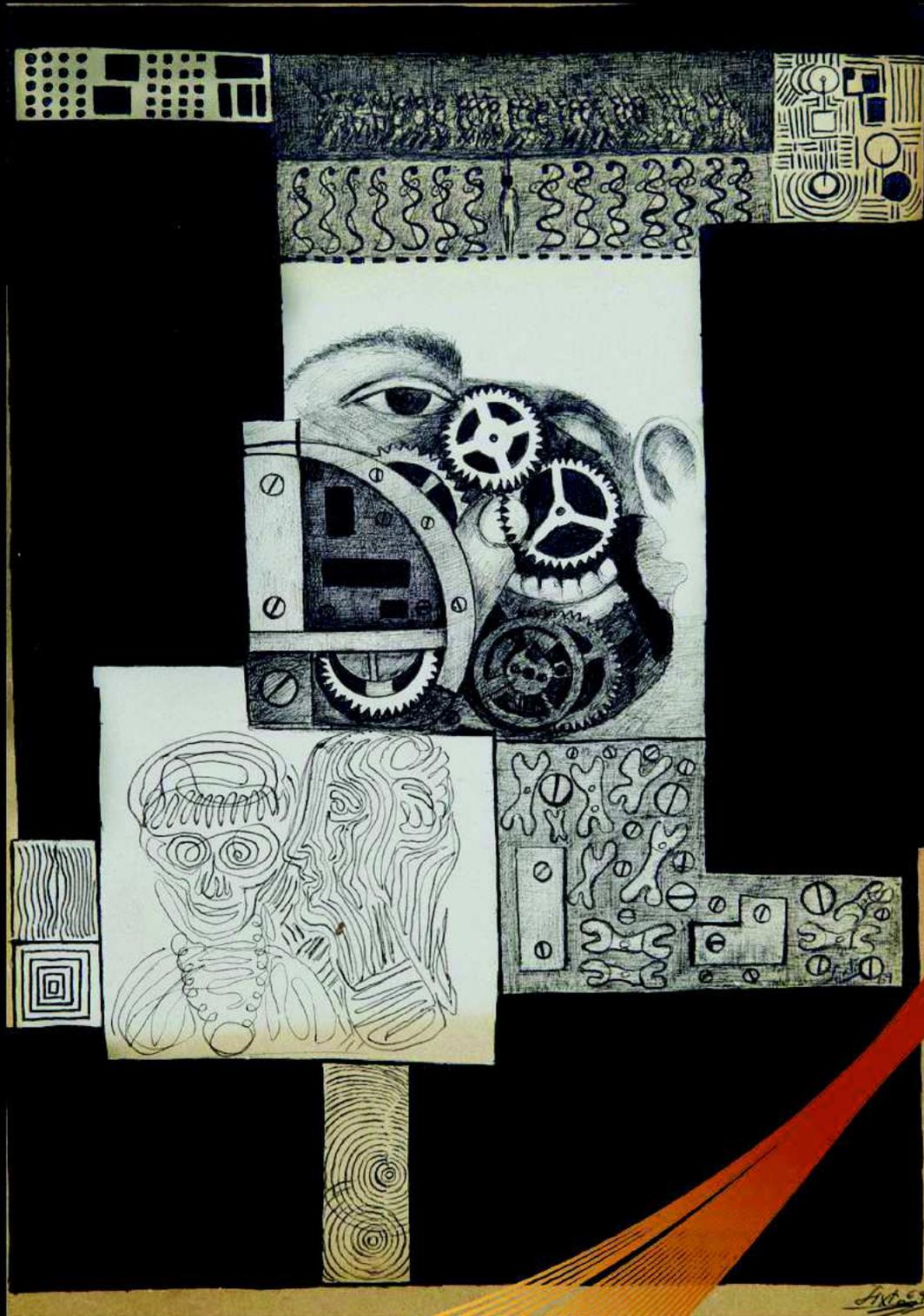


XXI CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



LIBRO DE ARTÍCULOS
Varios autores

 UNIVERSITAS
Miguel
Hernández

XXI CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

Libro de artículos

Editores:

Emilio Velasco Sánchez, Presidente

- Miguel Sánchez Lozano. Vicepresidente
- Ramón Peral Orts, Secretario
- Grupo AME (Applied Mechanical Engineering):
 - o Héctor Campello Vicente
 - o Nuria Campillo Davó
 - o David Clar García
 - o Abel R. Navarro Arcas
 - o Miguel Ángel Oliva i Meyer
 - o Carolina Senabre Blanes
 - o Óscar Cuadrado Sempere

ISBN:

978-84-16024-37-7

Edita:

Universidad Miguel Hernández de Elche

Maquetación:

Servicio de Innovación y Apoyo Técnico a la
Docencia y a la Investigación UMH

Nota del editor:

Los textos de esta publicación y su revisión
ortográfica son responsabilidad de los/as autores/as

Fecha de edición:

07/11/2016



L'HOME I LA MÀQUINA

A partir de 1966, en la ciudad de Elche, se presenta la formación de un grupo de artistas con el propósito de renovar la plástica valenciana de la postguerra bajo el nombre de Grup d'Elx y abordar de manera activa una serie de soluciones estéticas y sociales de los problemas del arte, acercando a las clases populares el lenguaje artístico y compartiendo, no sólo los problemas de arte de la época, sino los problemas generales de la sociedad española del momento, y en concreto de la ilicitana.

Sixto Marco [Elche 1916–Elche 2002] impulsa esa iniciativa, aunque cada artista camina por su cuenta: como ya escribiera el crítico de arte Aguilera Cerni “El Grup d'Elx no es un equipo, ni tan siquiera responde a un único criterio de tendencia”, y avanza en recoger en sus trabajos los testimonios de la puntualidad de los acontecimientos, denuncias políticas, diferencias sociales y culturales.

La obra de la portada “L’Home i la màquina” es un dibujo a bolígrafo que corresponde al periodo de la década de los setenta en el que Sixto Marco se centra, casi exclusivamente, en la temática política y social.

Imagen cedida al XXI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica – Elche 2016 por Sixto M. Marco Lozano, Dr. Ingeniero Industrial por la Universidad Miguel Hernández de Elche e hijo del artista

PATROCINADORES



ORGANIZACIÓN

Comité de Honor

Sr. D. Jesús Tadeo Pastor Ciurana

Rector Magnífico de la Universidad Miguel Hernández de Elche

Sr. D. Manuel Miguel Jordán Vidal

Vicerrector de Investigación e Innovación de la Universidad Miguel Hernández de Elche

Sr. D. José Luis San Román García

Presidente de la Asociación Española de Ingeniería Mecánica

Sr. D. Miguel Ángel de la Casa Lillo

Director de la Escuela Politécnica Superior de Elche de la Universidad Miguel Hernández de Elche

Comité Organizador Local

Emilio Velasco Sánchez (Presidente)

Miguel Sánchez Lozano (Vicepresidente)

Ramón Peral Orts (Secretario)

Grupo AME (Applied Mechanical Engineering):

David Abellán López

Héctor Campello Vicente

Nuria Campillo Davó

David Clar García

Sixto M. Marco Lozano

Abel R. Navarro Arcas

Miguel Ángel Oliva i Meyer

Carolina Senabre Blanes

Óscar Cuadrado Sempere

Consejo Rector de la Asociación Española de Ingeniería Mecánica

José Luis San Román García (Presidente)

Universidad Carlos III de Madrid

Juana Mayo Núñez (Vicepresidenta)

Universidad de Sevilla

Alfonso Fernández del Rincón (Secretario)

