

CATÁLOGO DE PROYECTOS

CITEEC Investigación e innovación tecnológica 2000 - 2017

Jerónimo Puertas Agudo
Juan Ramón Rabuñal Dopico
Coords.

CATÁLOGO DE PROYECTOS

**Investigación e innovación
tecnológica 2000 - 2017**

Grupos de investigación, empresas y administraciones públicas tienen en el Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Enxeñaría Civil de la Universidade da Coruña un referente en investigación, capacidad científica y calidad en la innovación.



CITEEC

Catálogo de proyectos de investigación e innovación tecnológica (2000-2017)

Jerónimo Puertas Agudo
Juan Ramón Rabuñal Dopico
(coordinadores)

A Coruña 2017

Universidade da Coruña
Servizo de Publicacións

CITEEC. Catálogo de proyectos de investigación e innovación tecnológica (2000–2017)
PUERTAS AGUDO, Jerónimo; RABUÑAL DOPICO, Juan Ramón (coordinadores)
A Coruña, 2017
Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións

N.º de páxinas: 168+DVD
238x338 mm
Índice: pp. 5-8

Depósito legal: C 690-2017
ISBN: 978-84-9749-662-9 (libro+DVD)

CDU: 621/628:001.891“2000/2017”(083.94)
IBIC: TN | TQ | TR | TG | TH | GPS | GPH | GBCR

EDICIÓN

Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións <www.udc.gal/publicacions>

© Universidade da Coruña

© CITEEC (Centro de Innovación Tecnolóxica en Edificación e Enxeñaría Civil)

DISTRIBUCIÓN

Galicia:

- Consorcio Editorial Galego. Av. da Estación 25, 36812 Redondela (Pontevedra)
pedimentos@coegal.com

España e internacional:

- Logística Libromares, S.L. C/ Matilde Hernández 34, 28019 Madrid (España)
pedidos@libromares.com
- Pórtico Librerías. C/ Muñoz Seca 6, 50005 Zaragoza (España)
distribucion@porticolibrerias.es

DESEÑO DA CUBERTA: Julia Núñez Calo

MAQUETACIÓN: Rodi Artes Gráficas S.L.

IMPRIME: Rodi Artes Gráficas S.L.

Reservados todos os dereitos. Nin a totalidade nin parte deste libro pode reproducirse ou transmitirse por ningún procedemento electrónico ou mecánico, incluíndo fotocopia, gravación magnética ou calquera almacenamento de información e sistema de recuperación, sen o permiso previo e por escrito das persoas titulares do *copyright*.

Prefacio	11
Prólogo	13
Laboratorio de Carreteras y Geotecnia	15
• Estudio de los parámetros que caracterizan mecánicamente las mezclas bituminosas recicladas <i>in situ</i> con emulsión asfáltica	17
• Aplicación sostenible de residuos de construcción y demolición en ingeniería civil: capas bituminosas en frío en firmes flexibles de medio/bajo tráfico	18
Laboratorio de Construcción	19
• Aplicación de la metodología de madurez <i>armature.es</i> a la reducción de plazos de construcción de puentes del ferrocarril Eje Atlántico de Alta Velocidad	21
• Validación experimental en planta de prefabricados de un sistema automatizado de control de calidad de vigas pretensadas. Resistencia, ductilidad y longitud de anclaje	22
• Aplicación de la metodología de madurez <i>armature.es</i> a la determinación de plazo de descimbrado de falsos túneles del tramo de Ferrocarril de Alta Velocidad Uxes-Pocomaco	23
• Aplicación de la metodología de madurez <i>armature.es</i> a la reducción de plazos de tesado de los bulbos de los muros anclados de la Autovía UTE Ronda 3 Pocomaco	24
• Aplicación de la metodología de madurez <i>armature.es</i> al estudio de los tiempos de desencofrado de las pilas del viaducto del Ulla en Catoira	25
• Aplicación del método <i>armature.es</i> a la reducción de plazos de prefabricación de las zapatas-columnas pretensadas de las Autopistas Elevadas de Ciudad de México	26
• Estudio de viabilidad de vigas pretensadas de hormigones ligeros. Determinación de su capacidad portante, ductilidad y acotación de las longitudes de transmisión y de anclaje	27
• Valorización de las conchas de bivalvos gallegas en el ámbito de la construcción (BIOVALVO)	28
• Investigación industrial sobre hormigón para un mercado sostenible (INHORMES)	29
• Caracterización de las cenizas de la central térmica de La Pereda (Asturias) como adición en la molienda de cemento	30
• El almacenamiento de los residuos de fuel y su reciclaje como elemento de construcción	31
• Diseño integrado de hormigones de altas prestaciones dirigido al usuario (DIHAPO)	32
• Caracterización de electrodos usuales en la fabricación del silicio metal	33
• Optimización de puntales de edificación	34
• Estudio prenormativo sobre la utilización de los RCDs en hormigón reciclado de aplicación estructural (RECNHOR)	35
• Guía española de áridos reciclados (GEAR)	36
• Desarrollo y mejora de modelos teóricos del hormigón estructural, a partir de su dosificación mediante técnicas de Programación Genética y Redes de Neuronas Artificiales	37
Laboratorio de Hidráulica	39
• Estudio en modelo físico del aliviadero de la presa del Arroyo de las Cuevas	41
• Modelo a escala de la toma inferior de la Central Hidroeléctrica Belesar III	42
• Estudio en modelo físico de la Presa de Brandariz	43
• Estudio en modelo físico, numérico y en campo del funcionamiento hidráulico de una minicentral en el canal de Aragón y Cataluña	44
• Estudio en modelo físico y numérico del tramo inferior del río Mero	45
• Modelo a escala de la toma de la Central Hidroeléctrica Ocaña II	46
• Modelización hidráulica de los nuevos desagües de fondo de la presa de Peares	47
• Estudio en modelo físico de la Presa de Touro	48
• Diseño y ejecución de programa de evaluación y monitoreo de las escorrentías pluviales procedentes de los PK21+745 y PK22+125 del segundo cinturón de Donostia-San Sebastián	49
• Afecciones a la fauna de las aguas de transición de las variaciones de caudal de agua dulce generadas por centrales hidroeléctricas de punta. Medidas paliativas	50
• Modelización hidrodinámica tridimensional. Modelización del flujo en elementos singulares de centrales hidroeléctricas	51

• IberWQ – Herramienta numérica para la simulación 2D de la calidad de aguas en ríos y estuarios. Módulo de calidad de aguas	52
• Iber – Modelo bidimensional para el cálculo del flujo en ríos y estuarios	53
• Iber – Modelo bidimensional para el cálculo del flujo en ríos y estuarios. Módulo de transporte de sedimentos	54
• Caracterización y evaluación de la calidad química del lago minero de Meirama durante el proceso de llenado	55
• Modelo hidrológico e hidroquímico de la subcuenca del arroyo La Parrilla, para la estimación de las aportaciones al hueco minero Cervantes Este (Córdoba)	56
• Análisis de la evolución temporal de la calidad hidroquímica de las aguas de la escombrera exterior de la mina de As Pontes	57
• Estudio de la calidad de las aguas, grado de eutrofización y colmatación del embalse de Abegondo-Cecebre	58
• Estudio hidrogeológico y proyecto de aprovechamiento en la zona próxima del manantial Charca do Alligal	59
• Análisis de la capacidad reguladora del lago minero de Meirama en la cuenca del río Barcés	60
• Caracterización de las cenizas del vertedero de la Central Térmica de As Pontes. Determinación de caudales de lixiviado	61
• Estudio batimétrico y de calidad del agua del Embalse de Eugui. Mancomunidad Comarca de Pamplona	62
• Aprovechamiento geotermal y de balneario del manantial surgente Los Pastoreros en la localidad de Santa Fe (Granada)	63
• Estudio de inundabilidad del río Anllóns y análisis de alternativas de mejora del cauce, Carballo (A Coruña)	64
Laboratorio de Ingeniería Ferroviaria y Transportes	65
• Diseño, construcción y ensayo de un prototipo de vía en placa para túnel	67
Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	69
• Innovación en procesos de depuración de aguas residuales en pequeños núcleos de población: Reactor de biomembrana autoaireado y desinfección con radiación ultravioleta	71
• Evaluación de un proceso de biodiscos de baja carga a escala real para el tratamiento de agua residual doméstica	72
• Seguimiento y control del funcionamiento de la Estación de Depuración de Agua Residual (EDAR) de Dormeá (Boimorto)	73
• Caracterización de los flujos de arenas en la EDAR de Lagares (Vigo), y análisis del rendimiento del desarenador actual	74
• Diseño de una unidad piloto para el tratamiento de aguas de lavado de cubas de hormigón	75
• Asistencia técnica para la identificación, evaluación y seguimiento de los tanques de tormenta, y redacción de un manual de recomendaciones para su diseño	76
• INNDES LASNITRO: investigación de un lecho aireado sumergido como solución de depuración integrada de materia orgánica, nitrógeno y micro-contaminantes	77
• Estudio sobre alternativas de gestión de lixiviados del vertedero de Ourense tras su clausura y sellado	78
• Estudio para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas de escorrentía de viales, integrado dentro del sistema de saneamiento y drenaje de la aglomeración de Ares-Mugardos	79
• Dimensionamiento ambiental de los sistemas de gestión de aguas pluviales del C.M.C.: control en origen y control aguas abajo	80
• Estudio de la tratabilidad del agua residual de la aglomeración de Vigo mediante ensayos de laboratorio y mediciones en continuo	81
• Estudio de biodegradación y parametrización biocinética de las aguas residuales urbanas de A Coruña y su área metropolitana	82
• Asistencia técnica para el apoyo a Inditex en su estrategia global de gestión del agua	83
• Estudio de la generación y de la tratabilidad de las aguas residuales producidas en un tren de laminación de acero en caliente	84
• Análisis de la influencia de los efluentes de la nueva EDAR de Santiago de Compostela sobre el río Sar, mediante un modelo de simulación de la calidad de las aguas	85
• Elaboración de directrices técnicas para obras de saneamiento en pequeñas aglomeraciones en el medio rural de la administración hidráulica de Galicia	86
• Colaboración en la caracterización del estado de la calidad de las aguas y de los sedimentos en el Embalse de Rosadoiro	87
• Modelización y calibración de la Red de abastecimiento de A Coruña – EMALCSA. Optimización del funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua de A Coruña y su entorno	88

