

Federación
Iberoamericana
de Ingeniería
Mecánica



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

IX Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica

17 – 20 de Noviembre de 2009

Las Palmas de Gran Canaria – Islas Canarias – España

cibim9



IX CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA MECÁNICA

17 - 20 de noviembre de 2009

Las Palmas de Gran Canaria

LIBRO DE PONENCIAS



**Colegio Oficial de
Ingenieros Industriales de Canarias**

Depósito legal: GC - 1208 - 2009
ISBN.: 978 - 84 - 692 - 8516 - 9

Comité Ejecutivo

Presidente

D. Roque Calero Pérez

Miembros

D. Pedro Hernández Castellano
D. José Antonio Carta González
Dña. María Dolores Marrero Alemán
D. Oscar Martel Fuentes
D. Mario Monzón Verona
D. Alejandro Yáñez Santana

Comité Científico

Dr. Horacio Aguilar	UNSJ	Dr. Vicente Henríquez Concepción	ULPGC
Dr. Jorge Aisa Arenaz	UNIZAR	Dr. Pedro M. Hernández Castellano	ULPGC
Dr. Francisco Alba Juez	UNSJ	Dr. María Jesús López Boada	UC3M
Dr. José Albelda Vitoria	UPV	Dr. Beatriz López Boada	UC3M
Dr. Luis Álvarez Álvarez	ULPGC	Dr. Orlando Maeso Fortuny	ULPGC
Dr. Enrique Amezua San Martín	EHU	Dr. M. Dolores Marrero Aleman	ULPGC
Dr. Francisco Aparicio Izquierdo	UPM	Dr. Oscar Martel Fuentes	ULPGC
Dr. Mariano Artés Gómez	UNED	Dr. Raúl Martín García	UCA
Dr. Rafael Avilés Gonzalez	EHU	Dr. Miguel Martínez Melgarejo	ULPGC
Dr. Juan José Aznárez González	ULPGC	Dr. Vicente Mata Amela	UPV
Dr. Luis Baeza González	UPV	Dr. Julia C. Mirza Rosca	ULPGC
Dr. Javier Ballester Castañer	UNIZAR	Dr. Mario D. Monzón Verona	ULPGC
Dr. Paulo Bartolo	IP LEIRIA	Dr. José Luis Ocaña Moreno	UPM
Dr. Nizardo Benitez Vega	ULPGC	Dr. José Ignacio Pedrero Moya	UNED
Dr. Antonio Besa González	UPV	Dr. Osvaldo Penisi	UNSJ
Dr. Ana M ^a Blanco Marigorta	ULPGC	Dr. Jesús Pintor Borobia	UPNA
Dr. Roque A. Calero Pérez	ULPGC	Dr. José Manuel Quintana Santana	ULPGC
Dr. Ana M. Camacho López	UNED	Dr. Alejandro Ramos Martín	ULPGC
Dr. Salvador Cardona Foix	UPC	Dr. José Luis San Román García	UC3M
Dr. José Antonio Carta González	ULPGC	Dr. Manuel A. Sanchez	UNSJ
Dr. Marco Ceccarelli	UNICAS	Dr. Manuel Sanchez Carrilero	UCA
Dr. Francisco Chirino Godoy	ULPGC	Dr. Ángel María Sánchez Pérez	UPM
Dr. Luis Conde Cid	ULPGC	Dr. Carlos Santolaria Morros	UNIOVI
Dr. Antonio Crespo Martínez	UPM	Dr. Miguel Angel Sebastián Pérez	UNED
Dr. Juan Ignacio Cuadrado Iglesias	UPV	Dr. José Enrique Tarancón Caro	UPV
Dr. Quim de Ciurana i Gay	UDG	Dr. Manuel Tur Valiente	UPV
Dr. Silvia De la Flor López	URV	Dr. Francisco Valero Chuliá	UPV
Dr. Vicente Díaz López	UC3M	Dr. Pedro Vera Luna	UPV
Dr. Jesús Félez Mindán	UPM	Dr. José Miguel Veza Iglesias	ULPGC
Dr. Angel Fernández Cuello	UNIZAR	Dr. Fernando Viadero Rueda	UNICAN
Dr. Esteban Fernández Rico	UNIOVI	Dr. Ricardo Vijande Díaz	UNIOVI
Dr. Francesc Ferrando Piera	URV	Dr. José Antonio Vilán Vilán	UVIGO
Dr. F. Javier Fuenmayor Fernández	UPV	Dr. Joan Vivancos Calvet	UPC
Dr. Jesús Fuentelsaz Gallego	UNIZAR	Dr. Antonio Vizán Idoipe	UPM
Dr. Jaime González Hernández	ULPGC	Dr. Alejandro Yáñez Santana	ULPGC
Dr. Carlos Guevara	UNSJ		

ÍNDICE

A. Ciencias Aplicadas a la Ingeniería Mecánica.....Pág 01 - 1

01 - Métodos numéricos Pág. 01 - 2

OPTIMIZACIÓN HEURÍSTICA DE PASARELAS DE VIGA ARTESA PREFABRICADA

Martí, J.V., González-Vidosa, F., Alcalá, J.

