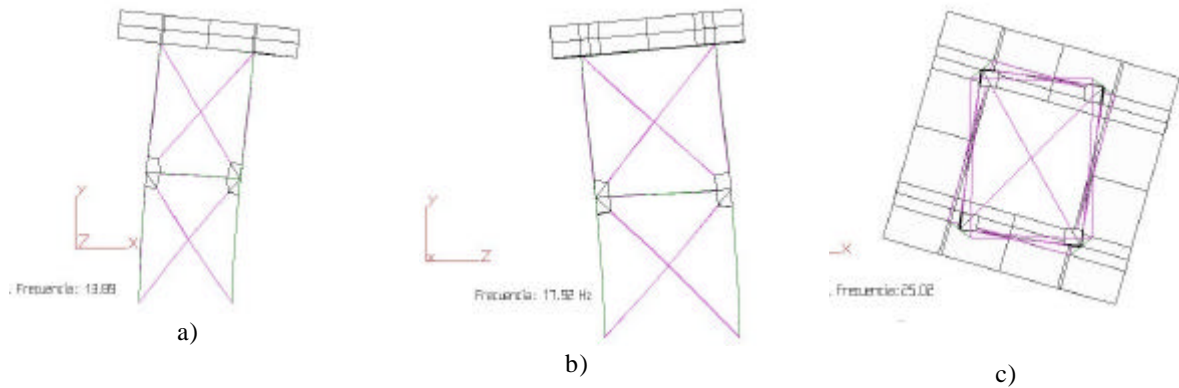


Figura 3. Modos naturales de vibración. a) Primer modo; b) segundo modo; c) tercer modo.

La respuesta del equipo ensayado en la mesa sísmica se obtiene mediante nueve acelerómetros. Los mismos se instalaron según los ejes coordenados. Fueron colocadas además tres bandas extensométricas para medir deformaciones.

A los efectos de ilustrar la metodología, se comentarán sólo los resultados correspondientes a uno de los ensayos, realizado con la componente vertical del sismo, y para un punto de observación en la estructura. Dicho punto corresponde a la posición del acelerómetro, ubicado en la dirección del eje vertical, en el punto medio de uno de los perfiles horizontales a media altura.

La estructura en el ensayo se mueve de forma aproximadamente rígida. Tanto los nodos del bloque de hormigón, los nodos intermedios y los nodos de la base, se mueven de forma casi solidaria a lo largo de todo el ensayo, con muy poca deformación relativa entre ellos. Es decir, que desde este punto de vista es un ensayo con dominio de la linealidad, aunque el MES nos permitiría atacar problemas mucho más complejos. En el modelo virtual de la estructura podemos obtener datos de desplazamiento, velocidad, aceleración y tensiones en cualquier punto. La información es mucho más rica que la obtenida experimentalmente.

La comparación de resultados entre el modelo y la mesa sísmica se ha enfocado desde el punto de vista de desplazamientos y de aceleraciones. En ambos casos se observa una concordancia muy estrecha.

Desde el punto de vista de aceleraciones, se observa que existe una muy buena correspondencia entre los valores máximos: valor  $2.20 \text{ m/s}^2$  medido, frente a  $2.5 \text{ m/s}^2$  del modelo MES, y valor  $-1.70 \text{ m/s}^2$  medido, frente a  $-1.90 \text{ m/s}^2$  del modelo MES, considerando valores positivos y negativos respectivamente (ver Figuras 4 y 5). Las diferencias observadas son aproximadamente entre 11% y 12%. Debe tenerse en cuenta que al definir el pico de aceleración, el muestreo y la integración se han realizado a 1 ms, y esto produce un leve truncado de los picos.