Contenidos

• Análisis de las cargas sólidas generadas por escorrentía superficial en las cuencas afectadas por canteras de granito en la localidad de Porriño (Pontevedra)	89
• SOSTAQUA – Desarrollos tecnológicos para un ciclo urbano del agua autosostenible. Línea de trabajo 3 – Valorización de aguas pluviales	90
• ITOHG – Instrucciones Técnicas para Obras Hidráulicas en Galicia	91
• Análisis de la incidencia del sistema de saneamiento y drenaje de Lugo sobre el río Miño en tiempo de lluvia	92
• Establecimiento de secciones de medida de caudal en el sistema de saneamiento de A Coruña. Subcuencas del río Mesoiro y modelización de la cuenca urbana de A Grela	93
• PROMEDSU. Asistencia científico-técnica en “Experiencia piloto de medición y estudio de las descargas de sistemas unitarios (DSU) del alcantarillado a los medios receptores en tiempo de tormenta, en varios municipios españoles”.....	94
• Evaluación de rendimientos de sistemas de control y tratamiento de reboses (SCTR) de alcantarillado en una cuenca de la España húmeda	95
• Caracterización del rendimiento de eliminación de arenas del fango primario de la EDAR de Lagares (Vigo) mediante un dispositivo ciclónico. Primera y segunda fases	96
• Diseño de una tecnología blanda de saneamiento autónomo mixto para su aplicación en Galicia	97
• INNDES LASNITRO: investigación de un lecho aireado sumergido como solución de depuración integrada de materia orgánica, nitrógeno y micro-contaminantes	98
• Evaluación de la composición, caudales y tratamiento de los lixiviados del vertedero sellado de RSU de Lugo	99
• OVALPIPE – Desarrollo de tuberías ovoides para la mejora de la eficiencia de las redes de alcantarillado	100
• OVALPIPE II – Desarrollo de sistemas ovoides mediante la tecnología de la extrusión y sistemas de unión, para la mejora de la eficiencia de las redes de saneamiento	101
• SEDUNIT – Análisis de los procesos de acumulación, erosión y transporte de sedimentos cohesivos en sistemas de saneamiento unitarios	102
Laboratorio de Instrumentación y Sistemas Inteligentes en Ingeniería Civil	103
• Proyecto ToVIAS. Sistema de Visualización, Interacción y Análisis Topográfico 3D	105
• Monitorización, control y adquisición de datos vía radiofrecuencia en la cuenca fluvial del río Umia (Caldas de Reis)	106
• FEVER. Sistema de detección para escala de peces de hendidura vertical mediante técnicas de visión artificial	107
• Detección de peces en aguas turbulentas basada en el análisis de imágenes	108
• VADEMA. Estudio de ensayos de resistencia con técnicas de visión artificial por computador	109
• PREINCO. Programación genética para el flujo de agua y la predicción del transporte de sólidos	110
Laboratorio de Mecánica de Rocas	111
• Caracterización experimental de rocas sello y almacén para un almacenamiento geológico de CO ₂ (I)	113
• Caracterización experimental de rocas sello y almacén para un almacenamiento geológico de CO ₂ (II).....	114
• Caracterización geomecánica de testigos intactos de sondeo	115
• Estudio de permeabilidad de matrices rocosas	116
• Consolidación de arenas a alta P&T en presencia y ausencia de presión de poro. Ensayos edométricos y reactivos	117
• Consolidación de arenas a alta P&T en presencia y ausencia de presión de poro. Emisión acústica	118
Laboratorio de Métodos Numéricos en Ingeniería	119
• Un modelo hiperbólico para el transporte por convección-difusión en CFD	121
• Métodos de alto orden para la Mecánica de Fluidos Computacional	122
• Métodos numéricos de alta precisión para la simulación del flujo en turbomáquinas	123
• Métodos numéricos sin malla en Mecánica Computacional	124
• Un método numérico basado en el análisis isogeométrico para la angiogénesis tumoral	125
• Hacia simulaciones específicas de pacientes y validación de un modelo de angiogénesis tumoral utilizando análisis isogeométrico	126
• Optimización de estructuras de apoyo de líneas de transporte de energía e implementación en un entorno CAD	127
• Restricciones en tensión y minimización del peso: una metodología general para la optimización topológica de estructuras	128
• Cálculo y diseño avanzado de tomas de tierra en subestaciones eléctricas	129
• Un modelo integrado para el análisis a fatiga de firmes flexibles considerando los efectos dinámicos de rodadura	130
• Modelos de simulación numérica para la optimización y el análisis económico en yacimientos de gas no convencional	131

Laboratorio de Puertos y Costas	133
• Ensayo en modelo físico de la 2.ª fase del contradique del Puerto Exterior de Punta Langosteira (A Coruña)	135
• Optimización estructural de la 2.ª fase de la construcción del contradique de Punta Langosteira. Estudio en modelo físico de cubípodos bicapa y monocapa	136
• Estudio en modelo físico de la variante del dique oeste del Puerto Exterior de Punta Langosteira (A Coruña). Optimización de la solución estructural con Blacastar	137
• Estudio integral para el refuerzo del manto de protección del dique de abrigo del puerto de Bermeo (Bizkaia)	138
• Estudio en modelo físico de la nueva configuración del Port D'Aro (Girona). Análisis de agitación portuaria y estabilidad con diferentes piezas de protección	139
• Aplicación combinada de técnicas geomáticas avanzadas y modelización hidrodinámica SPH en la monitorización de diques de abrigo portuarios en talud	140
• Ensayos físicos 3D de morros monocapa de cubípodos	141
• Estudio en modelo físico de la protección de la toma de agua de Gas Natural-Fenosa, y cierre de la explanada de ribera en el Puerto Exterior de Punta Langosteira (A Coruña)	142
• Optimización de la solución estructural de la 1.ª fase de la construcción del contradique y espigón en Punta Langosteira. Estudio en modelo físico de cubípodos monocapa y bicapa	143
• Medición de movimientos y tensiones en los amarres del barco Urania Mella en el Puerto Exterior de Punta Langosteira (A Coruña). Análisis integrado de resultados con la hidrodinámica existente en la dársena	144
• Estudio y transferencia de tecnología en la toma de datos relativos al movimiento de buques en la Dársena de San Diego (A Coruña)	145
• Desarrollo de sistemas de ayuda y transferencia de tecnología en la gestión de las operaciones portuarias dentro del Proyecto Smart Port (A Coruña)	146
• Desarrollo de un modelo de comportamiento dinámico de diques flotantes. Transferencia de tecnología y aplicabilidad en condiciones reales	147
• Análisis hidrodinámico y estructural de los diques flotantes de Marina Coruña	148
• Transferencia de tecnología del estudio hidrodinámico en el modelo físico del SF1000 Marina System International AB Rompeolas Flotante	149
• Estudio del coeficiente de transmisión con ensayo en modelo físico del dique flotante SF600 de SF Marina System International AB	150
• Análisis paramétrico en modelo físico del dique flotante del Porto do Xufre. Optimización del diseño de las líneas de fondeo	151
• Instrumentación en campo de un nuevo modelo de pantalla antioleaje en el Puerto de Cabo de Cruz (Boiro, A Coruña)	152
• Ensayos a escala de un nuevo modelo de barrera antioleaje	153
• Ensayos en modelo físico del dique flotante del Puerto de Aguete (Pontevedra)	154
• Determinación de la erosión máxima en una y dos pilas para Plataforma Offshore en Dahej (India) Ensayo en modelo físico y transferencia de tecnología	155
• Análisis experimental de las variables ambientales y de diseño en vertidos hiperdensos. Optimización del tramo difusor	156
• Determinación del parámetro T90 para la propuesta de tipologías de emisarios submarinos. Aplicación de tecnologías láser en el análisis experimental de la geometría óptima de descarga	157
• Caracterización de tensiones tangenciales y turbulencia en ríos meandriformes. Estudio en modelo físico y modelo numérico	158
Laboratorio de Túnel de Viento para Ensayos Aeroelásticos	159
• Estudio de la excitación por vórtices que produce el viento en un tablero de puente con cajones gemelos	161
• Pasarela peatonal de tipología banda tesa sobre el río Júcar a su paso por Cuenca	162
• Análisis aeroelástico del puente colgante sobre el Estrecho de Messina (Italia)	163
• Ensayos en túnel de viento de tableros de puente con perfil semicircular inferior	164
• Estudio experimental del puente Castilla-La Mancha (Talavera de la Reina) en túnel de viento	165
Estructuras Arquitectónicas	167
• Uniones metálicas encoladas con adhesivos en barras de madera	169