Pág. 01 - 3

OPTIMIZACIÓN EN LA LOCALIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE DEFECTOS INTERNOS CON LÓGICA NEURO DIFUSA.

Luna Avilés A., Hernández Gómez L. H., Durodola J. F. Urriolagoitia

Pág. 01 - 11

PREDICCIÓN DE LOS PARAMETROS DE RUGOSIDAD EN ELEMENTOS DE MAQUINA MECANIZADOS EN COMPUESTOS DE PEEK USANDO METODOLOGIA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA (MSR)

FRANCISCO MATA CABRERA , ISSAM HANAFI , ABDELLATIF KHAMLICHY , MOHAMED BEZZAZI , ABDALLAH JABBOURI .

Pág. 01 - 18

EFFECTO DE LA INTERACCIÓN ENTRE DEFECTOS LOCALIZADOS SOBRE EL PANDEO DE LOS CASCOS CILINDRICOS AXISYMETRICOS SOMETIDOS A COMPRESIÓNAXIAL

J. El bahaoui a, L. El Bakkali a, A. Khamlichy a, M. Bezzazib, A. Limamc

Pág. 01 - 26

ANÁLISIS DEL EFECTO DE UNA SOBRECARGA SOBRE LA PROPAGACIÓN DE GRIETAS BAJO CARGAMENTOS TERMO-MECÁNICOS

Zineb Achegaf, Maria Acheqra, Abdellatif Khamlichy, Larbi El Bakkali, Mohamed Bezzazi

Pág. 01 - 33

DETERMINACIÓN DEL SPRING-BACK DE TUBOS SOLDADOS Y CORRELACIÓN ENTRE EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

Cañibano Álvarez E., Romo García J., Araujo Pérez B., Borondo Molpeceres V.

Pág. 01 - 39

ESQUEMA RACIONAL ACOTADO - ERA - PARA LA REDUCCIÓN DE FALSA DIFUSIÓN EN PROBLEMAS CONVECTIVOS DIFUSIVOS

Materano G., Rincón J., Araujo C.

Pág. 01 - 47

AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DIFERENÇA CENTRAL E NEWMARK NA IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS MODAIS DE UM SISTEMA MDOF

Valdemir Mariano, João Carlos B. da Silva, Manoel Henrique O. Pedrosa Filho

Pág. 01 - 55

MODELO MATEMÁTICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL GASTOENERGÉTICO Y DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES DE DIFERENTES CONFIGURACIONES DE VEHÍCULO

E. Cañibano Álvarez, J. Romo García, M.I. González Hernández, J.A. Marchán Higuera

Pág. 01 - 63

MODELO ANALITICO, SIMULACIÓN Y ENSAYO DEL COMPORTAMIENTO NO LINEAL DE UN RODAMIENTO DE BOLAS J.M.

Marín López, H. Rubio Alonso, O. Reinoso García, J.C. García Prada

Pág. 01 - 71

**CÁLCULO DEL RIESGO DE DESCARRILAMIENTO DE UN EJE FERROVIARIO
CONSIDERANDO SU ÁNGULO DE ATAQUE**

Santamaría J, Blanco J, Oyarzabal o, Veguería E, Alsola, R.

Pág. 01 - 79

**RE-UBICACIÓN DE PUNTOS EN UN MÉTODO SIN MALLA MEDIANTE ALGORITMOS
GENÉTICOS.**

Luis Pérez Pozo , Orlando Duran , Franco Perazzo

Pág. 01 - 87

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE GRIETAS EN ELEMENTOS DE MÁQUINAS CON
ENTALLAS COMPLEJAS UTILIZANDO EL MÉTODO DUAL ELEMENTOS DE CONTORNO
(DBEM)**

Manuel Martínez, Alberto Pertuz, Marco Gonzalez, Hugo Guerrero

Pág. 01 - 95

INTENSIDAD DE TENSIONES EN ARISTAS 3D

Jhonny E. Ortiz

Pág. 01 - 102

**APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA LA VISUALIZACIÓN DE SOLUCIONES NUMÉRICAS EN
PROBLEMAS DINÁMICOS**

Fernando G. Torcelly, Orlando Maeso, Juan J. Aznárez y Luis A. Padrón

Pág. 01 - 110

DEFORMACIÓN DEL CREEP APLICANDO EL MÉTODO DE ELEMENTO DE FRONTERA

Pineda León E., Zapata López J. , Samayoa Ochoa D.