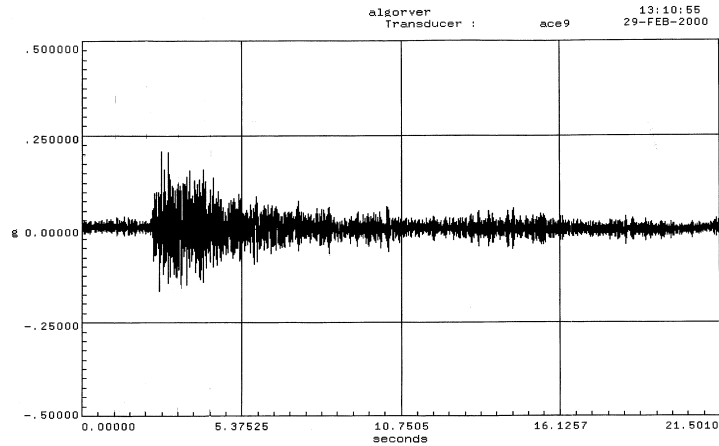


Figura 4. Registro de aceleraciones medidas en el acelerómetro durante el ensayo (21.5 seg).

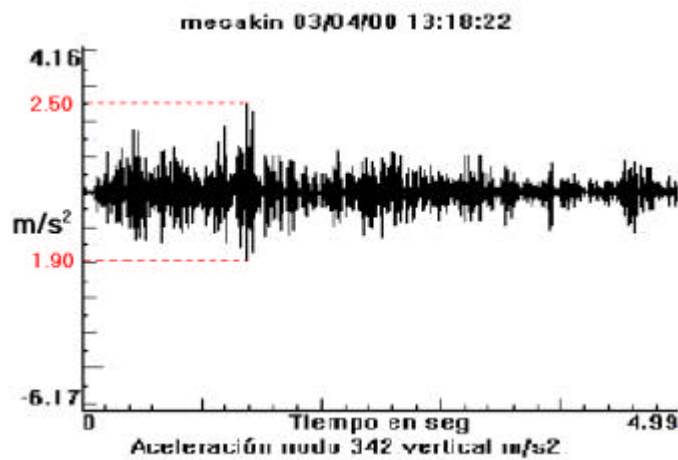


Figura 5. Aceleraciones obtenidas con el módulo MES durante los primeros 5 seg.

A través de esta ilustración y los resultados logrados puede verse la utilidad de la herramienta “Simulación de Eventos Mecánicos” de ALGOR<sup>2</sup> para el análisis de una estructura sometida a efectos sísmicos. Dicha herramienta permite considerar distintas complejidades como materiales, geometrías y tipos de cargas dinámicas. Entre otras aplicaciones mencionaremos estructuras con grandes deformaciones, problemas de plasticidad, amortiguamiento y situaciones de interacción con el terreno.

Es conocido el elevado costo que implican los ensayos experimentales. Sin pretender reemplazar el ensayo físico por el cálculo numérico, esta metodología computacional constituye un útil recurso, y de menor costo. Esta característica es particularmente ventajosa cuando se trata de sistemas complejos y cuyo comportamiento no es totalmente conocido o predecible. El cálculo computacional aparece como una técnica relativamente sencilla para estimaciones previas al ensayo de laboratorio. Es importante destacar que al reducirse las hipótesis de cálculo se disminuye la posibilidad de introducir errores en los resultados. Es decir, no es necesario estimar complicadas condiciones de contorno, pues el movimiento de la mesa se introduce directamente con actuadores, del mismo modo que en el ensayo real.

Está previsto realizar en el futuro aplicaciones de la simulación de eventos sobre modelos a escala reducida de otras estructuras bajo cargas sísmicas.

### 3 CARGAS DE VIENTO SOBRE VIVIENDA

Varios de los códigos vigentes sobre la acción del viento sobre viviendas y construcciones industriales de baja altura (en inglés low rise buildings) están basados en resultados de ensayos realizados en modelos a escala en túneles de viento de capa límite. El reglamento argentino CIRSOC 102<sup>3</sup>, cuya nueva versión se encuentra en discusión pública, tiene su base en las normas ASCE<sup>4</sup> de cargas. En pocas palabras puede decirse que, la metodología principal en dichos reglamentos es zonificar las cargas en las llamadas “áreas de influencia”.