Para conocer la calidad del trabajo de un centro de investigación, no hay mejor tarjeta de visita que una muestra como la que se incluye en este catálogo del Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Enxeñaría Civil (CITEEC) de la Universidade da Coruña.

Desde el año 2000, grupos de investigación de la UDC, empresas y administraciones públicas tienen en este centro tecnológico un referente de prestigio del sistema de investigación e innovación español. El diálogo y la colaboración entre los agentes implicados, reclamado habitualmente para reforzar la capacidad innovadora del país, se plasma en infraestructuras científicas y tecnológicas como las del CITEEC, que proyecta su actividad y su prestigio no solo al entorno socioeconómico más inmediato, sino también al conjunto de España.

Bien mediante la colaboración con empresas del sector de la construcción o con instituciones, bien con proyectos de investigación de base o aplicada, el CITEEC ha acreditado, a lo largo de estos años, los más elevados estándares de capacidad científica y de calidad en la innovación requeridos en retos que, con frecuencia, revisten gran complejidad.

La reciente ampliación de las instalaciones del CITEEC, ubicado en el corazón del campus de A Coruña, ensancha de forma sustancial su abanico de áreas científicas integradas, y su capacidad para transferir resultados de la investigación a las empresas desde cualquiera de sus diez laboratorios especializados.

En la Universidade da Coruña nos sentimos muy orgullosos del prestigio alcanzado por el trabajo del CITEEC a lo largo de estos años, muy bien reflejado en las páginas que siguen.

Julio Abalde Alonso
Rector

Hasta el año 2000 no existía en Galicia, y en algunos aspectos, ni siquiera en España, un laboratorio capaz de acometer de forma satisfactoria ensayos de gran envergadura en Ingeniería Civil, siendo necesario salir de la Comunidad Autónoma de Galicia para la realización de cualquier trabajo científico en esta línea. El **CITEEC** cubre esta laguna y equipara la Universidade da Coruña con otras instituciones, tanto nacionales como extranjeras, en cuyos laboratorios se desarrolla la investigación más avanzada y se obtienen beneficios sociales, técnicos y económicos.

El objetivo del **CITEEC**, desde su fundación, ha sido convertirse en un centro de referencia en el sector de la Ingeniería Civil con importantes actividades de investigación y transferencia tecnológica. En este catálogo se muestra un resumen de los ejemplos más significativos de la actividad realizada en el **CITEEC** desde su creación en el año 2000 hasta la actualidad.

Desde su inicio se han ido obteniendo importantes infraestructuras, destinadas a convertir los laboratorios en espacios singulares de investigación en la mayoría de ámbitos de la Ingeniería Civil: las características de las más relevantes pueden observarse en la página web del centro (<http://www.udc.es/citeec>). Inicialmente, el centro ha ubicado en sus instalaciones 5 laboratorios, que han ido aumentando progresivamente su capacidad y actividad científica a lo largo de estos 17 años. En el año 2008 se decide iniciar un proceso de ampliación de espacio en el centro que permita una mayor capacidad científica de los laboratorios existentes y la creación de nuevos ámbitos de actividad. Este proceso ha finalizado en el año 2016 y el **CITEEC** tiene actualmente diez áreas de actividad, representadas por los siguientes laboratorios:

- **Laboratorio de Carreteras y Geotecnia**
- **Laboratorio de Construcción**
- **Laboratorio de Hidráulica**
- **Laboratorio de Ingeniería Ferroviaria y Transportes**
- **Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**
- **Laboratorio de Instrumentación y Sistemas Inteligentes en Ingeniería Civil**
- **Laboratorio de Mecánica de Rocas**
- **Laboratorio de Métodos Numéricos en Ingeniería**
- **Laboratorio de Puertos y Costas**
- **Laboratorio de Túnel del Viento para Ensayos Aeroelásticos**

Actualmente, el **CITEEC** posee infraestructuras capaces de abordar ensayos de gran envergadura, al nivel de los centros más avanzados de la Unión Europea. Sin embargo, no solo es necesario disponer de infraestructuras singulares en las diferentes áreas de la Ingeniería Civil: el **CITEEC** cuenta además con personal técnico de apoyo y con grupos de investigación de la Universidade da Coruña con una amplia experiencia y excelente producción científica, como se puede comprobar en la actividad reflejada en el presente catálogo de proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica.

Jerónimo Puertas Agudo
Coordinador del CITEEC (2000-2004)

Juan Ramón Rabuñal Dopico
Coordinador del CITEEC (2006-2017)



PROYECTOS

Laboratorio de Carreteras y Geotecnia

Introducción



Una técnica de gran futuro para la conservación de firmes de carreteras es su rehabilitación mediante el reciclado *in situ* en frío con emulsión, debido a sus numerosas ventajas medioambientales y económicas.

Consiste en que una capa de mezcla asfáltica antigua se disgrega, se aportan nuevos materiales (como por ejemplo áridos virgen y rejuvenecedores o modificadores del ligante) y se procede a la mezcla íntima con una emulsión bituminosa.



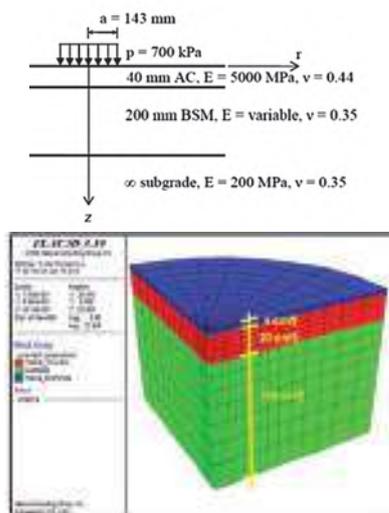
La nueva mezcla tiene que ser homogénea y tratable para su extensión, nivelación y compactación en obra. En la presente investigación se profundiza en el conocimiento del comportamiento mecánico de materiales para mejorar su diseño estructural.

Técnica propuesta

En la presente investigación se ha realizado una revisión bibliográfica de los parámetros que caracterizan el comportamiento mecánico de los reciclados *in situ* con emulsión asfáltica. Así mismo, se han definido los parámetros mecánicos que resultaron más convenientes para su diseño.

Finalmente se ha elaborado un modelo tridimensional en diferencias finitas con FLAC3D, basado en el método discreto clásico (DEM).

Con este modelo se han analizado en la presente investigación una sección de firmes (Ebels, 2008): se ha empleado la técnica del reciclado *in situ* en frío, con emulsión tanto de la capa superficial de mezcla bituminosa como de parte de la capa de base (SBM).