Pág. 01 - 118

02 - Mecánica general..... Pág. 02 - 1

DILATACIÓN DE LOS RAILES DE GRÚAS PÓRTICO DEL PUERTO JUAN CARLOS I

Illana Martos A., Cárdenas Soriano J., Calvente Márquez L.M., Carmona Torres J.A.

Pág. 02 - 2

**ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN DE LOS CABLES METÁLICOS DE
TIRO E IZAJE PARA CARGAS MEDIAS Y ALTAS.**

Chagoyen Méndez, C. A., Illana Martos, A., Vilchez Vilchez, M., Machado Rodríguez, A.,
Carmona Torres, J. A.

Pág. 02 - 10

**OPTIMIZACIÓN DE LA VIDA A FATIGA DE UNA BIELA MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE
LA CINEMÁTICA Y DE LA DINÁMICA EN UN CÁLCULO ESTÁTICO NO LINEAL**

Rekakoetxea Otxoa X., Sedano García A., Fernández Eguiluz A., Cantero Gratal C.

Pág. 02 - 23

COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN MEMBRANAS DELGADAS ARRUGADAS

Mendoza Nuñez M. A., Susarrey Huerta O., Balankin A.

Pág. 02 - 29

**UN NUEVO CRITERIO PARA CUANTIFICAR LA SEGURIDAD DE ROBOTS INDUSTRIALES Y
DE SERVICIO**

Giuseppe Carbone, Javier Echávarri, Marco Ceccarelli, J.L. Muñoz Sanz

Pág. 02 - 37

**ANÁLISIS DE FALLA DE UN SISTEMA DE ENGRANAJES HELICOIDALES DE UNA MÁQUINA
PROCESADORA DE PAPEL**

APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA LA VISUALIZACIÓN DE SOLUCIONES NUMÉRICAS EN PROBLEMAS DINÁMICOS

Fernando G. Torcelly, Orlando Maeso, Juan J. Aznárez y Luis A. Padrón

Instituto Universitario de Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería (SIANI).
Edificio Central del Parque Científico y Tecnológico. Campus Universitario de Tafira.
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 35017 Las Palmas de Gran Canaria. España.
fgtorcelly@gmail.com, omaeso@siani.es, jjaznarez@siani.es, lapadron@siani.es

Área Temática: Métodos Numéricos

RESUMEN

La simulación es una de las grandes herramientas de la ingeniería industrial. Sin embargo, las representaciones gráficas en el terreno científico se encuentran lejos de las posibilidades y logros constatables en el campo de la infografía (CGI). En este artículo se presenta una aplicación informática de desarrollo propio para la visualización de soluciones numéricas de problemas de dinámica estructural. La herramienta informática desarrollada, está orientada al postprocesado de resultados dinámicos de mecánica estructural obtenidos previamente mediante modelos de elementos de contorno. A través de una representación más realista y una manipulación más eficiente de la información gráfica, se puede abordar el estudio con mayor detalle y rapidez de procesos que, mediante representaciones más simples, no podrían analizarse. La utilidad de contar con simulaciones más realistas y eficientes de problemas de dinámica estructural son enormes destacando su aplicación en el análisis de resultados como en el campo educativo.

PALABRAS CLAVE: Dinámica de Estructuras, Método de Elementos de Contorno, Respuesta temporal, Postprocesado de resultados, infografía.

INTRODUCCIÓN

Desde que Kenneth Wilson, el premio Nobel de Física en 1982, articuló la simulación como el tercer paradigma de la ciencia a mediados de 1980, al mismo nivel que la ciencia experimental y teórica, las simulaciones han llegado a ser instrumentos imprescindibles en muchos campos de la ciencia y la ingeniería. Las simulaciones científicas son utilizadas para probar automóviles frente a impactos antes de ser construidos, para estudiar la interacción entre un injerto de cadena y el fémur, para evaluar y restaurar puentes, para construir túneles de vientos virtuales, etc.

Los sistemas de simulación numérica, como el análisis de elementos finitos o elementos de contornos, juegan un papel fundamental en la ingeniería por su habilidad para integrar múltiples fenómenos físicos. Estos métodos unidos a la gran evolución de los métodos informáticos, tanto en su aspecto de hardware como software, ha permitido afrontar la resolución de complejos problemas físicos matemáticos cuya resolución analítica resultaría prácticamente imposible. Así pues, la simulación intenta reproducir la realidad a partir de resolución numérica mediante ordenador de las ecuaciones matemáticas que describen dicha realidad. Por lo tanto hay que asumir que la simulación es tan exacta como sea las ecuaciones de partida y la capacidad de los ordenadores para resolverlas.