Durante varios años los laboratorios de túneles de viento de capa límite (por Ej. BLWT Laboratory en Canadá y el WSERC en Texas, USA) han realizado los ensayos tradicionales con mediciones a través de la configuración tradicional de medidores de presión situados en numerosos puntos del modelo a escala (Statopoulous<sup>5</sup> Surry *et al.*<sup>6</sup>) y mediciones en construcciones en escala real. Este tipo de ensayos resulta relativamente costoso en su construcción y en el desarrollo del ensayo por la cantidad de información que debe ser procesada. A lo largo de los años estos ensayos en modelos a escala reducida y real han permitido formar una base de datos muy interesante sobre este tipo de viviendas y que ha permitido la elaboración de recomendaciones y/o estándares.

Por otro lado, y dado que el costo real de este tipo de edificaciones no justifica generalmente ese gasto para estudios particulares, se ha intentado simplificar dichos modelos.

#### 3.1 Modelo experimental

Un ejemplo de ello ha sido el modelo simplificado de Rosales<sup>7</sup> bajo la idea de A. G. Davenport. En las Figuras 6 y 7 se muestran esquemas y fotografías de tal modelo.

El objetivo de este modelo experimental es proveer de datos de presiones de viento simplificados y directo de ensayos en túneles de viento.

Se obtienen cargas por áreas, a diferencia de los modelos rígidos tradicionales que brindan mediciones puntuales. La técnica introduce el uso de un material poroso (polietileno poroso) para obtener promedios “neumáticos” de la presión en áreas parciales de las paredes y de la cubierta del modelo. Un mejoramiento de los promedios simples fue intentado con la suma de un término lineal. Sus dimensiones en escala real son representativas de un edificio industrial típico. El modelo fue construido en escala geométrica 1:250, en plexiglás rígido con cámaras insertas en la cubierta y paredes. Las cámaras fueron cubiertas con láminas de polietileno poroso y fueron realizadas con volumen y profundidad mínimas. Cada cámara fue provista de un medidor de presión a tope conectado como es usual a un transductor electrónico.



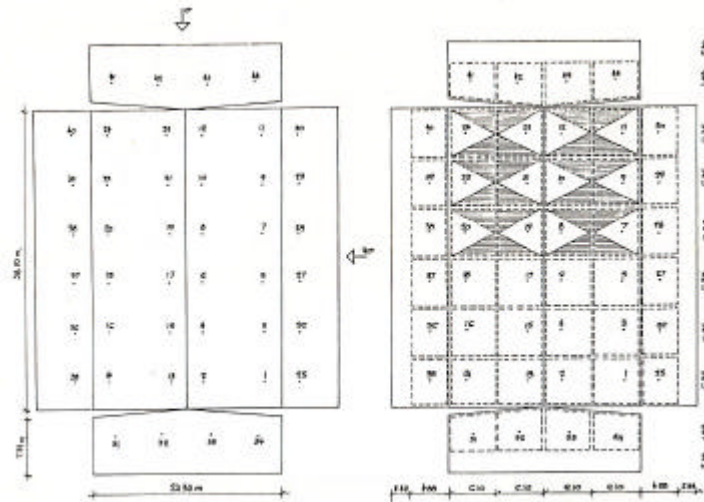


Figura 6. Esquema geométrico del modelo de ensayos simplificado para una cubierta a dos aguas

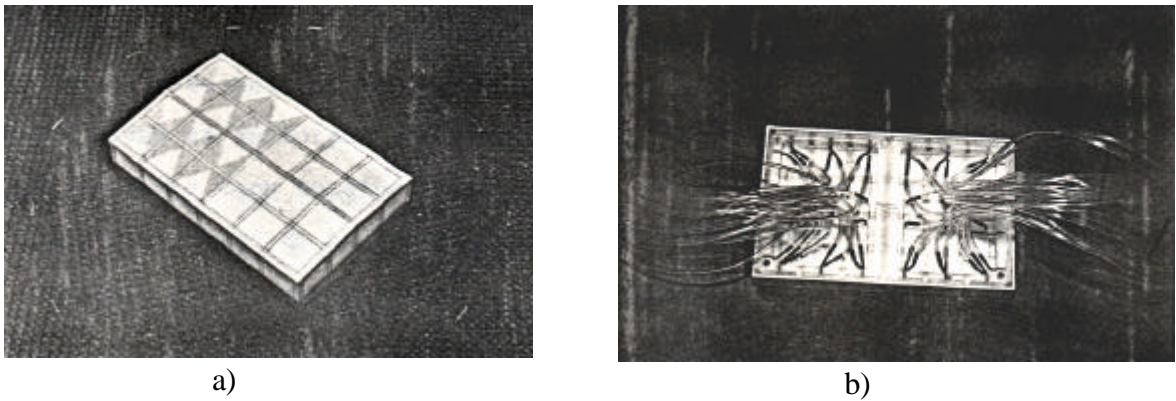


Figura 7. Modelo de ensayo simplificado. a) vista externa; b) vista interna.