Conclusiones

Para los 4 tipos de material reciclado estudiados, los resultados obtenidos son muy similares, tanto si se emplea el modelo elástico lineal como si se utiliza el elástico no lineal de Hicks o el visco-elasto-plástico para el material reciclado.

De la modelización realizada ha podido observarse que los movimientos y deformaciones en el firme son mayores a medida que se incrementa la temperatura, y que los asentamientos son mayores a medida que disminuye la frecuencia de la carga.

Agradecimientos

Este trabajo se ha financiado mediante convenio entre la UDC y la Universidad Politécnica de Madrid para el proyecto FENIX.

Autores

I. Pérez Pérez (UDC)
L. Medina Rodríguez (UDC)

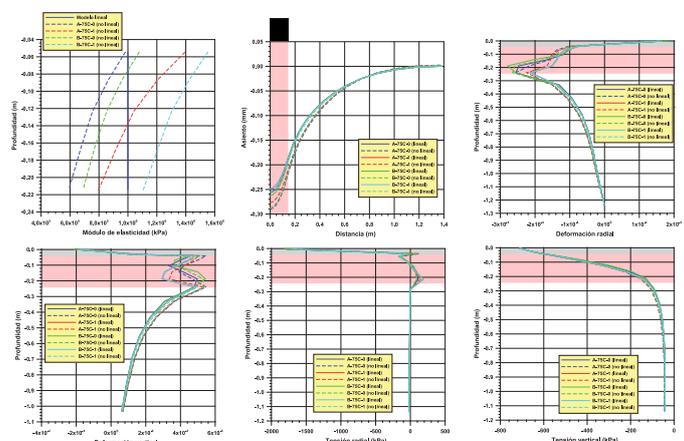
Resultados

Se han empleado los siguientes cuatro tipos de materiales reciclados (SBM) descritos por Ebels (2008):

- **A-75C-0**: 25% de RAP, 0% de cemento, emulsión tipo A utilizada como ligante.
- **A-75C-1**: 25% de RAP, 1% de filler de cemento, emulsión tipo A utilizada como ligante.
- **B-75C-0**: 25% de RAP, 0% de cemento, emulsión tipo B utilizada como ligante.
- **B-75C-1**: 25% de RAP, 1% de filler de cemento, emulsión tipo B utilizada como ligante.

A continuación se representan algunos de los resultados más interesantes de los cálculos llevados a cabo con los 4 tipos de reciclado (tanto con el modelo lineal como con el no lineal).

Por este orden se muestran: leyes de módulos resilientes del reciclado bajo el eje de la rueda, cubetas de asentamientos en superficie, leyes de deformaciones radiales bajo el eje de la rueda, leyes de deformaciones verticales, leyes de tensiones radiales y leyes de tensiones verticales.



Introducción



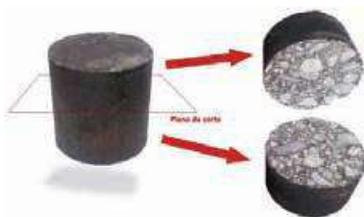
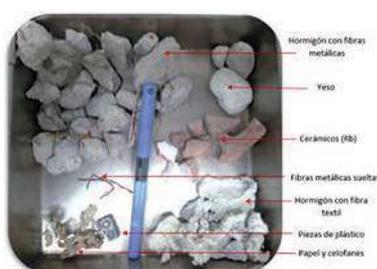
Las mezclas bituminosas en frío han sido consideradas materiales de pavimentación de menor calidad que las mezclas bituminosas en caliente debido a varias razones, como su mayor contenido de huecos de aire y la necesidad de una maduración para alcanzar una adecuada resistencia. Sin embargo, son especialmente aptas para carreteras de bajo/medio tráfico, que habitualmente se encuentran alejadas de las plantas de aglomerado y tienen una mala explanada. Además, presentan ventajas medioambientales como un menor consumo energético. Con el fin de mejorar las prestaciones económicas y medioambientales de este tipo de mezclas, en la presente investigación se estudia el empleo de áridos reciclados para su fabricación.



Materiales y métodos

En la presente investigación se propone el diseño de una grava-emulsión (mezcla densa en frío) GE1 con un 100% de árido reciclado procedente de residuos de construcción y demolición. En la mezcla de control se ha utilizado una corneana (árido de tipo silíceo). Como ligante se ha empleado una emulsión bituminosa catiónica de rotura lenta, con un 60% de betún.

El comportamiento mecánico en fases tempranas del curado se estudió mediante ensayos triaxiales como los de rigidez y deformación permanente (UNE-EN 13286-7). Una vez las probetas alcanzan un nivel avanzado de madurez, otros ensayos como resistencia a tracción indirecta (EN 12697-23), inmersión-compresión (NLT-162), módulo resiliente (EN 12697-26 – Anexo C), módulo dinámico (AASHTO TP 62-07) y deformación permanente (BS DD 226:1996) fueron realizados.



Conclusiones

El hecho de introducir árido reciclado procedente de residuos de construcción y demolición permite obtener mezclas bituminosas en frío más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, sin afectar negativamente a sus propiedades mecánicas y reológicas. En diversos aspectos incluso las mejoran. Sin embargo, implican un contenido de betún ligeramente superior y un diseño más complejo.

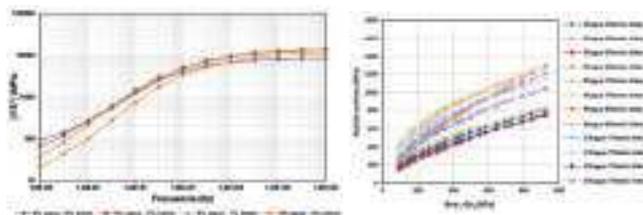
Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (BIA2010-17751) y llevado a cabo a través de la beca FPI (Ref. BES-2011- 044377).

Resultados

Las mezclas en frío con árido reciclado son más resistentes a tracción indirecta que las que solamente contienen áridos naturales. Al incorporar el árido reciclado a las mezclas se consiguió incrementar la resistencia, de 851 kPa a 960 kPa, es decir, un 12,8%.

Las mezclas en frío con árido reciclado se comportan también mejor en condiciones de abundante humedad. En el ensayo de inmersión-compresión, al sustituir el árido natural por el reciclado, se incrementaron las resistencias seca y húmeda un 55,6% y un 35,1% respectivamente. Además, se cumplió con los límites de la ATEB para tráficos T3 y T4, así como del antiguo PG-3 para todo tipo de tráfico. Las mezclas con árido reciclado consiguieron rigideces máximas mayores que con árido natural (hasta superior a 7000 Mpa). No obstante, si así se prefiriese, dicha rigidez podría ser fácilmente reducida limitando simplemente el contenido de ligante. Además, también presentan una mayor estabilidad ante cambios de temperatura, ayudando a prevenir la aparición de deformaciones permanentes a elevadas temperaturas, así como la rotura frágil a bajas temperaturas.



Pese a la gran absorción de agua del árido reciclado, el tiempo de curado completo, tras el que las rigideces dejan de crecer, es el mismo que para mezclas con árido natural (12 meses).

Como efectos negativos, las mezclas con árido reciclado necesitan un contenido mayor de ligante y tienen menor capacidad portante inmediatamente después de su puesta en obra. Su diseño también es más difícil debido a la heterogeneidad del árido.

Autores

I. Pérez Pérez (UDC)
B. Gómez Meijide (UDC)

N. Pérez Barge (UDC)



PROYECTOS

Laboratorio de Construcción

Introducción

Durante la construcción de los tableros postesados de los viaductos de O Marco y Ulló del Eje Atlántico de Alta Velocidad, del tramo UTE Vilaboa (Aldesa y Arias Hermanos), se aplicó un nuevo procedimiento basado en el método de la madurez según la ASTM C1074-2011, denominado *armature.es*.

Los viaductos presentan una sección transversal cajón, y fueron construidos *in situ* mediante una autocimbra inferior, con luces de 60 m.

Investigación desarrollada

Se aplicó el método de la madurez para diseñar la dosificación de hormigón en la planta de hormigón, lo que permitió reducir la cantidad de cemento por metro cúbico en un 10%. La aplicación de esta metodología permitió, además, reducir los plazos de construcción de los viaductos de O Marco y Ulló, del Eje Atlántico de Alta Velocidad, de 72 horas a 36 horas en varias fases constructivas, con la consiguiente reducción de plazos.

Se instrumentó el tablero del viaducto mediante sensores diseñados, contruidos y calibrados en el CITEEC.