Sin embargo, no hay que olvidar otro elemento esencial en la simulación: la computación gráfica. Se puede asegurar que pocas industrias son tan dinámicas como la industria de los gráficos por ordenador. A pesar de ser un campo relativamente joven, se ha separado ya en muchas áreas distintas. Cada una de estas áreas continúa progresando con grandes mejoras y adelantos. El alto dinamismo del mercado de la industria de gráficos por ordenador hace que se introduzcan constantemente nuevos avances que dejan obsoletas tecnologías relativamente jóvenes. En este terreno, se busca cada vez con mayor interés la verosimilitud de la interacción de los cuerpos con el

entorno cuyo realismo solo puede obtenerse mediante herramientas matemáticas. Esto ha permitido la proliferación de paquetes que simulan con gran realismo hechos físicos como colisiones, comportamiento de fluidos, grietas, roturas, partículas, etc.

En el programa informático que se presenta en este artículo se aplica un enfoque totalmente distinto al utilizado normalmente en el mercado. En lugar de optar por el desarrollo desde cero, utilizando los estándares gráficos (como OpenGL o DirectX), se ha aprovechando las posibilidades y la potencia del área más desarrollada en la computación gráfica: la infografía (CGI). Para ello se ha realizado la aplicación en modalidad *plugin* (o *plug-in*, también conocido como *addin*, *add-in*, *addon* o *add-on*). Este tipo de desarrollo consiste en una aplicación informática que interactúa con otra principal para aportarle una función o utilidad específica. Destacar que se ha utilizado lenguaje C++ y otros lenguajes de script gráficos

La elección de esta modalidad, debida principalmente al dinamismo del mercado CGI, nos permitirá beneficiarnos de los avances que se producen cada día en el este mercado. Además podremos aprovechar toda la tecnología de la aplicación principal, que cuenta con años de desarrollo y una cantidad de medio dedicados que, de otra forma, sería imposible disponer. Se unen así dos campo que a priori pueden parecer dispares: el postprocesado científico y la infografía.

DISEÑO GENERAL

El diseño parte con un requisito principal que consiste en que la aplicación debe estar completamente adaptada y ser capaz de importar datos propios del software de cálculo previo utilizado en la División de Mecánica de Medios Continuos y Estructuras del SIANI. Partiendo de este punto, el diseño se realiza de forma modular, separando claramente cada tarea. Este enfoque permite una definición más clara del problema, abordando la situación de forma más asequible al separar la gran complejidad de la aplicación en dificultades más pequeñas. El sistema se divide en los siguientes módulos:

1. Verificación: Se ocupa de comprobar la corrección del fichero aportado de forma externa. Deberá establecer si el formato seguido por el fichero externo es correcto y se atiende a la normalización realizada.
2. Lectura/escritura. Su tarea es la de leer y escribir el archivo verificado correctamente en la fase anterior, adaptándolo al formato adecuado para su posterior procesado.
3. Edición. Se ocupa de realizar tareas de modificación sobre los datos ya importados que permitan un mejor análisis de los resultados del problema.
4. Renderizado. Su finalidad es obtener representaciones de alta calidad del problema estudiado en formato de imagen o video.

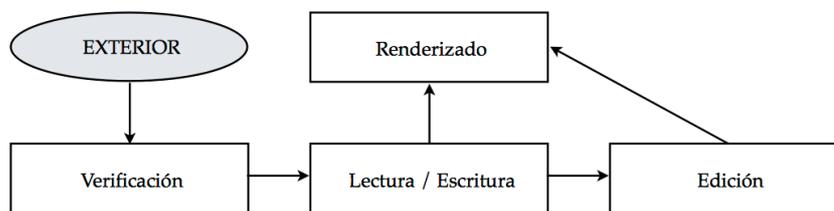


Fig. 1. Esquema general del diseño.

Se ha atendido de forma muy detenida a las conexiones entre los distintos módulos. Estas se han tenido que diseñar correctamente con el fin de que la mejora, modificación o la implementación de nuevas funciones en uno de los módulos no obliguen a la modificación de los módulos adyacentes con los que se comuniquen. Este comportamiento sería peligroso pues se podría entrar en un efecto rizado que haría muy difícil el desarrollo e implementación de nuevas características.

MODULO DE VERIFICACIÓN

El programa expuesto en este artículo trabaja en constante interacción con el usuario. Durante su funcionamiento, la introducción de datos y el trabajo con ellos es constante. A pesar de haber normalizado el formato de los datos de entrada, hay que asumir que el error humano siempre estará presente y se trasladará a errores de procesos. Estos pueden venir de la introducción de un dato en un formato erróneo, importación de ficheros equivocados, etc.

