

**V Encuentro Conjunto de la
Sociedad Matemática Mexicana (SMM)
y la
Real Sociedad Matemática Española (RSME)**

14-18 de junio de 2021

Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT), Guanajuato,
México (virtual)

<https://rsmeysmm.eventos.cimat.mx/node/1409>

Programa de la Sesión Especial

Métodos Numéricos

Conferenciantes:

Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra (UPC-CIMNE)

Michele Chiumenti (UPC)

Jose Manuel González (CIMNE), Enrique Ortega (UPC)

Francisco Zarate Araiza (CIMNE)

Diana Assaely León Velasco (UAM)

Francisco Javier Domínguez Mota (UMSNH)

Humberto Esqueda Oliva (CIMAT)

Organizadores:

Salvador Botello Rionda (CIMAT)

Francisco Zarate Araiza (CIMNE)

Programa (18 de junio de 2021)

- 12:00-13:00 (GTM-5) / 19:00-20:00 (GTM +2):

- Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra (UPC-CIMNE) : *Posibilidades de la combinación de métodos de partículas y de elementos finitos para resolver problemas complejos de ciencias aplicadas con interacción de líquidos y sólidos.*

- 13:00-14:00 (GTM-5) / 20:00-21:00 (GTM +2):

Preguntas y discusión sobre las conferencias grabadas:

- Michele Chiumenti (UPC) *Simulación numérica del proceso de manufactura aditiva y su rendimiento mecánico.*
- Jose Manuel González (CIMNE), Enrique Ortega (UPC): *Efficient aeroelastic solution for inflatable structures*”.
- Francisco Zarate Araiza (CIMNE): *tA FEM-DEM approach for multifracture analysis in solids.*
- Diana Assaely León Velasco (UAM): *Aproximación numérica para la solución de un problema bi-armónico que surge de un problema inverso en electro-encefalografía.*
- Francisco Javier Domínguez Mota (UMSNH): *”Modelación numérica de flujo en suelos empleando diferencias finitas generalizadas”.*
- Humberto Esqueda Oliva (CIMAT): *”Cálculo Exterior Discreto en la Solución de EDP S: Formulación Local para Problemas Térmicos Anisótropos”.*

Títulos y resúmenes

- Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra (Universidad Politécnica de Cataluña-Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería)

Título: *Posibilidades de la combinación de métodos de partículas y de elementos finitos para resolver problemas complejos de ciencias aplicadas con interacción de líquidos y sólidos.*

Resumen: Problemas complejos requieren el uso nuevas formulaciones que acoplen los problemas de interacción fluido-estructura que involucran flujos de fluidos de superficie libre, fenómenos de fractura, contacto mutuo de sólidos y grandes desplazamientos. La formulación numérica combina tres métodos computacionales lagrangianos diferentes. Se utiliza el Método de Partículas de Elementos Finitos (PFEM) para resolver el flujo de fluido en superficie libre, se emplea un Método de Elementos Finitos (FEM) con modelo de daño isotrópico suavizado para la solución de estructuras sólidas y detritos, finalmente, el Método de Elementos Discretos (DEM)) se utiliza para gestionar la interacción de contacto entre diferentes límites sólidos, incluidos los nuevos generados por la propagación de grietas. los métodos propuestos tiene un alto potencial para la predicción de los daños estructurales en construcciones civiles causados por amenazas naturales, como inundaciones, tsunamis o deslizamientos de tierra. Su campo de aplicación también puede extenderse a fenómenos de fractura en estructuras y suelos / rocas derivados de explosiones o procesos de fracking hidráulico. Se presentan varios ejemplos numéricos para mostrar la validez y precisión de las técnicas numéricas propuestas.