Durante toda la construcción de los viaductos de O Marco y Ulló no se produjo ninguna baja de resistencias, ni problemas derivados de la falta de curado del tablero, gracias al compromiso de todos los agentes intervinientes en la obra: dirección de obra, empresa constructora, oficina técnica, plantas del hormigón, laboratorio de control de calidad externo y equipo de *armature.es* (investigadores de la Universidade da Coruña e ingenieros de CIMARQ).

Asimismo, se pudo controlar que la dosificación del hormigón puesto en obra se ajustaba a la fórmula diseñada. Se logró evitar que se produjesen bajas de resistencias durante la construcción.

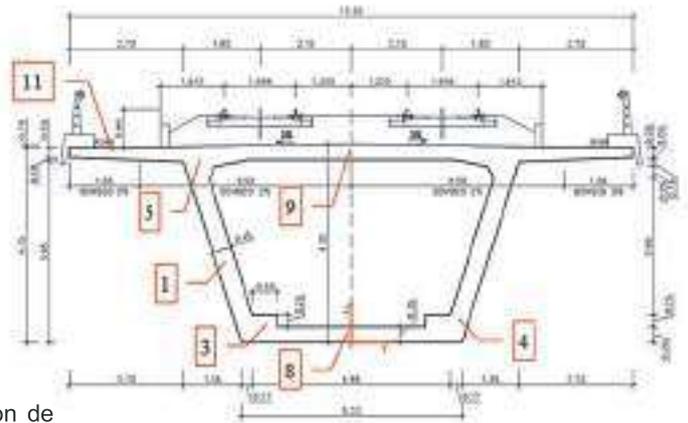
Conclusiones y recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos con el procedimiento *armature.es*, se recomienda controlar las temperaturas internas del hormigón de viaductos, y se propone incluir el método de la madurez en la normativa.

Se sugiere redefinir en la futura normativa el concepto de edad del hormigón, sustituyéndolo por el concepto de índice de madurez o edad equivalente, con el fin de mejorar la seguridad laboral y estructural, y ajustar plazos.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada con el proyecto INCITE: Desarrollo experimental y aplicación en un viaducto de un nuevo método de certificación de la seguridad de estructuras de hormigón, Xunta de Galicia. Referencia: 10TMT049E. Los autores desean agradecer la colaboración de D. Gabriel García Garrido, D. Pedro Rodríguez Geada, D. Luis Baldó Macía, D. Isaac Martín, D. Ricardo Sánchez Bolívar, D. Juan Molina, D.^a Carmen Rama y D. Gonzalo Roibás. Se agradece la colaboración de los becarios de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.



Autores

C. Vázquez Herrero (UDC)
S. Lenguas Gil (Arias Hermanos)

G. Vázquez Herrero (Cimarq SL)
F. Sánchez-Tembleque (CITEEC)

Introducción

El proyecto TECNOVAL (Interconnecta): desarrollo de tecnologías para la valorización de RCDs en aplicaciones innovadoras, incluyó la validación experimental en planta de un sistema automatizado para proyectar, monitorizar a través del método de la madurez y otros ensayos no destructivos (ultrasonidos y esclerómetro), y producir elementos prefabricados con hormigones de áridos reciclados procedentes de la demolición de hormigón de los rechazos en planta.

Se fabricaron e instrumentaron vigas pretensadas de dos tipos de hormigón de alta resistencia: un hormigón convencional de referencia (HC), y un hormigón con áridos reciclados, obtenido reemplazando parte del árido por árido reciclado grueso y fino (HR).

Investigación desarrollada

Se ha desarrollado una metodología para el diseño, monitorización, producción y control de calidad de vigas prefabricadas pretensadas, basada en el método de la madurez y ensayos no destructivos mediante el procedimiento armature.es, desarrollado por investigadores de la UDC y Cimarq SL en proyectos anteriores, e implementado en el presente proyecto.

Se ha aplicado el método de la madurez a las vigas prefabricadas de ambos tipos de hormigón, obteniendo que la energía de activación del HR es un 28% superior a la del HC.

Se ha determinado la edad de transferencia de las vigas de HR mediante la metodología armature.es, estimando la resistencia real en un instante determinado a partir de la monitorización de la temperatura interna del hormigón de varias vigas. Dadas las bajas temperaturas durante la fabricación de las vigas pretensadas (invierno), es preciso esperar un tiempo real de 5 días para que se alcance la edad equivalente de 2 días a 20°C.

Se han ensayado a flexión mediante control de desplazamientos las vigas pretensadas de HC y HR, lo que permitió evaluar su capacidad portante, su ductilidad y las longitudes de transmisión y anclaje. No se tiene constancia de investigaciones previas en las que se hayan instrumentado vigas pretensadas de hormigones reciclados.

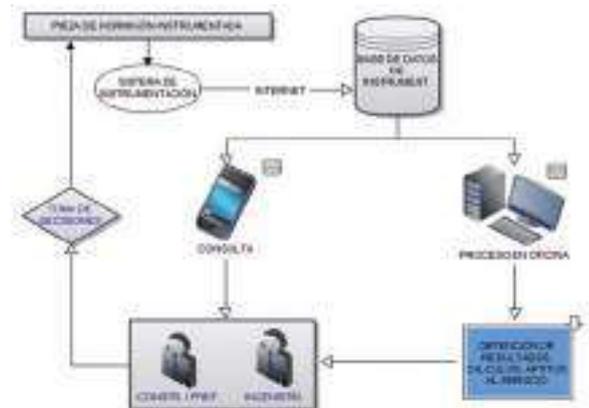
Resultados y Conclusiones

La metodología se ha implementado en una plataforma web para el control de producción de plantas de prefabricados mediante la monitorización remota de las estructuras, aplicando el método de la madurez y otros ensayos no destructivos.

Se ha determinado la ductilidad, capacidad portante y longitud de anclaje de vigas pretensadas de HR con cordón de 13 mm.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada mediante el Proyecto TECNOVAL, Desarrollo de Tecnologías para la valorización de RCD's en aplicaciones innovadoras, programa FEDER-INNTERCONNECTA 2012, CDTI, y mediante el proyecto previo INCITE Xunta de Galicia. Referencia: 10TMT049E. Los autores agradecen a SACYR SAU, CASTELO SOLUCIONES ESTRUCTURALES, PREFABRICADOS FARO SL y CIMARQ SL su colaboración. Se agradece la contribución de EMETEL Sistemas SL. Se reconoce la colaboración de los becarios de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.



Autores

C. Vázquez Herrero (UDC)
I. Martínez Lage (UDC)
J. Eiras López (UDC)

G. Vázquez Herrero (Cimarq SL)
P. Vázquez Burgo (UDC)
F. Sánchez-Tembleque (CITEEC)

Introducción

Durante la ejecución de los falsos túneles del tramo de ferrocarril de alta velocidad entre Uxes y Pocomaco, se aplicó el método de la madurez mediante el procedimiento desarrollado en la UDC en colaboración con Cimarq SL, denominado *armature.es*.

Para ello, se instrumentaron los dos hastiales de un falso túnel mediante sensores de temperatura interna específicamente diseñados en el CITEEC, que fueron previamente calibrados y disponen de una precisión de $\pm 0,9^{\circ}\text{C}$ entre 0°C y 60°C .

Simultáneamente se colocó en las inmediaciones de la obra un *datalogger* para registrar la humedad relativa y la temperatura ambiente.

Investigación desarrollada

Para aplicar el procedimiento desarrollado es preciso disponer varios sensores de temperatura en cada fase de hormigonado de la estructura de hormigón, en el interior y en la superficie de la estructura, para poder identificar y registrar la evolución de temperaturas en las zonas críticas:

- Zonas más frías (de menor madurez y, por lo tanto, menor resistencia)
- Zonas más calientes (de mayor madurez, siempre y cuando no se superen las temperaturas máximas admisibles).

El procedimiento propuesto presenta una importante ventaja respecto al procedimiento de la normativa ASTM C1074-11 y a la formulación de madurez incluida en el Eurocódigo 2: frente al planteamiento de ambas normativas, que contemplan un valor único de la energía de activación para cada dosificación de hormigón, se tiene en cuenta la incertidumbre del valor de la energía de activación para las diferentes propiedades de cada dosificación de hormigón.

Por ello se acota la energía de activación entre un valor máximo y un valor mínimo, lo que permite determinar los plazos de puesta en carga de las estructuras a temprana edad del hormigón, del lado de la seguridad.