Los errores causados por la introducción de datos hay que abordarlos y minimizar su incidencia en las tareas de la aplicación. Entre los utilizados podemos destacar el mecanismo de *expresiones regulares*. Las expresiones regulares son una serie de caracteres que forman un patrón, normalmente representativo de otro grupo de caracteres mayor, de tal forma que podemos comparar el patrón con otro conjunto de caracteres para ver las coincidencias. Es un sistema cómodo, rápido y potente de realizar un filtrado sobre un determinado caso, y obtener un grupo más reducido y específico, excluyendo los resultados que no coincidan.

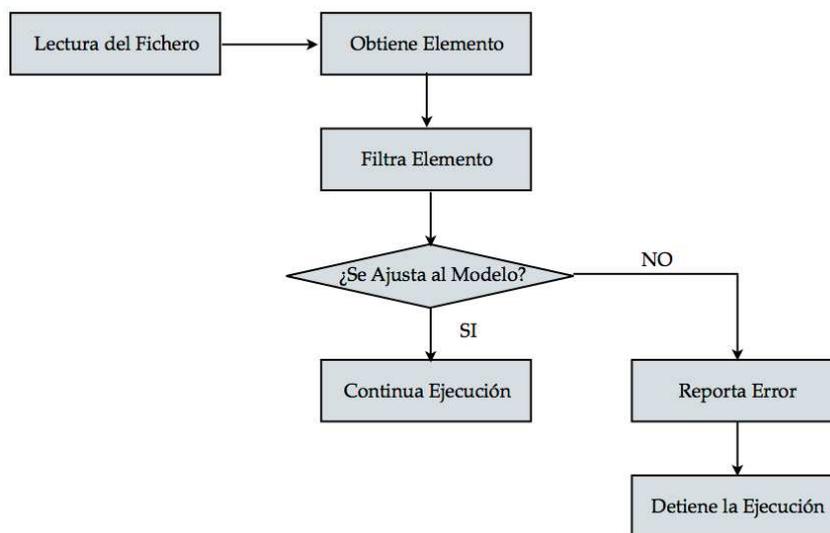


Fig. 2. Esquema del proceso de filtrado mediante Expresiones Regulares

A este sistema se le suman otros métodos de reporte de errores que le aporta estabilidad y robustez a la aplicación y permite la rápida identificación y corrección de errores.

GENERACIÓN DE MALLAS

El proceso de creación de una malla consiste en preparar todos los datos de la malla necesarios: vértices, caras, etc. Es necesaria la realización de un último chequeo en los vértices y caras que se proporcionan a la función de creación con el fin de evitar mallas problemáticas: tres o más caras compartiendo un borde, caras que comparten vértice pero no un borde, normales adyacentes invertidas, vértice no utilizados en ninguna cara, etc.

Para mantener la compatibilidad con el software desarrollado en la División de Mecánica de Medio Continuos y Estructuras del SIANI, la aplicación trabaja con elementos de contorno tridimensionales, isoparamétricos y de aproximación parabólica para la geometría y las variables del problema. Dichos elementos son de 2 tipos: triángulos definidos por 6 nodos y cuadriláteros de 9 nodos. Después de análisis y estudios de los efectos de las variaciones de los nodos en el espacio sobre el elemento, se ha optado por la configuración de bordes y caras que se puede observar en la figura 3.

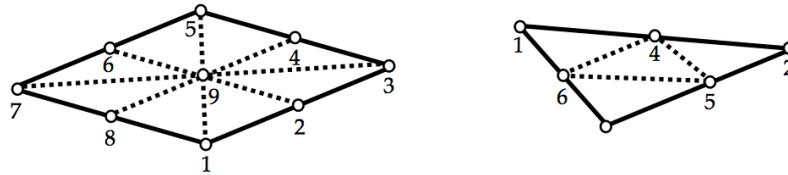


Fig. 3. Numeración y configuración de los elementos utilizados

Debe cuidarse que la representación del problema sea refinada, con un número de nodos no muy bajo. En el caso de no representarse con suficiente detalle, la malla puede presentar picos y una representación poco natural de la deformación.