Universidad de Cantabria

Carolina Álvarez de Caldas

Universidad Carlos III de Madrid

Salvador Cardona Foix

Universidad Politécnica de Cataluña

Juan Ignacio Cuadrado Iglesias

Universidad Politécnica de Valencia

Alfonso Hernández Frías

Universidad del País Vasco

José Luis Muñoz Sanz

Universidad Politécnica de Madrid

María Prado Novoa

Universidad de Málaga

Emilio Velasco Sánchez

Universidad Miguel Hernández de Elche

Comité Científico

David Abellán López
José Vicente Abellan Nebot
Enrique Alcalá Fazio
Oscar Altuzarra Maestre
Enrique Amezua San Martín
Francisco Aparicio Izquierdo
Mariano Artes Gómez
Moisés Batista Ponce
Juan Antonio Cabrera Carrillo
José Antonio Calvo Ramos
Héctor Campello Vicente
Nuria Campillo Davó
Salvador Cardona Foix
María Teresa Carrascal Morillo
Cristina Castejón Sisamon
Juan Jesús Castillo Aguilar
David Clar García
Francisco J. Cuadrado Aranda
Juan Ignacio Cuadrado Iglesias
Óscar Cuadrado Sempere
Silvia De La Flor López
Francisco David Denia Guzmán
Vicente Díaz López
Javier Echavarri Otero
Alfonso Fernández Del Rincón
José Esteban Fernández Rico
Francesc Ferrando Piera
Francisco Javier Fuenmayor Fernández
Alfonso Fuentes Aznar
Juan Carlos García Prada
Ernesto García Vadillo
Ignacio González Pérez
Rubén González Rodríguez
Antolín Esteban Hernández Battez
Alfonso Hernández Frías
Salvador Ivorra Chorro
Felipe Jiménez Alonso
Lluïsa Jordi Nebot
Aitzol Lamikiz Mentxaka

Rafael López García
Mariano Marcos Bárcena
Óscar Martel Fuentes
Andrés Jesús Martínez Donaire
Juana María Mayo Núñez
M^a Henar Miguélez Garrido
José Luis Muñoz Sanz
Abel R. Navarro Arcas
Miguel Ángel Oliva I Meyer
Francisco Javier Páez Ayuso
José Ignacio Pedrero Moya
Esteban Peña Pitarch
Ramón Peral Orts
Antonio Pérez González
Publio Pintado Sanjuan
María Prado Novoa
María Beatriz Ramírez Berasategui
David Rodríguez Salgado
Jordi Romeu Garbí
Higinio Rubio Alonso
Lourdes Rubio Ruiz De Aguirre
Justo Ruiz Calvo
Javier Ruiz Ramírez
Ana Sáenz Nuño
Jorge Salgero Gómez
José Luis San Román García
Miguel Sánchez Lozano
Francisco Sánchez Marín
Joaquín Luis Sancho Bru
Mariano Saura Sánchez
Carolina Senabre Blanes
María Del Carmen Serna Moreno
Antonio Simón Mata
Javier Trujillo Vilches
Emilio Velasco Sánchez
Fernando Viadero Rueda
José Luis Viesca Rodríguez
Manuel Alejandro Yáñez Santana

ÍNDICE DE ÁREAS TEMÁTICAS

I - BIOMECÁNICA	20
Estado tensional del fémur a partir de imágenes de densitometría ósea, mediante uso de mallados cartesianos de elementos finitos, para evaluación de riesgo de fractura osteoporótica	21
Influencia de un modelo multicuerpo del pie en la estimación de los parámetros de un modelo de contacto pie-suelo durante la marcha	29
Estudio comparativo de tornillos interferenciales para la reconstrucción del ligamento cruzado anterior	37
Estimación de propiedades elásticas de tejidos blandos mediante técnicas numéricas basadas en el método del gradiente	43
Estimación de posturas de agarre en base a ACP y RN.....	51
Biometrología trazable sin contacto.....	59
Análisis experimental y numérico del comportamiento de un fémur artificial	67
Propiedades dinámicas de la seda de araña	75
Parámetros antropométricos y mecánicos de los afectados por la osteogénesis imperfecta para evaluar su seguridad en vehículos	82
Simulador de inmersiones de gran profundidad	90
Sistema de valoración del equilibrio de bajo coste para el peritaje médico forense de daños neurológicos.....	97
Desarrollo de plantillas instrumentadas de bajo coste para medición de la pisada.....	105
Componentes principales aplicados al estudio de la dinámica del pie supinado y normal durante la marcha	113
Comparación resistente de dos implantes intramedulares tras realización de una artrodesis metatarso-falángica para aliviar la patología del dedo en garra	121
Simulación de la mano después de un ictus	129
Evaluación funcional de la mano mediante reducción dimensional de su cinemática ..	137
Determinación paramétrica de los ejes de rotación de las articulaciones interfalángicas de los dedos	145
Anclajes con tornillos de prótesis mecanizada personalizada: Análisis mediante simulación numérica y aplicaciones clínicas	153
Comparación de dos diseños de dedo protésico subactuado: tendón vs. sistema articulado	161
Influencia del paso de rosca de tornillos en sistemas con placas de osteosíntesis. Estudio biomecánico	169
Diseño de dispositivos ortoprotésicos personalizados mediante análisis biomecánico y herramientas CAE	175
Medida de deformación mediante correlación de imágenes en 3D para caracterización biomecánica en hemimandíbulas de conejo	181

Nueva técnica de fijación invertida para el LCA: estudio biomecánico in vitro en modelo porcino	189
Diseño, control y evaluación de una ortesis activa de bajo coste para la marcha de lesionados medulares	196
Diseño y fabricación multiescala de dispositivos médicos para interacción a nivel celular y tisular.....	202
II - CINEMÁTICA COMPUTACIONAL.....	211
Eficiencia de una formulación cinemática computacional basada en Ecuaciones de Grupo.....	212
Una propuesta de fórmula de velocidades de sucesión	220
Manipuladores paralelos de traslación con pares Pa2.....	228
Análisis de la capacidad multioperacional de manipuladores paralelos.....	236
Eficiencia de la paralelización multihilo en el análisis cinemático de sistemas multicuerpo basado en Ecuaciones de Grupo.....	244
III - EDUCACIÓN EN INGENIERÍA.....	253
Uso de MATLAB en la enseñanza de los flujos en canales abiertos para un aprendizaje metacognitivo	254
Aprendizaje Cooperativo y Co-Evaluación en el aula de ingeniería. Propuesta de un Entorno Virtual de Aprendizaje y de un nuevo rol del profesor	262
Construcción de un equipo flexible de laboratorio para el ensayo de turbinas hidráulicas de acción.....	270
Revisión de algunos mecanismos de barras propuestos por Artobolevski	278
Diseño e impresión de modelos 3D de transmisiones epicicloidales para ayuda a la docencia.....	286
Plataforma para el diseño de uniones estructurales mediante perfiles tubulares de acero	294
Actividad lúdica en el proceso enseñanza-aprendizaje en la ingeniería mecánica	302
Estrategias blended-learning en laboratorios del Grado en Ingeniería Mecánica: una experiencia positiva	310
IV - DINÁMICA DE SISTEMAS MULTICUERPO.....	319
Observador de estados basado en modelo multicuerpo aplicado a un vehículo automóvil	320
Modelo dinámico de una motocicleta con rigidez lateral.....	328
Formulaciones dinámicas en coordenadas naturales para la aproximación basada en Ecuaciones de Grupo	335
V - FIABILIDAD Y MANTENIMIENTO.....	344
Detección y localización automática de defectos en rodamientos basada en WPT y SVM.....	345
Mantenimiento necesario en instalaciones de GLP	353
Gestión del Mantenimiento de equipos biomédicos y Producción más Limpia en instituciones de salud de Medellín, Colombia	361
Estimación del estado mecánico de maquinaria agrícola en funcionamiento mediante el análisis automático de vibraciones	366
Desarrollo de un sistema predictivo a través microntroladores y sensores de bajo costo para la programación de las actividades de mantenimiento en sistemas de aire acondicionado.....	374