Resultados y Conclusiones

Mediante el procedimiento desarrollado, se pudieron reducir los plazos de descimbrado de los falsos túneles en un 35%, lo que condujo a la reducción de plazos y costes de construcción.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada con el proyecto INCITE: Desarrollo experimental y aplicación en un viaducto de un nuevo método de certificación de la seguridad de estructuras de hormigón, Xunta de Galicia. Referencia: 10TMT049E.

Se agradece la colaboración de D. Gonzalo Roibás, de Prebetong, y el apoyo a la ejecución de este proyecto de investigación de D. Sergio Vázquez, jefe de obra del tramo de Ferrocarril de Alta Velocidad entre Pocomaco y San Cristóbal (A Coruña, Galicia, España), UTE Pocomaco (Isolux-Corsán y Aldesa). Se reconoce la colaboración de los becarios de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.



Autores

C. Vázquez Herrero (UDC)
F. Sánchez-Tembleque (CITEEC)
G. Vázquez Herrero (Cimarq SL)

Introducción

Esta investigación se desarrolló durante la construcción de la autovía UTE Ronda 3 Pocomaco, que da acceso al centro comercial Marineda City, con el fin de minimizar la edad de tesado de los anclajes de las pantallas para el paso inferior de la AC-552 en su entronque con la tercera ronda de circunvalación de A Coruña.

El objetivo era conseguir acabar la obra en el plazo fijado para inaugurar el centro comercial Marineda City en la fecha prevista. Para ello se aplicó el procedimiento *armature.es*, basado en el método de la madurez según la ASTM C1074-2011.

Se instrumentaron los anclajes del muro mediante sensores de temperatura diseñados, fabricados y calibrados en el CITEEC.



Investigación desarrollada

El objetivo de la investigación es determinar la edad mínima de la lechada dentro del bulbo de anclaje, necesaria para que su resistencia característica a compresión sea suficiente y se garantice la adherencia bulbo-tirante, según se indica en las "Recomendaciones para el proyecto, construcción y control de anclajes al terreno", y en la "Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera".

Para ello se instrumentó el ambiente y un anclaje en la obra, y se realizaron ensayos de caracterización de la lechada en el laboratorio de construcción, con dos temperaturas de curado, 13°C y 18°C, representativas de la temperatura mínima y de las condiciones. Los procedimientos seguidos han sido diseñados por *armature.es*.

La temperatura registrada *in situ* en la lechada del bulbo de anclaje fue en todo momento superior a 18°C, con lo que la resistencia media real de la lechada del anclaje se aproxima a la resistencia obtenida a partir de los datos del control de calidad para este anclaje.



Resultados y Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos con el procedimiento *armature.es*, se pudo ejecutar el tesado de los anclajes una vez transcurridos tres días desde la inyección de la lechada en el bulbo, una vez se hubo comprobado que los resultados de resistencia de las probetas de control curadas a 20°C proporcionaron valores para la resistencia característica estimada superior a 35 Mpa, cumpliendo las normativas vigentes. Consecuentemente, el centro comercial Marineda City se pudo inaugurar en la fecha prevista.



Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada con el proyecto INCITE: Desarrollo experimental y aplicación en un viaducto de un nuevo método de certificación de la seguridad de estructuras de hormigón, Xunta de Galicia (Referencia: 10TMT049E) y mediante un convenio de la UDC con Cimaraq SL. Los autores desean agradecer la colaboración de D. Sergio Vázquez, jefe de obra de la UTE Ronda 3 Pocomaco, de D. Héctor López Álvarez y de los becarios de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Autores

C. Vázquez Herrero (UDC)
G. Vázquez Herrero (Cimaraq SL)
M. Recarey Buño (UDC)

Introducción

El puente del Ulla cruza el estuario de este río, entre los municipios de Rianxo y Catoira, en la línea de ferrocarril Eje Atlántico de Alta Velocidad. Se trata de un puente singular de 1620 m de longitud, de vanos de 50-80-3x120-225-240-225-3x120-80 metros.

Con esta distribución de luces se consigue salvar el cauce del río Ulla, evitando apoyos en el islote Tellería y en la zona de marismas. El tablero consiste en una celosía metálica de canto variable cuyas cuatro pilas centrales son de hormigón auto-compactante de alta resistencia HA-70/HAC/12/IIIc+Qb.

Metodología

Se ha aplicado el método de la madurez *armature.es* para caracterizar el hormigón autocompactante de alta resistencia de las pilas del viaducto del Ulla en Catoira, con el fin de estimar los plazos de desencofrado de la pila.

Para ello se instrumentó una estructura de prueba, consistente en un tramo de muro del mismo espesor que las paredes de las pilas. En esta estructura se instrumentó la temperatura interna del hormigón mediante sondas PT-100, registrándose además la temperatura ambiente y la humedad relativa del aire mediante *dataloggers*. La temperatura ambiental registrada fue muy baja, descendiendo a valores próximos a los 0°C durante las primeras edades del hormigón, por lo que la prueba realizada es representativa de condiciones invernales.

Aplicando el método de la madurez se obtuvo un plazo de 8 días para que la estructura alcanzase los 30 MPa de resistencia de proyecto, tiempo superior al que proporcionaron las probetas de control de calidad, de 6 días, debido a las bajas temperaturas.

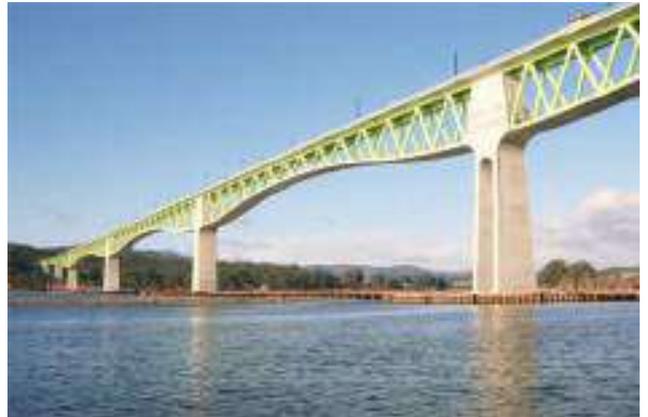
Resultados y Conclusiones

La aplicación del procedimiento *armature.es* a la estimación de plazos de desencofrado de las pilas del viaducto del Ulla en Catoira, ha permitido evidenciar la inseguridad de la normativa europea en condiciones invernales, debido a la reducida resistencia del hormigón en la estructura, respecto a las probetas del control de calidad de la misma edad cronológica. Por ello es preciso introducir en la normativa europea el término *índice de madurez*, en sustitución de la edad del hormigón, para cumplir con los requisitos de seguridad estructural y laboral.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada con el proyecto INCITE: Desarrollo experimental y aplicación en un viaducto de un nuevo método de certificación de la seguridad de estructuras de hormigón, Xunta de Galicia. Referencia: 10TMT049E.

Los autores desean agradecer el sabio asesoramiento de D. Arturo Martínez y D. Gonzalo Roibás. Se agradece la colaboración de los becarios de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. La imagen del viaducto finalizado es propiedad de Construmat (www.construmat.com).



Autores

C. Vázquez Herrero (UDC)
A. Casal Rey (UDC)

G. Vázquez Herrero (Cimarq SL)
G. Roibás (Prebetong)

Introducción

El objetivo de la investigación es optimizar la producción de las zapatas-columnas prefabricadas pretensadas de los Segundos Pisos de Ciudad de México. Estas autopistas se construyen mediante viaductos prefabricados de varios kilómetros de longitud. En este proyecto se aplicó el método de la madurez (*armature.es*). Para ello se estudia el efecto combinado del tiempo y de la temperatura en la evolución temporal de las propiedades mecánicas del hormigón autocompactante de alta resistencia de las zapatas-columnas.

El análisis estadístico de los resultados obtenidos por investigadores del grupo MODES ha permitido obtener nuevas formulaciones de madurez, con lo que se podrá establecer el método de curado y la edad de transferencia mínima.

Investigación desarrollada

Se ha aplicado el método *armature.es* en las autopistas elevadas de México DF, mediante la instrumentación de varios modelos a escala, posteriormente ensayados en el IIUNAM frente a cargas laterales. También se instrumentó una zapata-columna de 18 metros de altura durante su fabricación, y hasta los 28 días de edad, cuando se extrajeron y ensayaron testigos de la misma.

Mediante un estudio estadístico de los resultados se han obtenido nuevas funciones de resistencia frente a tiempo y temperatura interna para las tres dosificaciones de hormigón.