La idea original fue modelar una aproximación de Cheychev en la etapa de adquisición de datos. En este modelo se tuvieron en cuenta los dos primeros términos.

Los resultados fueron comparados con el modelo de mediciones puntuales (i.e. la configuración tradicional). Fue encontrado un buen acuerdo en general, aunque, como era de esperar, las regiones de los rincones mostraron mayor dispersión. Algunas de las conclusiones encontradas con este modelo pueden ser resumidas como sigue:

- La superficie porosa permite aplicar una “función” de peso a los promedios. Dado el tamaño reducido de las cámaras se utilizó una cinta triangular para simular el peso lineal.
- La técnica es suficientemente flexible para ser adaptada a varias geometrías.
- Los resultados de cargas estructurales resultantes son promisorios. Esto es debido al hecho que la interacción viento-estructura en este tipo de edificios es un efecto global y el efecto de las presiones locales no es importante.
- Este enfoque parece particularmente apropiado para edificios de baja altura para los cuales no se justifican ensayos detallados.

El “modelo poroso” puede estimar las presiones de viento con una técnica simple y una cantidad de datos reducida. Todavía las características de las presiones de viento inestables son retenidas en

las mediciones. Esto es apropiado para calcular los efectos estructurales.

### 3.2 Análisis numérico de cargas de viento sobre cubiertas a dos y cuatro aguas.

En esta sección, las presiones de viento obtenidas de ensayos de túneles de viento tradicionales (i.e. Obtenidos con mediciones puntuales) son aplicadas sobre un modelo computacional de vivienda y/o edificio industrial. También se utilizan cargas calculadas con los códigos vigentes.

Al presente existe una gran disponibilidad de resultados de presiones sobre edificios bajos, hallados con túneles de viento. Esto permite llevar a cabo estudios comparativos con esos datos existentes.

Se muestra a continuación (Tabla 1) un resumen de varios casos analizados que comprenden dos geometrías de cubiertas, a dos y cuatro aguas, sin y con estructura de madera, sin y con paredes de mampostería.

Tabla 1. Características de los modelos estudiados.

<b>MODEL O</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CARGA</b>	<b>NOMBR E</b>	<b>TIPO ESTRUCTURAL</b>
A	Cubierta a 2 aguas Paredes y cubierta de madera	Código	CA1	Ninguna
			CA2	Retic. madera
		Túnel	TA1	Ninguna
			TA2	Retic. madera
B	Cubierta a 4 aguas Paredes y cubierta de madera	Código	CB1	Ninguna
		Túnel	TB1	Ninguna
C	Cubierta a 4 aguas Edificio industrial Cubierta de madera	Código	CC1	Ninguna (pared mamp.)
			CC2	Retic. madera
		Túnel	TC1	Ninguna (pared mamp.)
			TC2	Retic. madera
D	Cubierta a 2 aguas Edificio industrial Cubierta de madera	Código	CD1	Ninguna (pared mamp.)
			CD2	Retic. madera
		Túnel	TD1	Ninguna (pared mamp.)
			TD2	Retic. madera

Las presiones halladas en túneles de viento son tomadas de Jensen<sup>8</sup> (un pionero en la medición de cargas de viento en túneles con capa límite) y Meehan<sup>9</sup>. En la Figura 8 se muestra un diagrama típico de las presiones reportadas por Jensen<sup>8</sup>.