Aplicación de la intensidad sonora en el monitorizado de engranajes epicicloidales ...	379
Modelo de sistematización de un plan de mantenimiento atendiendo a la seguridad.	387
VI - HISTORIA DE LAS MÁQUINAS Y LOS MECANISMOS.....	395
Estudio de una herramienta de bajo coste para la digitalización de piezas del Museo de Ingeniería, Tecnología e Industria de la Universidad Politécnica de Cartagena...	396
Aplicación de la Ingeniería Asistida por Ordenador a los Ingenios Mecánicos Antiguos. Recuperación virtual de un Molino Harinero.....	404
Estudio Histórico - Tecnológico del Carro que apunta al Sur	412
La síntesis de generación de trayectorias en Agustín de Betancourt	420
El "Curso de Construcción de Máquinas" del Profesor Cipriano Segundo Montesino...	428
Nuevas Tecnologías aplicadas a la difusión de Mecanismos Históricos: Impresión 3D del Artificio de Juanelo Turriano.....	436
Reconstrucción virtual del motor Hispano-Suiza 15 Cr con compresor centrífugo.....	444
Diseño de sistema mecánico para el montaje de la jácena de la tramoya aérea del Misteri d'Elx	452
Contributions of Leonardo da Vinci in Mechanisms Design.....	459
VII - INGENIERÍA DE FABRICACIÓN Y METROLOGÍA.....	468
Metodología para la adaptación y validación experimental de modelos ingenieriles ..	469
Simulación del comportamiento mecánico de los procesos por fotopolimerización de resinas destinadas a la fabricación aditiva mediante estereolitografía láser: Influencia en la calidad de la pieza	477
Solución combinada para la fabricación y reparación de turbocomponentes.....	485
Soldadura láser remota de acero galvanizado: Análisis del proceso en función de los parámetros de entrada.....	493
Caracterización del desgaste de grano en el rectificado con muelas de alúmina monocristal.....	502
Análisis paramétrico de la geometría de la viruta en el mecanizado en seco de aleaciones de aluminio aeronáutico.....	510
Texturizado láser con pulsos de larga duración	518
Estudio comparativo del comportamiento térmico de diferentes disipadores de calor para impresoras 3D a través de MEF.....	526
Modelización del baño fundido de una pieza de AISI 304 irradiada por un láser	534
Caracterización del proceso de rebabado automático con turbinas neumáticas	542
Un sistema de micro pulverización de aceites vegetales en mecanizado por impulsión controlada de la dosificación	550
Diseño de una pieza test para la evaluación cinemática de máquinas de impresión 3D	556
Auto-calibración del sistema de posicionamiento de una plataforma de movimiento en 2D.....	564
Análisis de la estabilización térmica inicial de los Laser Trackers.....	571
Optimización del mango de una pinza de cirugía laparoscópica comercial mediante la simulación en SolidWorks de su comportamiento material y funcional	578
Comparación de la rugosidad superficial obtenida en mecanizado con y sin multiplicador de velocidad en fresadora	584
Mediciones de piezas multi-material mediante Tomografía Computarizada.....	592
Materiales recomendados por las Normas Internacionales para utilizar en una instalación de GLP.....	599
El caudalímetro de Coriolis como medidor volumétrico para la transferencia de custodia en la logística de hidrocarburos.....	607
Diseño robusto de un proceso de conformado de chapa aeronáutica.....	615

Formulación simplificada del problema de generación virtual de engranajes cilíndricos rectos mediante disco de rectificado	621
Rehabilitación y modernización del rugosímetro marca Taylor Hobson modelo Talysurf 5 del laboratorio de Metrología de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE ..	629
Comparación de trayectorias espirales en vaciados.....	637
Especificación geométrica de piezas en 3D mediante un brazo de medición para su verificación y calibración	645
Incremental sheet forming with tool steel SAE 1045	653
Determinación de la incertidumbre de verificación de máquina herramienta por el método de Monte Carlo	660
Metodología para la caracterización numérica de bóvedas circulares fabricadas por conformado superplástico	668
Generación de texturas superficiales por fresado en cinco ejes	676
Estudio de los factores de transmisión de la variabilidad dimensional en la fabricación de baldosas cerámicas.....	684
Influencia de los defectos geométricos en la superficie de contacto de un disipador de calor, orientado a la asignación de sus tolerancias de fabricación	692
Actualización/retrofiteado de una máquina de una coordenada	700
Análisis de la energía específica de corte en el rectificado plano basado en el modelo de la tasa de material removido	708
Caracterización de propiedades mecánicas de piezas en ABS en función de parámetros de proceso de manufactura aditiva FDM	716
Estudio experimental de las fuerzas de corte durante el mecanizado con aleaciones de titanio	723
Desarrollo de una RNA para controlar un proceso de conformado en caliente.....	731
Estudio preliminar del Rendimiento Funcional de piezas fabricadas por FDM	739
Estudio experimental del efecto de bruñido sobre la vida a fatiga de probetas de acero AISI 1038	747
Aumento de la competitividad, la sostenibilidad y la sustentabilidad en la obtención de artículos metálicos por el método de vertido vibratorio	753
Mecanizado de alta velocidad en aleaciones base Nickel (HRSA) con herramientas CBN	761
VIII - INGENIERÍA FERROVIARIA	769
Introducción de materiales ligeros en la construcción de partes estructurales en cajas ferroviarias: Roll2Rail e integración con otros Proyectos Europeos	770
Validación de un modelo computacional eficiente de vehículos ferroviarios a escala con resultados experimentales.....	778
Estudio del contacto en la interacción rueda/carril y rueda/rodillo en bancos de ensayos ferroviarios.....	787
Modelo de elastómero empleado en suspensiones de trenes de alta velocidad.....	794
Optimización de modelos en elementos finitos de los maniqués Hybrid-III percentiles 50% y 95% para su aplicación en transporte ferroviario	802
Modelo de interacción dinámica del vehículo ferroviario completo con ejes y vía flexible en curva	810
Mejora del modelo de interacción dinámica vehículo-vía en el dominio de alta frecuencia.....	818
Nueva metodología para el análisis de la evolución de las frecuencias naturales con la presencia de grietas en ruedas ferroviarias.....	826
Influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento dinámico de puentes bajo trenes de alta velocidad	834