A pesar de las elevadas temperaturas internas alcanzadas en la zapata-columna, de hasta 90°C a las ocho horas del hormigonado, los testigos extraídos y ensayados a 28 días han proporcionado una resistencia similar a la de las probetas de control, de 60 Mpa, con lo que se cumple la resistencia de proyecto. El plazo para el que se alcanza el 80% de la resistencia de proyecto, que es la resistencia exigida para poder transferir el pretensado a las zapatas columnas es de un día, para una temperatura de curado de 60°C.

La resistencia a largo plazo a 90°C no supera el 60% de la resistencia de proyecto. Por ello, se recomienda intentar reducir la temperatura interna del hormigón de la zapata-columna durante su curado a 60°C, a fin de evitar mermas de resistencia largo plazo. En este caso, la edad de transferencia se podría mantener en un día.

Resultados y Conclusiones

Se han obtenido criterios de producción de las zapatas-columnas basados en el método de la madurez, que reducen el coste de producción manteniendo los plazos. Concretamente, se recomienda transferir tras un día de curado mediante riego.

Agradecimientos

La investigación desarrollada fue posible gracias a la financiación del Fondo de Colaboración Internacional del Instituto de Ingeniería de la UNAM, Proyectos de Colaboración Internacional, Convocatoria 2012, a la Universidade da Coruña y al proyecto INCITE10TMT049E de la Xunta de Galicia, España, concedido a la empresa CIMARQ y a la Universidade da Coruña. Los autores desean expresar su agradecimiento a los ingenieros D. José María Riobóo, D. Gregorio Aguilar, D. Gerardo Báez, D.^a Irene Gancedo y D. Javier Rodríguez Fernández, por su apoyo a la investigación.



Autores

C. Vázquez Herrero (UDC) J. Vilar Fernández (UDC)
C. J. Mendoza (IIUNAM) R. Meli Piralla (IIUNAM)
C. Aire Untiveros (IIUNAM) F. Sánchez-Tembleque (CITEEC)

Introducción

El empleo de hormigones ligeros de alta resistencia permite la reducción del peso propio de las vigas pretensadas con sección transversal cajón de los tableros de puentes, lo que posibilita la prefabricación de vigas de mayor longitud que las actuales empleando cordones de 15 mm de diámetro. Actualmente el elevado peso de estas estructuras, que puede superar 200 T, limita su longitud y, consiguientemente, la longitud de vano a salvar.

La viabilidad de prefabricación de estas estructuras está condicionada por la ausencia de fisuración que comprometa su durabilidad y capacidad portante, y por el comportamiento de los extremos, concretamente por la longitud de transmisión y anclaje de los cordones de 15 mm de diámetro.

Investigación desarrollada

Esta investigación inauguró el laboratorio de construcción del CITEEC. Para llevarla a cabo se diseñaron dispositivos y equipos de ensayo a flexión de vigas pretensadas. También se diseñó y construyó una bancada de pretensado portátil, convertible en dos pórticos de ensayo de adherencia, objeto de una patente de la UDC.

Las vigas pretensadas se instrumentaron durante su fabricación en una planta de prefabricados de Outeiro de Rei, mediante galgas extensométricas, transductores de desplazamiento y células de carga dispuestas en los anclajes de los cordones de pretensado. Se midieron las longitudes de transmisión mediante extensómetros Demec, y se instrumentó el *draw-in* de los cordones de pretensado durante la transferencia, así como las contraflechas de las vigas.

Las vigas fueron ensayadas a flexión para evaluar su capacidad portante, comparándola con la de vigas del hormigón convencional de alta resistencia empleado habitualmente en fábrica. Se estudió la ductilidad de las vigas y se acotó su longitud de anclaje.

Resultados y Conclusiones

Los resultados obtenidos desaconsejan el empleo de hormigones ligeros para la producción de vigas prefabricadas pretensadas de armadura pretesa con cordones de 15 mm, para las dosificaciones ensayadas, debido a la fisuración por hendimiento que experimentaron todas las vigas de este material, lo que limita la durabilidad y reduce la capacidad portante a largo plazo de las vigas de este material.

La tesis doctoral defendida a partir de los resultados obtuvo el premio extraordinario de doctorado, dio lugar a patentes, artículos internacionales y proyectos de investigación en España y México (UNAM), y a dos tesis doctorales posteriores.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada con el convenio "Investigación sobre hormigón ligero estructural: caracterización mecánica, estudio previo sobre durabilidad y determinación de las condiciones de adherencia con la armadura activa", firmado entre la Fundación de la Ingeniería Civil y Pacadar Noroeste. Se agradece el sabio asesoramiento de D. Arturo Martínez y D. Marcos Fernández. Se agradece el excelente trabajo de los técnicos D.ª María Recarey y D. Gonzalo Álvarez, así como la colaboración de los becarios de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.



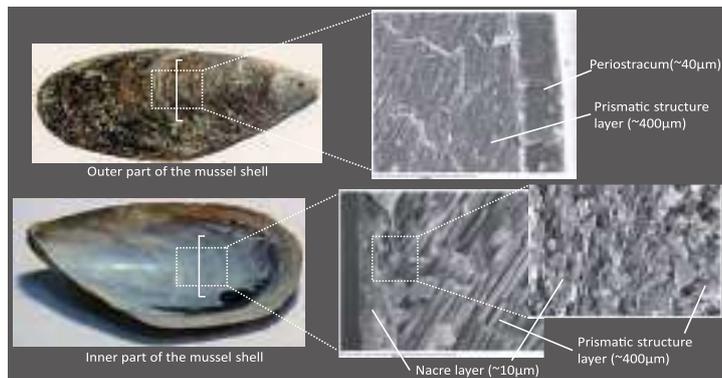
Autores

F. Martínez Abella (UDC)
H. Vázquez Vázquez (Cimarq SL)
G. Álvarez Iglesias (CITEEC)

C. Vázquez Herrero (UDC)
J. Rabuñal Dopico (CITEEC)
M. Recarey Buño (UDC)

Introducción

Este proyecto pretende desarrollar y valorar ambientalmente las aplicaciones más adecuadas para la utilización de un árido compuesto por concha de moluscos bivalvos. La producción en Galicia de mejillón es de unas 227229 T al año (2012), lo que posiciona a nuestra comunidad autónoma como el mayor productor europeo y el tercero del mundo, solo por detrás de China y Tailandia. Gran parte de estos moluscos se destinan a conserva (el 35%), y de ellos se obtienen unas 25000 toneladas de residuos (conchas) cada año.



Actividades realizadas

El proyecto afronta la utilización de las conchas una vez tratadas térmicamente y trituradas a diferentes tamaños (gravilla y arena). En su uso como árido ligado de morteros (con cemento, cal o arcilla, ligantes acordes con los principios de bioconstrucción), hormigones (orientado al uso en cimentaciones y zonas portuarias) y también mezclas bituminosas. En el caso del uso no ligado, las conchas machacadas se emplean como áridos para aislamiento térmico y acústico (de modo comparable a sistemas de aislamiento comerciales como la arcilla expandida o la madera ligera), drenajes y capas de firme no ligadas. El enfoque sostenible de las aplicaciones de proyecto hace relevante el análisis completo del ciclo de vida y la evaluación de la huella de carbono de los productos obtenidos.

Los nuevos productos se estudian a diferentes escalas. En primer lugar se investiga el material aislado (unidad básica). Este paso permite preseleccionar, de entre todos los examinados, los materiales más prometedores. Luego se pasa a la fase que estudia prototipos de laboratorio. El último paso consiste en la aplicación *in situ* con objeto de demostrar la viabilidad de la utilización de los productos desarrollados. La aplicación más interesante es el módulo experimental temporal situado en una parcela anexa a las huertas universitarias del Campus de Elviña de la UdC.

Esta construcción de 40 m² útiles se ha diseñado bajo criterios de Bioconstrucción. El hormigón de las zapatas de su cimentación utiliza arenas y gravillas de mejillón, y la capa granular de base (relleno de mejillón) aprovecha la capacidad drenante y de aislamiento térmico de la concha de mejillón. Los muros son de madera, con relleno granular de concha de mejillón y con revestimiento de mortero de cal y barro que incluye arena de mejillón. Por último, la cubierta incorpora un aislamiento de mejillón.



Objetivos

- Estudio de uso de las conchas como árido en aplicaciones ligadas: morteros, hormigones y mezclas bituminosas.
- Estudio del uso de las conchas como árido no ligado: machacadas como áridos para aislamiento térmico y acústico, drenajes y capas de firme no ligadas.
- Análisis de ciclo de vida de los productos obtenidos.