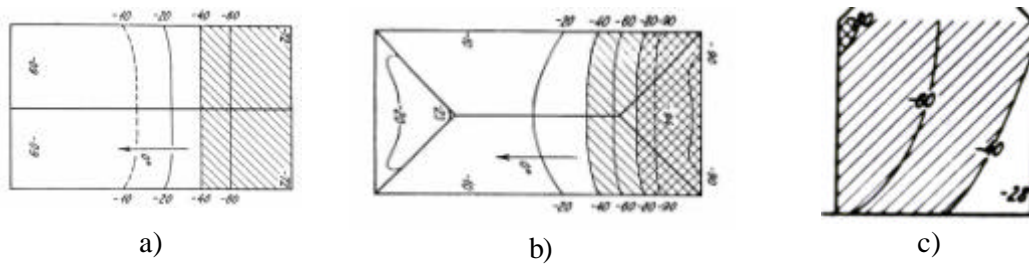


Figura 8. Presiones halladas en túnel de viento con capa límite. Diagramas típicos. a) cubierta a dos aguas; b) cubierta a cuatro aguas; c) paredes laterales.

En la figura 9 se esquematizan las presiones típicas por área de influencia calculadas según la norma ASCE 7-98<sup>4</sup>.

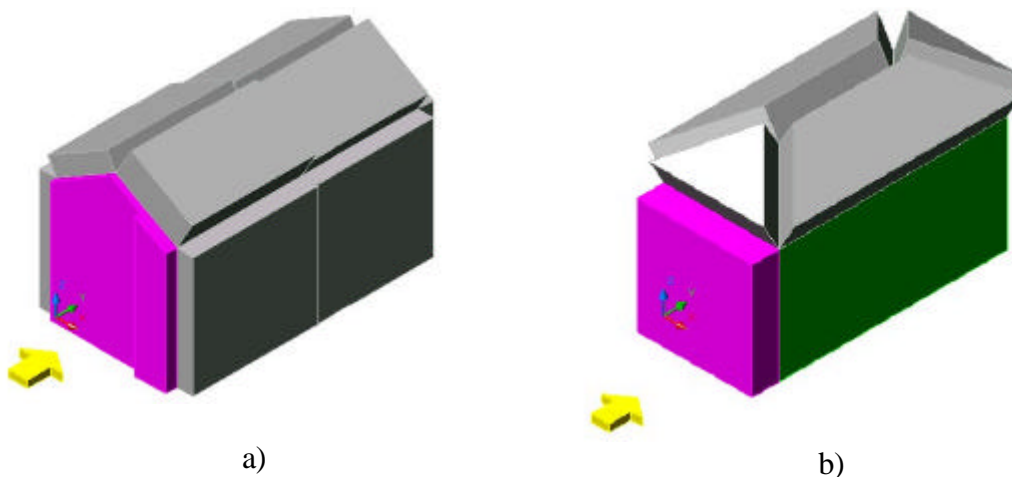


Figura 9. Esquema típico de presiones de viento según norma ASCE 7-98. a) edificio a dos aguas; b) edificio a cuatro aguas.

Las tensiones típicas que se obtienen de la aplicación de tales cargas se muestran en la Figura 10 para una vivienda y la Figura 11 para edificio industrial. En ambos casos se trata de cubiertas a dos aguas.

En el caso de cubiertas a cuatro aguas, las Figuras 12 y 13 muestran los resultados de tensiones. Debe aclararse que las figuras 10 y 12 el viento es paralelo a la cumbrera pero la rugosidad no es la misma (suburbano en figura 10 –  $h/z_0=190$ , y campo abierto –  $h/z_0=400$  en figura 12). La comparación es válida entre cargas halladas con código y túnel de viento en cada geometría.

El caso de cubierta a cuatro aguas presenta menos coincidencia aunque, como es de esperar, existen discrepancia en algunas zonas localizadas. La Figura 13 muestra el efecto de las cargas según

código sobre una cubierta a cuatro aguas con el viento diagonal. En este caso las cargas no se encuentran directamente en el código y se hallaron por extrapolación. No se tuvieron en cuenta en este caso las cargas sobre las paredes.

La Figura 14 muestra otro caso de edificio industrial.