IX - INGENIERÍA DE VEHÍCULOS Y TRANSPORTE	843
Estudio mediante extensimetría del comportamiento dinámico de la banda de rodadura de un neumático	844
Detección del tipo de carretera mediante Lógica Borrosa	852
Evaluación de algoritmos de control para sistemas ABS en motocicletas	860
Estudio del comportamiento de un sistema salvacunetas para mejorar la seguridad vial	868
Nuevas metodologías para la inspección técnica del sistema de dirección.....	876
El atropello en vía interurbana, ¿previsto en homologación?.....	884
Estudio de amortiguadores inerciales para automóviles por medio de simulaciones multi-cuerpo.....	892
Comparativa de datos de frenada sobre bancos de freno de ITV del tipo: Maha, Vteq y Ryme	900
A new methodology to assess sound power level of tyre/road noise under laboratory controlled conditions in drum test facilities.....	908
Influencia de la variación del diámetro y el ancho de rueda en las medidas de frenada sobre banco de rodillos de ITV	916
Guiado de un vehículo autónomo mediante la detección de los límites del carril usando un escáner láser	924
Mejora del posicionamiento de vehículos de carretera en áreas de mala cobertura GPS	932
Estudio del comportamiento del cuerpo de válvulas de un amortiguador de alto rendimiento	940
Sistema de control antivuelco para furgoneta utilizando lógica difusa y suspensión activa.....	948
Caracterización teórico-experimental de un atenuador de impacto de estructura de panel de abeja de aluminio para un vehículo tipo formula	956
Diseño de un estimador del ángulo de balanceo de vehículos industriales mediante redes neuronales.....	964
Análisis de la inscripción en curva de un vehículo industrial a la luz del nuevo Reglamento nº 79 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa.....	972
Ensayos de choque de autobús con maniquíes de impacto de tamaños adultos e infantiles.....	980
Simulación y ensayo de contenedores de baterías para vehículos eléctricos bajo sollicitaciones de choque	988
Metodología para la medida de la energía consumida en las maniobras de acceso y salida de turismos empleando el sistema de captura de movimiento Kinect.....	996
Influencia de la agresividad en la conducción en el consumo de energía de un vehículo eléctrico	1002
Modelización y validación del sistema de frenos de un monoplaza tipo formula student mediante msc adams.....	1010
Análisis experimental de la influencia de distintos factores en la resistencia a la rodadura de los neumáticos nuevos y recauchutados.....	1018
Estudio de sensibilidad de las propiedades de un biocombustible sobre los parámetros de inyección mediante simulación con Boost-Hydsim	1025
Diseño y parametrización de un sistema de aerodinámica activa para una motocicleta TMD ajustable en frecuencia aportando rigidez positiva o negativa mediante imanes permanentes	1041
X - MÁQUINAS Y MECANISMOS.....	1050
Nueva metodología para el desarrollo de secuencias de atornillado óptimas en uniones RTJ	1051
Rediseño del perfil de levas desmodrómicas utilizadas en mecanismos complejos de barras.....	1059

Estudio de la influencia de la desalineación axial en las tensiones de flexión de las transmisiones de piñón-cremallera	1067
Metodología de análisis dinámico de mecanismos. Aplicación a la simulación del deslizamiento de un bípodo	1075
Evaluación de la formulación de esfuerzos de contacto hidrodinámicos en transmisiones mediante engranajes operando con bajo nivel de carga	1083
Análisis cinemático de un robot flexible accionado por cables	1091
Diseño y modelado de un triciclo para niños con problemas motrices mediante herramientas CAD 3D	1099
Análisis de la eficiencia en transmisiones con correcciones y modificaciones de perfil .	1106
Estudio de los parámetros mecánicos de un sistema de elevación antibalaneo en reeving de ocho cables.....	1114
Estudio mecánico de un Generador Eólico de Eje Vertical basado en el análisis dimensional.....	1122
Estudio de una bomba-turbina integral.....	1130
Prototipo de un sistema de refrigeración por adsorción química a partir del uso de energía solar.....	1137

XI - MECÁNICA COMPUTACIONAL..... 1146

Influencia del comportamiento poroelástico del fondo marino en la rigidez dinámica de cimentaciones pilotadas para aerogeneradores offshore.....	1147
Análisis acoplado de jaulas de cultivo marino mediante FEM no lineal.....	1153
Modelización numérica de la adherencia de armaduras en hormigón convencional y de alta resistencia	1161
Modelización numérica del comportamiento a punzonamiento de losas de hormigón armado	1169
Análisis computacional de la estructura cinemática de sistemas multicuerpo espaciales.....	1177
ETSIDI-Rap: Impresora 3D portátil de código abierto.....	1185
Resolución del problema paramétrico de la configuración estática de la catenaria ferroviaria	1193
Ventilation of a Bus Central Station	1201
Analysis and modeling of combustion in biomass furnace	1209
Simulación geométrica de la adaptación del tejido de fibra de carbono al molde	1216
Simulación numérica del comportamiento de un polímero sometido a un campo eléctrico.....	1223
Fisión de gotas de metano sometidas a un campo eléctrico.....	1230
Simulación numérica de una burbuja ascendente en un medio compuesto por líquido lixiviado	1237
Aporte al estudio cinemático del flujo de agua en pilas de puentes	1245
Comparación entre técnicas de modelización para una barrera de ensayos de choque. Validación a partir de datos experimentales.	1253
Optimización estructural considerando costes y emisiones asociados al proceso de corte por chorro de agua	1261

XII - MECÁNICA DE FRACTURA Y FATIGA..... 1270

Estudio de la relajación de tensiones residuales con cargas de fatiga en acero de temple y revenido sometido a shot peening	1271
Determinación del estado tensional de una biela de bicicleta frente a las cargas de trabajo	1279
Estudio del comportamiento a fatiga en compensadores para tubos cuadrados	1287

Metodología experimental para la estimación del tamaño y la forma de la zona plástica en el vértice de grieta.....	1295
Automatización y optimización de la determinación numérica del Factor de Intensidad de Tensiones en ejes fisurados.....	1304
Estimación mediante Redes Neuronales del Factor de Intensidad de Tensiones en un eje giratorio fisurado	1312
Modelización multiescala del comportamiento interfacial nanopartícula-matriz en nanocomposites poliméricos de grafeno.....	1320
Análisis del efecto de la adición de fibras de acero al comportamiento de hormigones sometidos a cargas cíclicas de flexotracción.....	1328
XIII - MECÁNICA EXPERIMENTAL	1337
Caracterización termomecánica de la aleación con memoria de forma NiTiCu mediante ensayos a tracción, compresión y torsión.....	1338
Análisis experimental de la resistencia a la penetración de cuchillo en tejidos de alto rendimiento.....	1346
Medida de mapa de desplazamientos 3D de componentes de gran tamaño sometidos a vibración empleando la técnica FP+2D-DIC.....	1353
Análisis numérico-experimental del comportamiento modal de una viga biapoyada usando dic-3d	1360
Caracterización geométrica del daño producido por impacto en estructuras mediante la técnica de Correlación Digital de Imágenes.....	1368
Optimización de actuadores termo-mecánicos con polímeros termoestables con memoria de forma	1375
Análisis de las propiedades mecánicas de polímeros con memoria de forma mediante microdureza instrumentada.....	1383
Determinación de la mezcla óptima de arcilla para el mejorar la calidad del bloque h-10 en la industria ceramica	1391
XIV - MICROMÁQUINAS, MECATRÓNICA Y ROBÓTICA.....	1400
Empleo del principio de equivalencia de energía para la obtención de un modelo dinámico lineal dependiente de los parámetros inerciales y de fricción de un manipulador paralelo	1401
Torso humanoide con estructura inspirada en la anatomía humana usando manipuladores paralelos.....	1409
Análisis mecatrónico de la influencia de la elasticidad de una máquina herramienta en las prestaciones dinámicas de sus servoaccionamientos	1417
Desarrollo de un algoritmo de visión artificial mejorado basado en la captura de posicionamiento LEDs en micromecanizado.....	1425
Diseño y simulación de un prototipo de mano protésica de bajo coste.....	1432
Controlador de dos etapas para guiado de vehículos autónomos submarinos en entornos cambiantes.....	1440
XV - PROYECTOS CON EMPRESAS	1449
Diseño de encofrado de aluminio para vivienda unifamiliar.....	1450
Optimización de una unidad BMU aplicando metodologías de Diseño Generativo en Máquinas. Un caso de colaboración Universidad-Empresa	1458
Diseño mecánico de un robot para inspección por ultrasonidos de cadenas de líneas de fondeo	1466