- Michele Chiumenti (Universidad Politécnica de Cataluña)

Título: *Simulación numérica del proceso de manufactura aditiva y su rendimiento mecánico.*

Resumen: En este trabajo se presentan los desarrollos actuales sobre la simulación numérica de diferentes procesos de Manufactura Aditiva (AM). Se ha diseñado un marco acoplado termo-mecánico para el análisis de varios procesos de impresión 3D que van desde la extrusión y fusión de metales o polímeros hasta tecnologías para aplicaciones en ingeniería civil o arquitectónicas. Se simula numéricamente la deposición del material, teniendo en cuenta el movimiento real de la fuente de calor a lo largo de la secuencia de deposición definida para la máquina. El resultado es una simulación muy fiel del proceso de AM que reproduce y analiza la secuencia de construcción capa a capa.

Se ha desarrollado una plataforma software muy avanzada (HPC) que permite el cálculo paralelo (MPI) e incluye técnicas de activación de elementos finitos utilizada para seguir el crecimiento de la geometría de acuerdo al proceso real de fabricación. La estrategia de adaptabilidad de mallado hace uso de mallas Cartesianas con refinamientos locales (HAZ) y engrosamiento global de tipo Octree para mantener controlado el número total de elementos en el dominio computacional. Se ha calibrado el modelo constitutivo termo-viscoelástico-viscoplástico así como los resultados numéricos a través de una extensa campaña experimental llevada a cabo aprovechando la colaboración con varios centros de investigación como: la Northwestern Polytechnical University (Xi'an, China), las universidades Monash y RMIT (Melbourne, Australia), IK4-Lortek, Leitat, Eurecat (España), entre otras..

- Jose Manuel González-Enrique Ortega (Universidad Politécnica de Cataluña- Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería)
Título: *Efficient aeroelastic solution for inflatable structures*.
Resumen: Los hangares inflables son estructuras cuya estabilidad se basa en la inyección de aire en tubos de membrana, sostenidos a su vez por una red de cintas de poliéster, que transmiten las cargas al terreno. Su concepción estructural así como las tipologías estructurales empleadas, hacen de estos hangares una estructura compleja en lo que se refiere al cálculo de su respuesta estructural. En la actualidad se emplean métodos de cálculo basado en formulaciones estructurales no lineales o bien en la dinámica de fluidos. En el primer caso, la solución es solo una aproximación al problema partiendo de normativas diseñadas para otras estructuras, que no tienen en cuenta componentes esenciales en la respuesta del hangar como la aeroelasticidad. En el segundo caso, su coste computacional complica su uso en fase de proyecto. En este contexto se presenta una metodología numérica para la resolución del problema de interacción fluido-estructura para el análisis aeroelástico de la estructura basada en el flujo potencial. Se incorpora además un algoritmo que permite estimar la separación de flujo en el hangar, lo que influye de forma determinante en su respuesta. La metodología se ha validado empleando ejemplos existentes en la literatura y se ha aplicado a la simulación de un hangar de referencia (H20) para comparar los resultados obtenidos con respecto al método de diseño convencional. Los resultados obtenidos muestran una significativa disminución en la deformación de la estructura, así como los esfuerzos en membranas y reacciones en los anclajes, no así

en las fuerzas axiales en las cintas que envuelven el hangar. Estos resultados se han obtenido en un tiempo de cálculo notablemente menor que el necesario en un código CFD lo que permite su implementación en un proceso de diseño.