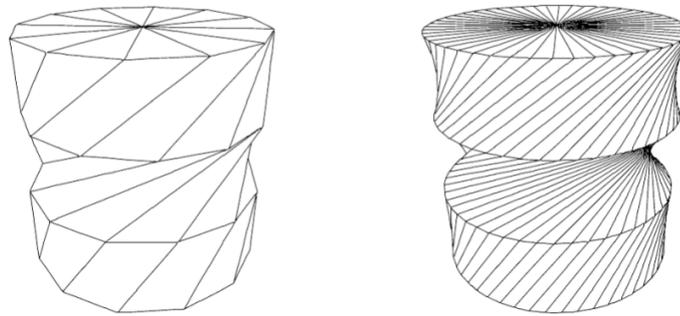


Fig. 4. Representación de un mismo modelo con dos grados de precisión distinto.

ANIMACIÓN DE MALLAS

Puesto que las soluciones obtenidas mediante MEC detallan el comportamiento de cada uno de los nodos de la malla, se hace necesaria la implementación de una animación por vértices. Este tipo de animación consiste en el movimiento directo de los vértices del objeto. Este sistema de animación cuenta con una gran precisión y control sobre la deformación de la figura, pero cuenta con complicaciones extras debido a los recursos de hardware que requiere.

Uno de los requisitos que se estableció para el programa, es la posibilidad de ver las representaciones en tiempo real, permitiendo cambios de cámara y otros procesos de edición de forma continua, sin tiempo de cargas ni esperas. La potencia de proceso necesaria se hace evidente si tenemos en cuenta que esto obliga a obtener el valor de la variable, en cada punto y en cada instante, a medida que se representa el modelo en el tiempo. Para alcanzar este objetivo y permitir que la aplicación funcione de forma fluida, se estableció un *caché de geometría*. Mediante el *cache de geometría*, se indexa convenientemente las variables con las que se trabaja, de forma que la CPU y GPU trabajen con estos datos de la forma más eficiente posible. Todo este proceso se complica aún más, teniendo en cuenta que el software de análisis basado en el MEC obtiene la respuesta del sistema en el dominio de la frecuencia (Función de Transferencia, FDT), por lo que, además, se hace necesario la confección de un módulo que permita la aplicación reiterada de la Transformada de Fourier (FFT) de forma efectiva a cada nodo de la malla.

La figura 5 muestra el proceso que implementa la aplicación para la obtención de respuesta temporales de problemas dinámicos. A partir de los datos temporales obtenidos construye el caché de geometría para su posterior visualización.

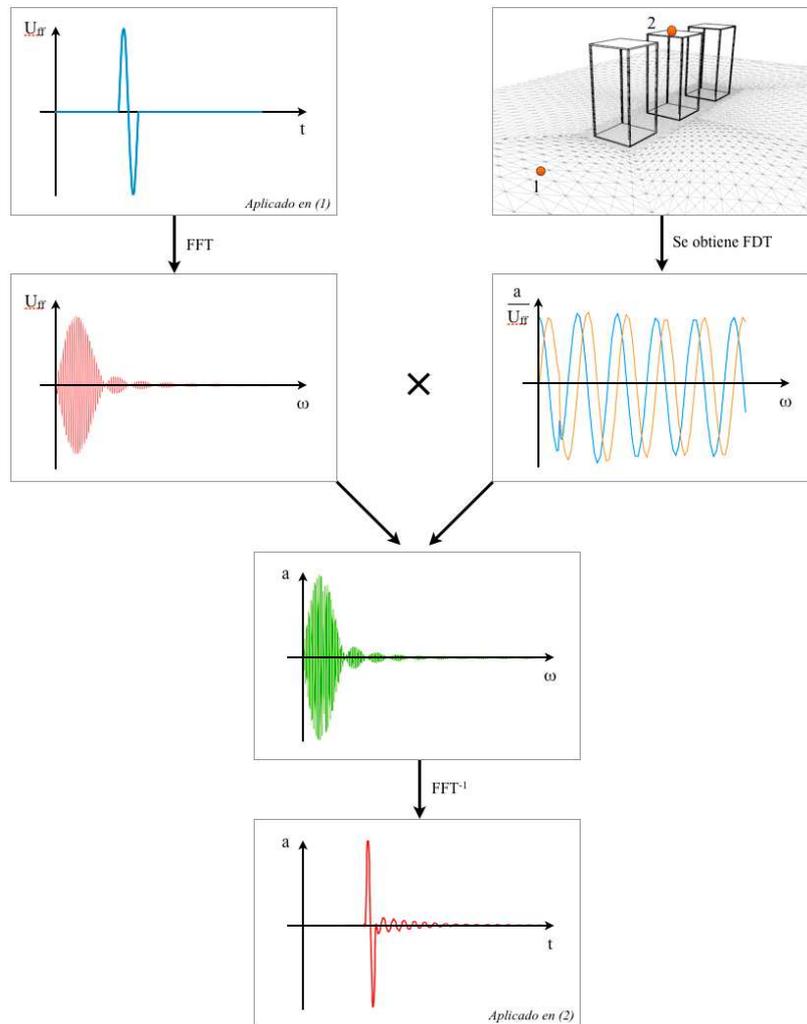


Fig. 5. Diagrama de flujo para la obtención de la respuesta temporal en un punto a partir de una excitación dada.