Influencia del consumo energético en la optimización de la selección de equipos para un proceso de molienda	1474
Recubrimientos superficiales mediante aerografía 3D low-cost	1482
XVI - RUIDO Y VIBRACIONES	1490
Sistema de caracterización dinámica de estructuras ferroviarias.....	1491
Clasificación de factores asociados a la incertidumbre del proceso de evaluación del riesgo por exposición laboral a vibraciones	1499
Análisis experimental mediante el uso de DIC 2D de una viga sometida a vibración y su comparación con resultados numéricos	1507
Análisis de las frecuencias naturales de un componente de automoción empleando DIC 3D en alta velocidad	1515
EEMD y EMD para la mejora del análisis de señales de impacto-eco	1523
Comparación numérica de técnicas modales para la simulación acústica de dispositivos de escape con monolito.....	1531
Método del Componente Virtual para la caracterización de las uniones en estructuras máquinas-herramienta	1539
Caracterización y análisis de un sistema de rigidez variable con actuadores lineales neumáticos	1547
Utilización del espectro compuesto para la detección de desequilibrios rotantes en maquinaria agrícola.....	1555
Aplicaciones del análisis modal experimental de vibraciones en agitadores de destiladores industriales	1563
Técnicas acústicas avanzadas para la identificación de defectos funcionales en equipos dinámicos.....	1571
Caracterización de mesa de vibraciones mediante análisis espectral	1579
Análisis acústico experimental de husillos a bolas precargados de alta velocidad.....	1583
Diagnóstico de fallos en engranajes mediante análisis clúster y técnicas de envolvente	1587
A dynamical multibody approach for guitar modelling incorporating string geometric nonlinear effects	1593
XVII - SOSTENIBILIDAD Y MEDIO AMBIENTE EN INGENIERÍA MECÁNICA.....	1602
Influencia en la huella hídrica en la fabricación de hormigón con escoria de cobre y polvo de humo	1603
Influencia en la huella hídrica en la fabricación de hormigón con escoria de acero inoxidable.....	1611
Caracterización mecánica de tableros de "Arundo donax L.": Estudio comparativo entre el proceso seco y húmedo de prensado en frío	1618
Utilización de materiales alternativos en los procesos de fundición de metales ferrosos y no ferrosos.....	1626
Estudio mediante CFD de la influencia de parámetros característicos en la eficiencia de la etapa de preenfriamiento en aerorefrigeradores	1631
Diseño y Construcción de una unidad de biodigestión experimental para aplicaciones en bioenergía	1639
Análisis y evaluación de la información meteorológica disponible para la prospección del recurso eólico en el perfil costero Ecuatoriano	1647
Definición del contexto en diseño de máquinas. Metodología para máquinas apropiadas.....	1655

XVIII - TRIBOLOGÍA.....	1662
Cálculo de capacidad de carga estática de rotulas esféricas radiales libres de mantenimiento	1663
Ensayo y fabricación de texturas elípticas para la mejora del coeficiente de fricción lubricado en contactos puntuales.....	1671
Resolución de las ecuaciones de Reynolds-Carreau para el cálculo del espesor de película en contactos TEHD lineales	1679
Par de fricción en rodamientos de vuelco de cuatro puntos de contacto: estudio de las limitaciones de las formulaciones actuales mediante elementos finitos	1687
Modelo térmico transitorio de engranajes cilíndricos en condiciones de lubricación mixta	1695
Investigación en la influencia del contenido en Cr de aleaciones NiCrBSi sobre el par rozante Acero F-5220 templado en aceite en la modelización del comportamiento tribológico en medios lubricados. (Curva de Stribeck)	1703
Caracterización reológica de lubricantes empleando un tribómetro.....	1711
Efecto de la rugosidad en ensayos de desgaste adhesivo severo "Galling" en Acero Inoxidable 304	1719
Influencia de la tribología en problemas de indentación de materiales magneto-eléctro-elásticos	1724
Erosión por partícula sólida del acero inoxidable AISI 304 sometido a flujos incidentes de chorro con giro	1732
Comportamiento tribológico de recubrimientos de NiCrBSi dopados con WC y plaqueados con láser mediante ensayos de desgaste en seco bola-placa	1739
Comportamiento tribológico de pares recubiertos por PVD lubricados con líquidos iónicos basados en el anión FAP- utilizado como aditivo.....	1747
Medida de la superficie de contacto en suelas con tecnología de alta-velocidad.....	1755
XIX - OTROS.....	1764
Estudio comparativo de sistemas de condensación en ciclos de potencia termosolares	1765
Estudio de sistema desecante comercial en aplicaciones domésticas	1773
ÍNDICE DE AUTORES.....	1782

Influencia del comportamiento poroelástico del fondo marino en la rigidez dinámica de cimentaciones pilotadas para aerogeneradores offshore

F. García del Pino¹, G.M. Álamo Meneses², L.A. Padrón Hernández³, J.J. Aznárez González⁴, O. Maeso Fortuny⁵

¹SIANI.Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. fidel.garcia@ulpgc.es

²SIANI.Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. guillermo.alamo@ulpgc.es

³SIANI.Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. luis.padron@ulpgc.es

⁴SIANI.Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. juanjose.aznarez@ulpgc.es

⁵SIANI.Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. orlando.maeso@ulpgc.es

El comportamiento dinámico de los aerogeneradores instalados en el mar se ve fuertemente influenciado por las características del suelo sobre el que se cimentan. La poca rigidez del suelo, muy habitual en lechos marinos, hace especialmente relevante los fenómenos de interacción suelo-estructura. En este trabajo se presentan rigideces dinámicas, impedancias dinámicas verticales y horizontales, de cimentaciones realizadas con monopilotes calculadas haciendo uso de un Modelo Acoplado de Elementos de Contorno en el que se considera el pilote como un medio continuo sólido viscoelástico y el suelo que lo rodea como un semi-espacio poroelástico saturado de fluido. Se muestra la influencia que sobre la rigidez dinámica tienen la frecuencia de excitación, la rigidez del pilotes, los efectos de interacción pilote-suelo-pilote y la permeabilidad del suelo saturado.

1. Introducción

Las instalaciones eólicas marinas presentan importantes ventajas frente a las clásicas instalaciones en tierra. Entre ellas cabe destacar una mayor capacidad de generación como consecuencia de la mejor calidad del viento y un menor impacto visual y acústico debido a que la menor rugosidad superficial del mar permite disminuir la altura de las torres. Estas ventajas, junto con los avances tecnológicos y la mejor comprensión de los problemas inherentes a la instalación en condiciones offshore, están permitiendo disminuir los costes de inversión, lo que está haciendo rentables instalaciones que antes no eran viables económicamente. Todo ello se ha traducido en los últimos años en un considerable aumento de la potencia eólica marina instalada a lo largo del todo el mundo.

Buena parte de la inversión en un parque eólico marino va destinada a la cimentación de las máquinas, que como es obvio aumenta de forma proporcional con la profundidad del emplazamiento. Con mayor frecuencia se hace necesario cimentar las estructuras en suelos de peores características, que pueden hacer inviable el uso de cimentaciones superficiales y que llevan en ocasiones a la utilización de cimentaciones profundas.

Un adecuado diseño del conjunto aerogenerador-cimentación hace imprescindible conocer su comportamiento dinámico. Éste se ve fuertemente influenciado por los fenómenos de interacción suelo-estructura que se pueden resumir en una serie de efectos cinemáticos e inerciales producidos en la estructura y el suelo como resultado de la flexibilidad de éste último. Estos fenómenos son más notables a medida que el suelo de cimentación es más blando, situación que se da con frecuencia en fondos marinos.