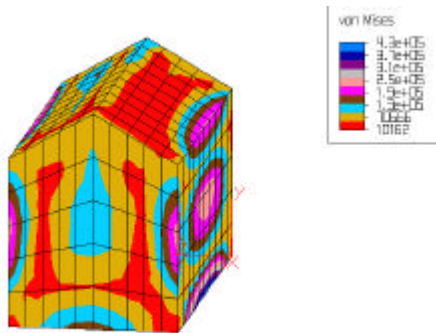


Fig. 10 a. Tensiones halladas con un modelo computacional con cargas según ASCE. Caso CA1.

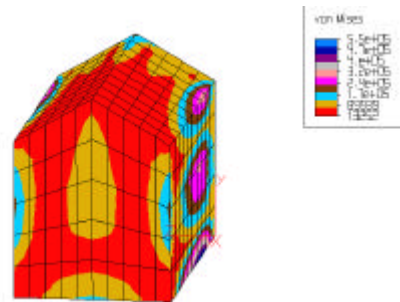


Fig. 10 b. Tensiones halladas con un modelo computacional con cargas según Jensen. Caso TA1.

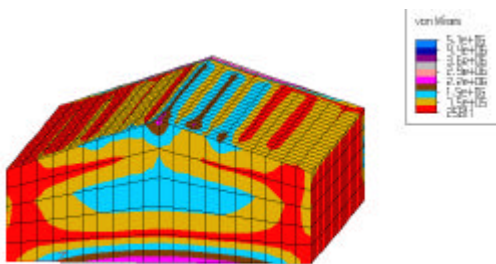


Fig. 11a. Modelo CD2. Cargas de código.

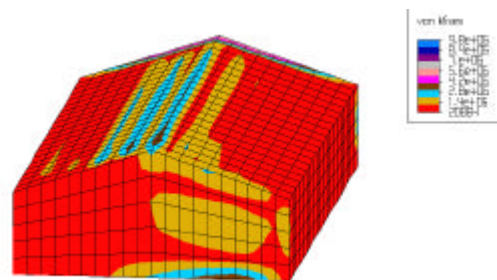


Fig. 11b. Modelo TD2. Cargas de túnel de viento [3].

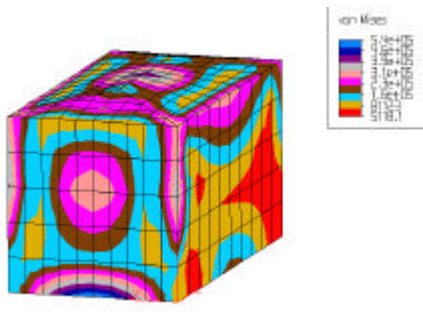


Fig. 12a. Tensiones encontradas con cargas según código

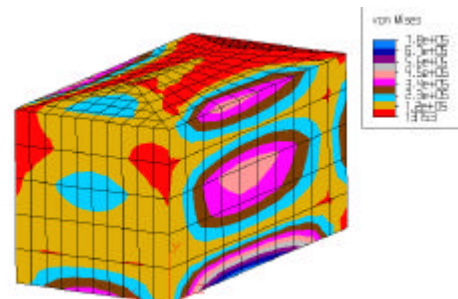


Fig. 12b. Tensiones encontradas con cargas de túnel de viento

código. Caso CB1.

viento [2]. Caso TB1.

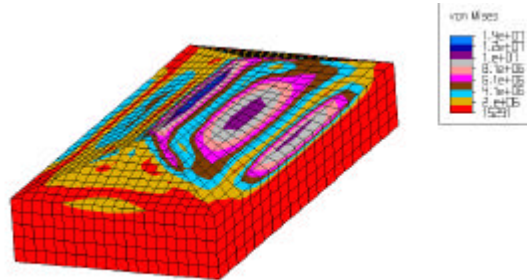


Fig. 13. Caso CC1. Cargas según código.