- Francisco Zarate Araiza (Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería)
Título: *"CA FEM-DEM approach for multifracture analysis in solids"*.
Resumen: En esta charla se presenta una nueva técnica computacional para predecir el inicio y la evolución de la fractura en un continuo de manera sencilla combinando el método de elementos finitos (FEM) y el método de elementos discretos (DEM). El inicio de la fisuración en un punto se rige por un modelo de daño simple. Una vez que se detecta una grieta en el lado de un elemento en la malla FEM, se generan elementos discretos en los nodos que comparten el lado y se considera que un mecanismo DEM simple sigue la evolución de la grieta. La combinación del DEM con elementos triangulares lineales simples de 3 nodos captura correctamente el inicio de la fractura y su evolución, como se muestra en varios ejemplos de aplicación en dos y tres dimensiones.
- Diana Assaely León Velasco (Universidad Autónoma Metropolitana)
Título: *Aproximación numérica para la solución de un problema bi-armónico que surge de un problema inverso en electro-encefalografía*.
Resumen: En este trabajo mostraremos un método para la solución numérica de un problema lineal bi-armónico que surge de los problemas inversos en electro-encefalografía, mediante elementos finitos lineales. Para ello se reformula como una ecuación funcional asociada con un operador de frontera lineal del tipo Steklov-Poincare. Esta ecuación de frontera se adapta bien a la solución mediante un algoritmo de gradiente conjugado, el cual requiere la solución de dos problemas elípticos lineales de segundo orden por iteración.
- Francisco Javier Domínguez Mota (Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo)
Título: *"Modelación numérica de flujo en suelos empleando diferencias finitas generalizadas"*.
Resumen: En el contexto actual de cambio climático, la modelación adecuada de los procesos de infiltración de agua en suelos parcialmente saturados cobra una especial importancia. Modelar dichos procesos de manera adecuada es un problema muy interesante numéricamente,

porque la ecuación que los modela, la ecuación de Richards, es una ecuación no lineal que degenera y cambia de dinámica al llegar al proceso de saturación. En esta plática se muestran algunos avances en la modelación de infiltración empleando diferencias finitas generalizadas, una técnica que ha cobrado relevancia en los últimos años por su flexibilidad para aplicarse a diferentes problemas de ecuaciones diferenciales parciales.

- Humberto Esqueda Oliva (Centro de Investigación en Matemáticas)
Título: *"Cálculo Exterior Discreto en la Solución de EDP S:Formulación Local para Problemas Térmicos Anisótropos"*.
Resumen: El trabajo trata sobre la aplicación del Cálculo Exterior Discreto (DEC, acrónimo en inglés) en la solución de ecuaciones diferenciales parciales (EDP) de interés en los campos de la física e ingeniería. Se trata de una metodología relativamente nueva, basada en la idea de discretizar la teoría matemática del Cálculo Diferencial Exterior. Dos de los conceptos esenciales en DEC es el de la derivada exterior, y la formas diferenciales. Mediante dichos conceptos se pueden generalizar los operadores comunes del cálculo multivariable como son el gradiente, rotacional y divergencia, mismos que se emplean en las EDP de la física. En el trabajo original de A. Hirani, DEC fue presentado de manera puramente teórica. Sin embargo, se mencionó que DEC podría ser aplicado en la solución de problemas variacionales, como los que surgen en el campo de la física, así como en visión computacional, procesamiento de imágenes y computación gráfica. El Cálculo Exterior Discreto (DEC) es un intento de crear desde cero una teoría discreta de la geometría diferencial y la topología, cuyas definiciones y teoremas imitan a sus homólogos continuos suaves. Una variedad se discretiza como un complejo simplicial y las k-formas discretas se definen como cocadenas en los símlices k-dimensionales. El operador de derivada exterior d se discretiza como ∂T , que es la transpuesta de la matriz de adyacencias en la dimensión apropiada. Otros operadores discretos tienen construcciones más elaboradas. A. Gillette menciona que la principal aplicación de DEC, además de su interés teórico, es la creación de operadores discretos que permitan generar métodos numéricos para la solución de EDP. Si bien los operadores discretos han figurado en la literatura durante algún tiempo, DEC ofrece un enfoque unificado para su construcción, respaldado por el rigor de la topología diferencial. La parte central del trabajo de investigación se puede describir por: la formulación local DEC para

problemas térmicos y otros similares (ecuación de Poisson), lo cual permite manejar materiales anisótropos. Además, se describe brevemente la posibilidad y utilidad de la teoría DEC utilizando elementos con fronteras curvadas (CDEC). Finalmente, se presentan ejemplos de aplicación (en 2 y 3 dimensiones) de los conceptos teóricos descritos que ilustran su utilidad, comparando los resultados obtenidos con los proporcionados por el Método de los Elementos Finitos (FEM). Los conceptos descritos son aplicables a otro tipo de ecuaciones similares a las resultantes de problemas térmicos sin introducir excesivas dificultades teóricas.