EDICIÓN DEL MODELO

Con el fin de mejorar el análisis son necesarios procesos de edición de los datos originales. Las motivaciones de la edición del modelo original pueden ser de origen muy diverso. Puede ser desde problemas surgidos por la propia configuración geométrica del modelo hasta por la obtención de resultados no previstos inicialmente en la etapa de preprocesado. Los procesos de edición implementados en el programa son:

1. Ocultación de caras: en ocasiones puede presentarse la necesidad de analizar con mayor detalle una zona o aspecto en particular del modelo. En estos casos es preferible desechar aquellos elementos que obstaculicen la visualización de la zona particular. También es útil a la hora de realizar secciones o cortes de la figura por aquellos planos que tenga un especial interés (Fig.6).

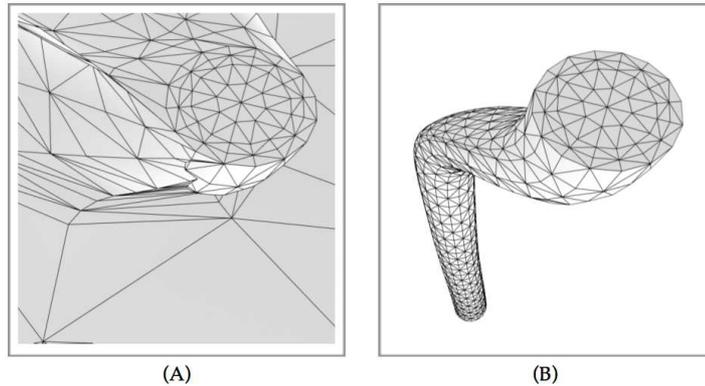


Fig. 6. Vibración de un pilote hincado en el terreno. (a) los elementos de la superficie no dejan visualizar todo el pilote. (b) proceso de ocultación de ciertos elementos que permiten ver la geometría completa del pilote.

2. Suavizado de malla: en ocasiones, la malla poligonal no aparece con la apariencia suavizada que se desearía. Las causas pueden ser muchas, desde una definición del problema con escaso detalle hasta un movimiento de gran amplitud entre nodos contiguos. Cuando esto ocurre, existen varios métodos de suavizado que pueden aplicarse con el fin de obtener aproximaciones del modelo que permitan una visualización más refinada del problema.
3. Simetrías y antisimetrías: el consumo de recursos de computación que se realiza en un problema de elementos finitos o de contorno está íntimamente ligado al número de nodos que tiene la malla. Los casos de elementos con geometría y comportamiento simétrico y/o antisimétricos, resultan especialmente atractivo en procesos de edición en la etapa de postprocesado. En estos problemas no es necesario el planteamiento, cálculo y resolución del modelo completo. Basta con resolver la parte del problema que tiene planos de simetría y/o antisimetría y posteriormente, mediante procesos de edición, representar las partes omitidas. El tiempo y recursos ahorrados son muy importantes, de aquí el especial interés de estos casos (Fig.7)

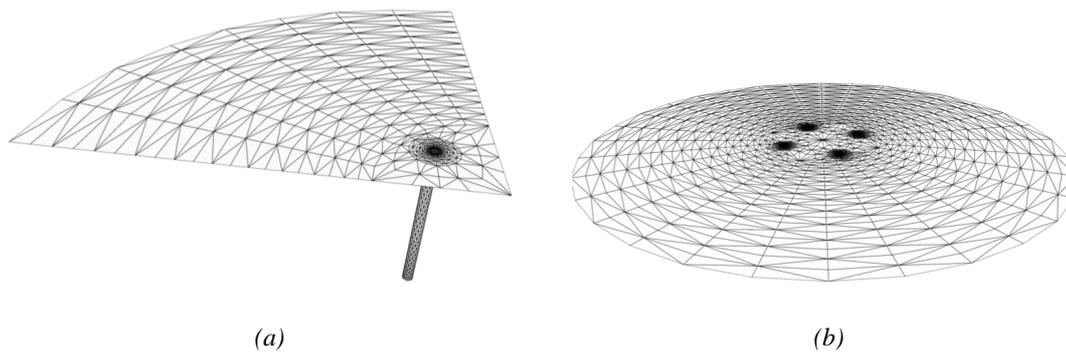


Fig. 7. Malla correspondiente a un encepado de 2x2 pilotes hincados en el semiespacio. (a) modelo definido para su resolución (un cuarto del modelo completo). (b) modelo completo obtenido mediante un proceso de simetría en el eje X y antisimetría en el eje Y.