Una manera habitual de caracterizar esta interacción es calcular la impedancia dinámica de la cimentación. Esto permite construir un modelo simple y realista del problema de cara al análisis dinámico del conjunto, sustituyendo el terreno por un resorte y un amortiguador en paralelo que representan adecuadamente la interacción.

En este trabajo se aborda el cálculo de la impedancia dinámica de cimentaciones profundas a base de pilotes (monopilotes) utilizadas habitualmente en parques eólicos marinos, teniendo en cuenta una particularidad del problema: La presencia de suelos blandos saturados de agua (con comportamiento asimilable a medios poroelásticos).

Existen muy pocos estudios dedicados al análisis de pilotes en suelos saturados de agua, y en los realizados, se ha simplificado el comportamiento del suelo en base a considerarlo como un sólido monofásico con un coeficiente

de Poisson próximo a 0.5. Son escasos los análisis que tienen en cuenta el carácter bifásico del suelo de acuerdo con la teoría de Biot [1] y [2] en la que se tiene en cuenta la compresibilidad de ambas fases, la disipación debida a la viscosidad de fluido, y el acoplamiento de las deformaciones y tensiones entre el sólido y el fluido. Los pocos intentos en este sentido contienen además simplificaciones que limitan su aplicación.

En el presente trabajo se emplea un modelo tridimensional de elementos de contorno para obtener la impedancia dinámica de pilotes embebidos en suelos poroelásticos considerando su naturaleza bifásica. Los pilotes son modelados como un sólido continuo viscoelástico y el suelo que los rodea como un medio poroelástico lleno de fluido. Tanto en los pilotes como en el suelo se aplica el MEC.

Comparado con otros procedimientos existentes [3], [4] y [5], la técnica propuesta aquí requiere un esfuerzo computacional mayor, pero éste se ve compensado con una mayor versatilidad, generalidad y precisión. Así por ejemplo, es posible reproducir cualquier geometría de cimentación, incluyendo pilotes diferentes o inclinados con su verdadera sección transversal. Así mismo la condición de contacto entre el pilote y el suelo puede ser permeable o impermeable. Aunque los resultados presentados están restringidos a un semi-espacio, es posible modelar geometrías más complicadas de subsuelo (que incluyan por ejemplo zonas poroelásticas y viscoelásticas) simplemente mallando en elementos de contorno esta región. Al final del artículo se presenta una selección de resultados de impedancias verticales y horizontales. Además de los aspectos ya citados, se ha estudiado también la influencia de la frecuencia de excitación, la flexibilidad del pilote y las propiedades del material poroelástico en la respuesta del conjunto.

2. Procedimiento para en el cálculo de rigideces dinámicas mediante el MEC

Por brevedad se obvia la formulación del Modelo Acoplado de Elementos de Contorno adaptado al problema que nos ocupa. La misma puede ser consultada en profundidad [6]. Sí se explica, sin embargo, el concepto de rigidez dinámica y se muestra un detalle de la malla de elementos de contorno empleada para su cálculo.

La figura 1 ilustra una configuración usual del problema. Como ya se ha comentado en la introducción, cimentaciones más complejas, como pueden ser aquellas que incluyan pilotes inclinados o con sección variable, no requieren ninguna modificación de la técnica propuesta necesitando únicamente una modificación de la malla de los contornos.

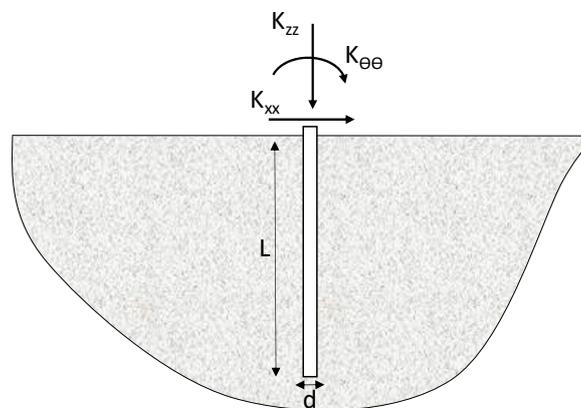


Figura 1: Pilote embebidos en un semi-espacio. Definición de la geometría del problema.

La matriz de rigidez dinámica de un pilote K_{ij} relaciona el vector de fuerzas (y momentos) aplicado a la cabeza del pilote y el vector de desplazamientos (y giros) resultante en el mismo punto. Para una excitación armónica los términos de la rigidez dinámica son funciones de la frecuencia ω de la forma:

$$K_{ij} = k_{ij} + ia_0 c_{ij} \quad (1)$$

Donde k_{ij} y c_{ij} son las rigideces dinámicas y los coeficientes de amortiguamiento, respectivamente, i la unidad imaginaria y a_0 es la frecuencia adimensional dada por:

$$a_0 = \frac{\omega d}{c_s} \quad (2)$$

siendo c_s es la velocidad de propagación en el suelo de la onda de corte y d el diámetro del pilote.

En la figura 2 se pueden apreciar la discretización de elementos de contorno empleadas para calcular la rigidez de un pilote embebidos en un suelo poroelástico. El programa desarrollado incorpora propiedades de simetría, lo que permite discretizar la cuarta parte de la geometría total del problema. A la hora de adoptar los criterios para realizar las discretizaciones (tamaño y forma de los elementos y longitud de la superficie libre) se han tenido en cuenta trabajos previos que estudiaban estos aspectos [7].

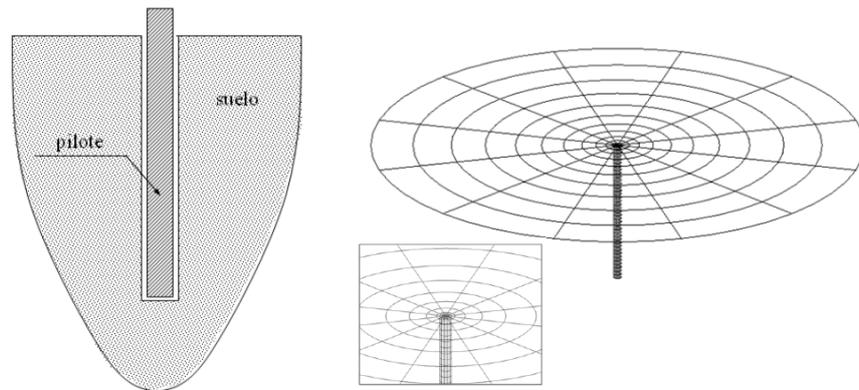


Figura 2: Sistema acoplado pilote-suelo y discretización de elementos de contorno de un pilote simple.

3. Análisis y discusión de resultados

En este apartado se muestran impedancias dinámicas de un pilote simple embebidos en un semi-espacio poroelástico saturado. Las propiedades del medio poroso han sido tomadas de [8]. Los valores adimensionales adoptados, cuya definición figura en la tabla 1, son: $\lambda^* = 1$, $Q^* = 14.33$, $R^* = 7.72$, $\rho_s^* = 1.12$, $\rho_f^* = 0.78$, $\rho_a^* = 0$ y $b^* = 59.30$. La porosidad es $\phi = 0.35$ siendo el coeficiente de amortiguamiento interno del esqueleto $\beta = 0.05$.

Tabla 1: Definición de las variables adimensionalizadas

$$\lambda^* = \frac{\lambda}{\mu} \quad \rho_s^* = \frac{\rho_s}{\rho} \quad \rho_f^* = \frac{\rho_f}{\rho} \quad \rho_a^* = \frac{\rho_a}{\rho}$$

$$Q^* = \frac{Q}{\mu} \quad R^* = \frac{R}{\mu} \quad b^* = \frac{bd}{\sqrt{\mu\rho}}$$

Donde $\rho = (1-\phi)\rho_s + \phi\rho_f$ es la densidad del material homogéneo, μ es el módulo de rigidez transversal del esqueleto sólido drenado y d el diámetro del pilote.