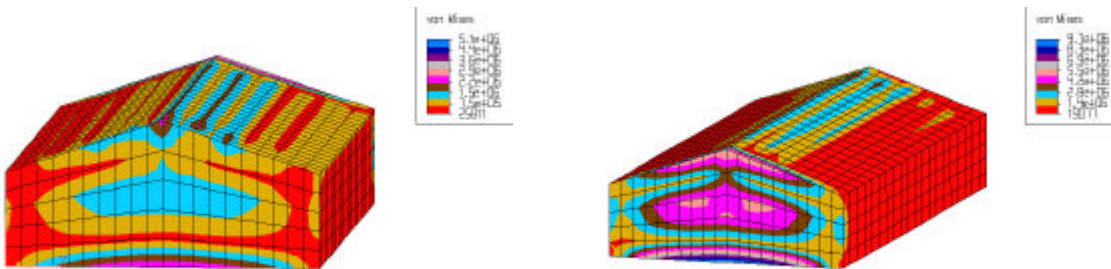


Fig. 14a. Caso CD2. Cargas según código.

Fig. 14b. Caso TD2. Cargas según túnel de viento [3].

Otros casos que no se reportan en este trabajo, muestran la tendencia que los techos a dos aguas cargados según el código o con presiones halladas en túneles de viento dan tensiones muy similares. No es así con los edificios a cuatro aguas. Se requieren mayores estudios para confirmar estas tendencias. Por otro lado es evidente la influencia de la utilización de una estructura en los edificios industriales. Lo contrario ocurre con las geometrías para viviendas.

#### 4 COMENTARIOS FINALES

En este trabajo se han mostrado dos estudios computacionales para el análisis de los efectos de cargas de sismo sobre una estructura y de viento sobre edificios de baja altura. Se discutió su relación con los ensayos físicos estándar.

El ensayo de una estructura sobre la mesa sísmica ubicada en el CEDEX fue brevemente descrito. Posteriormente, un modelo computacional de dicho ensayo fue procesado utilizando la herramienta “Mechanical Event Simulation” de ALGOR. Se introdujeron las señales del terremoto del Centro (1940) simulando el ensayo real. La versatilidad y eficiencia de la misma fue evidente en este ejemplo.

Por otro lado, y en relación a las cargas de viento se discutieron simplificaciones en los modelos, tanto físicos como computacionales. Un modelo para ensayo físico con una técnica para realizar el “promedio neumático” *in situ* de las mediciones fue brevemente comentado. Además, modelos computacionales de viviendas y edificios industriales fueron estudiados utilizando datos de presiones hallados con túneles de viento de capa límite y comparando con cargas halladas según códigos.

Ambos enfoques, físico y numérico, poseen ventajas y desventajas. Se concluye que los ensayos físicos y los estudios numéricos-computacionales no son reemplazables uno por el otro sino que la complementariedad enriquece los resultados.

## 5 AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido parcialmente financiado por un subsidio de la SGCyT, Universidad Nacional del Sur, Argentina. Las dos primeras autoras agradecen la colaboración recibida en el Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory, UWO, Canadá y el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX, España, respectivamente, por la asistencia recibida en la realización de ensayos y discusiones.

## 6 REFERENCES

- [i] P.M. Bellés y P.V. Legazpi. Ensayo sísmico en un laboratorio virtual. *Ingeniería Civil (CEDEX)*, 123, 53-59, (2001).
- [2] ALGOR Design World, Virtual Prototyping Solutions for Mechanical Engineers, (1999).
- [3] CIRSOC 102. *Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones*. Proyecto de Discusión Pública. INTI, Argentina. (2001).
- [4] ASCE 7-98. American Society of Civil Engineers. *Minimum design loads for buildings and other structures*. (2000).
- [5] T. Stathopoulos. *Turbulent wind action on low-rise buildings*. Ph.D. thesis. University of Western Ontario, Canada.(1979).
- [6] D. Surry, T. Stathopoulos and A.G. Davenport. “Wind loading on low-rise buildings”. *Proc. Canadian Structural Engineering Congress* (1978).
- [7] M.B. Rosales, *A novel technique for measuring spatially-averaged pressures: Its development and application to low-rise buildings*. M.E.Sc. tesis. University of Western Ontario, Canada (1984).
- [8] M.Jensen and N. Frank. “Model-scale tests in turbulent wind: Part II”. *The Danish Tech. Press Copenhagen*, Denmark (1965).
- [9] D. Meechan. *Wind action on hip and gable roofs*. M.E.Sc. thesis. University of Western Ontario, Canada (1978).