ESCALA DE COLORES

La creación de un coloreado por vértices es uno de los mayores avances desde el punto de vista de la representación. Proporciona una herramienta ya disponible en otras aplicaciones pero con un enfoque mucho más eficiente y dinámico. El coloreado varía en tiempo real a medida que se representa las soluciones del programa dinámico en el tiempo.

El coloreado por vértice permite un coloreado de la malla en función de un determinado parámetro asociado a cada nodo. Usando una escala de color que responda a la magnitud de dicho parámetro el usuario puede identificar los puntos críticos, puntos nulos, etc. Esta representación nos permite mostrar los resultados de cualquier variable de un problema dinámico además del desplazamiento.

En la figura 8 se muestra una malla con color por vértices asignada. En ella se observa como los puntos de color rojo muestra un valor absoluto mayor variando a naranja, amarillo, celeste y azul a medida que desciende la magnitud.

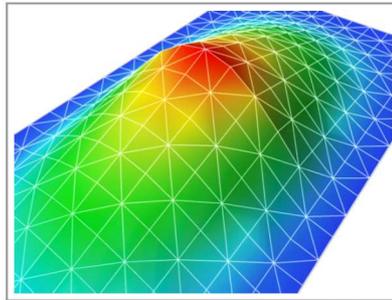


Fig. 8. Malla con color por vértices asignados.

CONCLUSIONES

La aplicación presentada en este artículo surge de la necesidad del grupo de investigación de contar con una herramienta capaz de presentar los resultados de cálculo de forma gráfica, con el fin de ser utilizados en congresos, exposiciones, artículos, etc. El programa es capaz de realizar las tareas de postprocesado de las que antes se carecía.

El grado de innovación podemos encontrarlo principalmente en el enfoque dado en su diseño y desarrollo. En lugar de tomar el planteamiento tradicional, creando una aplicación desde cero, se ha optado por un planteamiento de desarrollo por *plugin*. Con ello se ha conseguido unir tareas de postprocesado científico con la potencia del mercado infográfico, lo que nos permite crear simulaciones con una calidad fotorealista, a un nivel que posiblemente ningún otro software de postproceso de problemas dinámicos es capaz de alcanzar.

Las líneas de trabajos futuros son innumerables. Destaca la posibilidad de ir implementando las etapas previas de cálculo en el propio programa hasta conformar una sola aplicación homogénea que sea capaz de abordar también todas las tareas de postprocesado y cálculo.

REFERENCIAS

1. Maeso, O., Aznárez, J. J., Domínguez, J. Three-dimensional models of reservoir sediment and effects on the seismic response of arch dams. *Earthquake Eng Struct Dyn*, 33, 1103-1123. 2004.
2. Aznárez, J. J., Maeso, O., Domínguez, J. BE análisis de bottom sediments in dynamic fluid-structure interaction problems. *Eng Anal Bound Elem*, 30, 124-136. 2006.
3. Luis A. Padrón Hernandez. Numerical model for the dynamic análisis of pile foundations. Tesis doctoral, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de G.C. 2008.

4. *Juan Manuel Corchado Rodríguez*. Apuntes de Informática Gráfica. Segundo ciclo Ingeniería Informática. Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca.
5. *David A.D. Gould*. Ed. Morgan Kaufmann. Complete Maya Programming. Volume I. 2003.
6. *David A.D. Gould*. Ed. Morgan Kaufmann. Complete Maya Programming. Volume II. 2005.
7. *Francisco Beltrán*. Ideas generales sobre el Método de los Elementos de Contorno. Dpto. Mecánica Estructural y Construcciones Industriales. E.T.S. Ingenieros Industriales de Madrid. 1999.
8. *Josep Molero*. Maya 7. Curso Avanzado. Ed. Inforbook's S.L. 2004.
9. *Pascual Castelló, José Francisco Ramos, Miguel Chover*. A Comparative Study of Acceleration Techniques for Geometric Visualization. Departamento de Lenguajes de Computación y Sistemas. Universidad Jaume I. 2005.
10. Finite Element Analysis: <http://www.finiteelement.com/feawhite4.html>
11. Test y resultados de postprocesado de la división de mecánica de medios continuos y estructuras. SIANI: <http://vimeo.com/user632840/videos>

NOMENCLATURA

<i>MEF</i>	Método de Elementos Finitos
<i>MEC</i>	Método de Elementos de Contorno
<i>CGI</i>	Computer Graphics Images
<i>GPU</i>	Graphics Processing Unit
<i>CPU</i>	Central Processing Unit