Se considera que los pilotes tienen un comportamiento viscoelástico con propiedades que corresponden a las del hormigón: relación de flexibilidad $E_p/E = 343$ (E = módulo de elasticidad del medio poroelástico drenado), relación de densidades $\rho_p/\rho = 1.94$ (ρ = densidad del material homogéneo), coeficiente de Poisson $\nu_p = 0.2$ y coeficiente de amortiguamiento interno igual a 0. La relación de aspecto de los pilotes es $L/d = 15$. Salvo que se indique lo contrario, se considera que la condición de contacto entre el pilote y el suelo es impermeable.

3.1. Influencia de la flexibilidad del pilote

En la figura 3 se puede ver la influencia de la relación de flexibilidad E_p/E sobre k_{xx} y c_{xx} frente a la frecuencia adimensional a_0 . El análisis se ha realizado para cuatro valores de la relación $E_p/E = 100, 200, 500, 1000$ y dos suelos poroelásticos con $b^* = 0$ (permeabilidad $k \rightarrow \infty$) y $b^* = 5.93$ (diez veces mayor que la que figura en [8]). A la vista de la figura se pueden reseñar algunos aspectos: en todo el rango de frecuencias, tanto la rigidez como el amortiguamiento aumentan cuando se incrementa la relación de flexibilidades E_p/E . Para $b^* = 5.93$ los resultados de la rigidez dinámica (k_{xx}) en todos los casos muestran muy poca dependencia con la frecuencia de excitación a_0 . Únicamente a frecuencias bajas se observa un repentino incremento de la rigidez desde los valores estáticos. Como podrá constatar en figuras sucesivas, la rigidez estática no depende de b^* y es igual a la correspondiente al suelo completamente drenado.

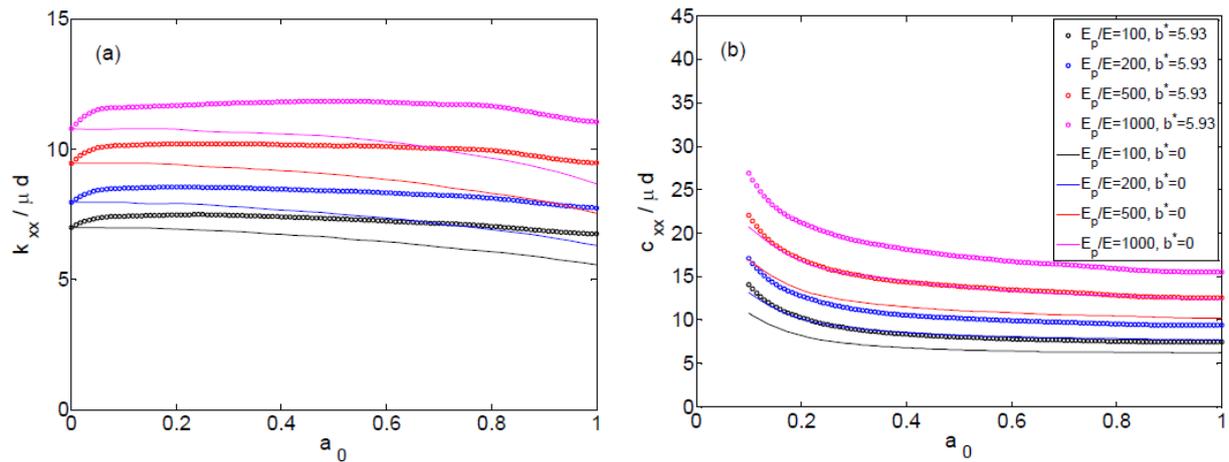


Figura 3: Influencia de la flexibilidad de los pilotes sobre la impedancia horizontal de pilotes simples.

Para el valor límite $b^* = 0$ aparece una importante reducción de la impedancia. Se observa una significativa reducción de la rigidez con la permeabilidad del suelo a medida que se incrementa la frecuencia de la excitación. Este fenómeno es más importante a medida que se incrementa la relación E_p/E . En la sección siguiente, donde se estudia la influencia de la permeabilidad del suelo, se hará nuevamente hincapié en este fenómeno.

También se han obtenido las impedancias dinámicas de pilotes simples con relaciones de aspecto de $L/d = 5, 10$ y 20 para los mismos cuatro valores de la relación E_p/E . Para las relaciones de aspecto $L/d = 10, 15$ y 20 , los resultados arrojan idénticos valores de la impedancia dinámica horizontal para todo el rango de E_p/E . Tan sólo el caso de $L/d = 5$ con valores de $E_p/E = 100, 200$ y 500 presenta alguna diferencia de comportamiento. Esta insensibilidad de la respuesta horizontal por encima de un cierto valor de la esbeltez L_a del pilote (L_a/d) es un fenómeno ya recogido en la literatura. La longitud activa del pilote depende de la relación de rigidez entre el pilote y el suelo y físicamente representa, para pilotes con $L \geq L_a$, que la deformación impuesta a la cabeza del pilote no se trasmite a lo largo de toda su longitud sino hasta profundidades menores a L_a .

3.2. Influencia de la permeabilidad del suelo

Se ha mencionado anteriormente que la constante de disipación b (inversamente proporcional a la permeabilidad k) afecta significativamente a la respuesta dinámica: valores altos de b (como en el caso de arcillas) implica mayor dificultad para que el fluido transite a través del esqueleto sólido comparado con valores bajos de b (caso de arenas sueltas).

Las figuras 4 y 5 muestran respectivamente la impedancia horizontal y vertical de un pilote simple para tres valores de b^* . Nuevamente se observa una reducción tanto de la parte real (rigidez) como de la imaginaria (amortiguamiento) a medida que decrece b^* , es decir, a medida que el suelo se vuelve más permeable.

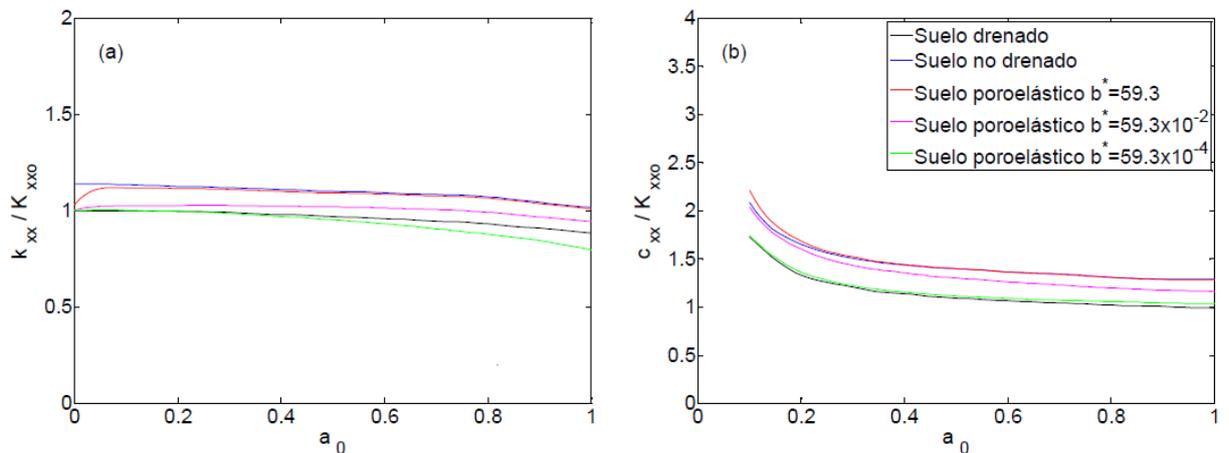


Figura 4: Influencia de la permeabilidad del suelo. Impedancia horizontal.

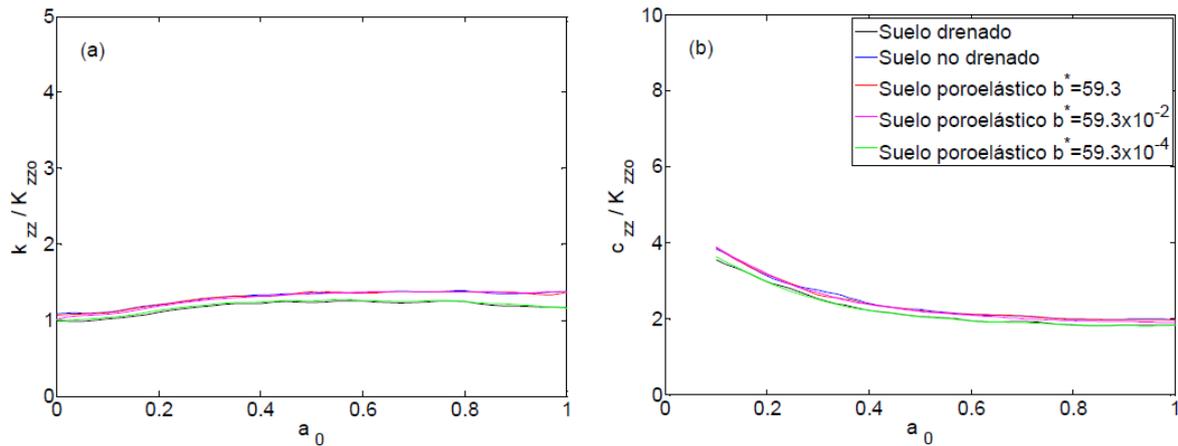


Figura 5: Influencia de la permeabilidad del suelo. Impedancia vertical.

Las figuras también muestran las impedancias correspondientes a los dos casos límites del medio monofásico: suelo elástico drenado y suelo elástico no drenado. Valores altos de b^* causan un comportamiento del medio bifásico próximo al de un suelo elástico ideal no drenado, excepto, tal y como era de esperar, a bajas frecuencias. Para el caso de la impedancia vertical, el medio elástico drenado marca el valor límite hacia el cual el medio bifásico tiende a comportarse a medida que aumenta su permeabilidad. La parte real de la impedancia horizontal (rigidez) cae por debajo del valor correspondiente al medio elástico drenado cuando la permeabilidad del suelo es muy alta, siendo este efecto creciente con a_0 . La explicación de este fenómeno es la siguiente: para el caso de la impedancia vertical y un suelo muy permeable, la carga dinámica axial se trasmite desde el pilote al suelo poroelástico básicamente a lo largo de la superficie de contacto, o sea, a través de las tensiones de cortante en el esqueleto sólido; en estas condiciones el fluido que circula entre los poros apenas proporciona rigidez, comportándose el medio de forma similar a un suelo drenado. Sin embargo en el caso de la impedancia horizontal, la deflexión lateral del pilote trasmite carga sobre las dos fases del terreno, provocando zonas de aumento y disminución en la presión de poro. Esto modifica el comportamiento a diferencia del caso de un suelo drenado.

4. Conclusiones

Se han presentado resultados correspondientes a coeficientes de rigidez dinámica de pilotes embebidos en suelos poroelásticos bifásicos calculados mediante un modelo de elementos de contorno tridimensional.

Los pilotes son modelados como un medio continuo sólido viscoelástico y el medio que lo rodea como un semi-espacio poroelástico saturado de fluido. El método propuesto permite estudiar sin dificultad geometrías más complejas de pilotes y suelos estratificados que incluyan por ejemplo zonas poroelásticas y viscoelásticas. Se han calculado impedancias dinámicas verticales y horizontales de pilotes cilíndricos. Los pilotes se han considerado soldados y los efectos de interacción pilote-suelo han sido tenidos en cuenta a través de las condiciones de equilibrio y de compatibilidad en las interfases. Se han mostrado las impedancias resultantes y se han estudiado la influencia de aspectos tales como: la frecuencia de excitación, la rigidez del pilotes y la permeabilidad del suelo saturado. De todo ello podemos extraer las siguientes conclusiones:

- En los suelos porosos saturados la cimentación presenta un incremento de rigidez con respecto al suelo elástico drenado desde valores muy bajos de la frecuencia. Este efecto es menos apreciable cuando la constante b del suelo disminuye. En el rango de frecuencias estudiado, el incremento de la rigidez relativa pilote/suelo implica un incremento de la impedancia dinámica, independientemente de la permeabilidad del suelo.
- La influencia de la constante de disipación b (dependiente de la viscosidad del medio y de la permeabilidad intrínseca del esqueleto) sobre el comportamiento dinámico de los pilotes es grande al afectar notablemente a las velocidades de propagación de las ondas en el suelo. En general, a medida que aumenta la constante b se obtienen valores mayores de las impedancias dinámicas, tendiendo hacia los valores correspondientes a un suelo ideal elástico no drenado.
- Los suelos porosos muy permeables pueden presentar menores rigideces horizontales que las correspondientes a un suelo ideal elástico drenado. Este efecto no es apreciable en el caso de rigideces verticales.

En conclusión, la simulación del comportamiento dinámico a través de modelos monofásicos drenados o no drenados puede conducir, dependiendo de las propiedades del medio y de la configuración geométrica de la cimentación, a resultados no reales. Cualquier modelo para analizar el comportamiento dinámico de pilotes y grupos de pilotes en suelos poroelásticos debe incluir todos los parámetros del material. La técnica propuesta lo hace y permite una representación más general y versátil que otras existentes.

5. Referencias

- [1] Biot, M. A. (1956). Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid-Saturated Porous Solid. I: Low Frequency Range. *Journal of the Acoustical Society of America*, 28 (2), 168-178.
- [2] Biot, M. A. (1962). Mechanics of Deformation and Acoustic Propagation in Porous Media. *Journal of Applied Physics*, 33, 1482-1498.
- [3] Zeng, X., & Rajapakse, R. K. (1999). Dynamic Axial Load Transfer from Elastic Bar to Poroelastic Medium. *Journal of Engineering Mechanics*. ASCE, 125 (9), 1048-1055.
- [4] Jin, B., Zhou, X. L., & Lu, J. F. (2001). Lateral Dynamic Compliance of Pile Embedded in Poroelastic Half Space. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21, 519-525.
- [5] Wang, J. H., Zhou, X. L., & Lu, J. F. (2003). Dynamic Response of Pile Groups Embedded in a Poroelastic Medium. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 23, 235-242.
- [6] Maeso, O., Aznárez, J. J., & García, F. (2005). Dynamic Impedance of Piles and Groups of Piles in Saturated Soils. *Computers & Structures*, 83, 769-782.
- [7] Vinciprova, F., Maeso, O., Aznárez, J. J., & Oliveto, G. (2003). Interaction of BEM Analysis and Experimental Testing on Pile-Soil Systems. In C. Davini, & E. Viola (Eds.), *Problems in Structural Identification and Diagnostics: General Aspects and Applications (195-227)*. Wien, New York. Springer-Verlag.
- [8] Kassir, M., & Xu, J. (1988). Interaction Functions of a Rigid Strip Bounded to Saturated Elastic Half-space. *International Journal of Solids and Structures*, 24 (9), 915-936.