Conclusiones

Con el módulo construido se ha corroborado el comportamiento de los materiales diseñados. Este módulo utiliza concha de mejillón en su cimentación (zapatas y soleras de hormigón, y capa granular aislante), en sus muros (relleno aislante granular y morteros de revestimiento) y en su cubierta (relleno aislante granular). La instrumentación instalada permite medir la temperatura y la humedad, interiores y exteriores, en múltiples puntos.



Autores

B. González Fonteboa (UDC)
D. Carro López (UDC)
F. Martínez Abella (UDC)

C. Martínez García (UDC)
G. Seara Paz (UDC)
J.L. Pérez Ordóñez (UDC)
M. Recarey Buño (UDC)



Introducción

Este proyecto se centra en el diseño integral de un hormigón autocompactante reciclado (HACR), cuyo uso contribuirá a aumentar la competitividad y mejorar la sostenibilidad del sector productivo.



Actividades realizadas

- En la primera actividad del proyecto, "Diseño de hormigones sostenibles", se han llegado a establecer las posibilidades del HACR. Además, el uso del reómetro se ha revelado como una herramienta eficaz y sencilla para el control de la trabajabilidad y la robustez de las mezclas autocompactantes.
- La segunda actividad, "Comportamiento estructural durante la vida útil", ha permitido la creación de una base de datos en hormigón reciclado estructural. El tratamiento de esta base de datos ha permitido establecer patrones de comportamiento en estado endurecido de los hormigones reciclados hasta el 100% de sustitución. Para lograr este objetivo se han empleado dos técnicas, la regresión y una técnica de Computación Evolutiva, la Programación Genética. La base de datos también se ha utilizado para realizar un análisis exhaustivo sobre las propiedades de los áridos reciclados empleados en la fabricación de hormigón reciclado estructural, estudiándose las relaciones que se puedan producir entre ellas.
- Con la tercera actividad, "Comportamiento en el proceso de fabricación de la estructura", se ha propuesto como procedimiento adecuado para el control de calidad del HACR en estado fresco la realización de los siguientes ensayos: un *stress growth test*, un *flow curve test* y un ensayo del escurrimiento (empírico).
- La cuarta actividad, "Desarrollo de un sistema de análisis de reología", ha convergido en el desarrollo de un dispositivo propio de control de las propiedades reológicas del HACR (reómetro ATI) llegando a la conclusión de que este nuevo reómetro diseñado puede utilizarse para la medida de la reología del hormigón, arrojando resultados comparables a los de los reómetros comerciales.
- En la última actividad, "Aplicación en prototipos", se ha realizado el diseño y cálculo de un prototipo de muro. Para el diseño de la dosificación, procedimiento de fabricación del hormigón, dimensionamiento y control de calidad, se han utilizado los resultados obtenidos en el resto de actividades.



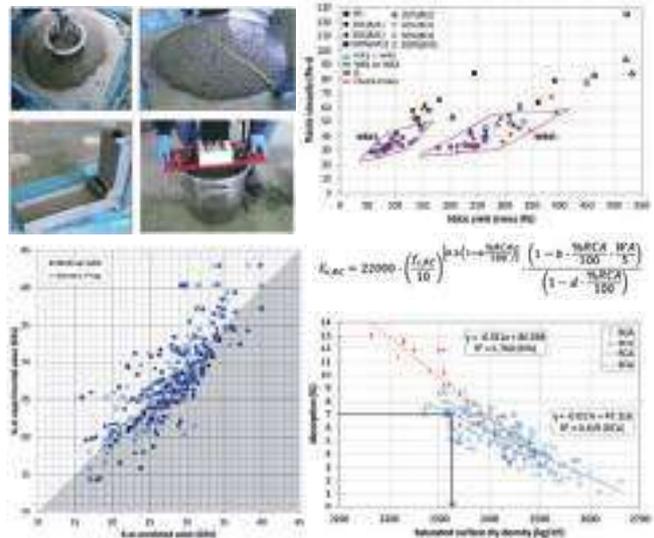
Autores

B. González Fonteboa (UDC)
F. Martínez Abella (UDC)
I. González Taboada (GCONS)

J.L. Pérez Ordóñez (UDC)
D. Carro López (UDC)
G. Rojo López (GCONS)
M. Recarey Buño (UDC)

Objetivos

- Desarrollo de un procedimiento que permita el diseño de dosificaciones y de procedimientos de fabricación de hormigón autocompactante reciclado.
- Creación y tratamiento estadístico de una base de datos en propiedades mecánicas del hormigón reciclado vibrado, que permitirá establecer coeficientes de corrección a las expresiones de diseño de hormigón estructural normativas que incluyan el uso de hormigones reciclados que incorporan áridos procedentes de residuos de construcción y demolición.
- Desarrollo de procedimientos de control del hormigón autocompactante reciclado en estado fresco, planteándose adicionalmente el desarrollo de un dispositivo propio de control de estas características (reómetro).



Conclusiones

Con los conocimientos y procedimientos obtenidos tras la realización del proyecto InHorMeS, se está en condiciones de obtener dosificaciones robustas de hormigón autocompactante y, especialmente, autocompactante reciclado. Se ha avanzado en el desarrollo de un nuevo material de construcción sostenible que proporcionará una gran ventaja competitiva.

En segundo lugar, se ha puesto de manifiesto la bondad de los procedimientos de control de estos hormigones a través de la reología durante el hormigonado. El análisis del comportamiento en fresco del hormigón autocompactante en general y del autocompactante reciclado en particular es complejo, requiriendo de numerosos ensayos empíricos. El poder contar con un procedimiento de control que permita reducir el número de ensayos y, a la vez, conocer en profundidad el comportamiento en fresco de estos hormigones, supone una gran ventaja comercial.

Finalmente, el desarrollo de un equipo comercial para la obtención de las características reológicas del hormigón (reómetro) ha corroborado la importancia que tiene que los reómetros lleguen a ser equipos de uso cotidiano y normal en las centrales de hormigonado y en las obras que hagan uso de hormigones autocompactantes, tanto reciclados como convencionales.

Introducción

El uso de carbón para la producción eléctrica produce una cantidad de cenizas variable según la naturaleza, proveniencia, tipo, etc. del carbón. Estas cenizas de central térmica se pueden utilizar como adición en la fabricación de cemento. Esto produce importantes ventajas, dado que estas adiciones poseen actividad puzolánica (reaccionan con la portlandita formando silicatos) o actividad hidráulica (endurecen en contacto con el agua) aportando, de una u otra forma, resistencia a los cementos, lo que permite reducir el contenido de clínker de estos.

La utilización de cenizas permite reducir el coste en la fabricación del cemento pero también reduce en menores consumos de energía por tonelada de cemento y en una importante reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero.

La normativa de cementos (EN 107-1) limita el uso de las cenizas que provienen de centrales de lecho fluido como la de La Pereda, de este modo, aunque el origen y formación de las cenizas es similar a las de otras centrales térmicas, se desconocía si las cenizas estudiadas en este proyecto se podían utilizar para la producción de cemento.



Actividades realizadas

Este proyecto busca determinar si es posible incorporar a la fabricación de cementos las cenizas volantes y de fondo de la central de lecho fluido de La Pereda. Para ello se realizaron las siguientes tareas:

FASE-1.- Cenizas. Caracterización física y química: en esta primera fase se determinaron de manera precisa las características físicas y químicas de ambas cenizas.

FASE-2.- Cementos: Caracterización física, química y mecánica: en la segunda fase, se obtuvieron cementos mezclando las cenizas caracterizadas con el cemento CEM I 52,5 R en porcentajes del 10%, 20% y 40%, obteniéndose así un total de seis cementos con adición de ceniza. Como patrón de referencia se utilizaron tres cementos comerciales. Sobre los nuevos cementos se realizaron los pertinentes ensayos de caracterización física, química y mecánica, comparándose los resultados obtenidos con los de los cementos comerciales que también fueron caracterizados. Las cenizas aportan capacidad resistente a los cementos, lo cual permite reducciones de clínker de hasta un 40% en peso.

FASE-3.- Hormigón: Caracterización del hormigón fresco y del hormigón endurecido. Durabilidad: finalmente se abordó la última fase, la FASE 3, en la que se pretendió determinar el comportamiento en durabilidad de los nuevos cementos. Para ello se diseñaron hormigones que incorporaban los nueve cementos del estudio. El estudio de la durabilidad se abordó mediante los ensayos de absorción y permeabilidad. Adicionalmente se determinaron las propiedades básicas de los hormigones: consistencia, resistencia a compresión y resistencia a tracción.



Objetivos

- Con espíritu medioambiental aunque sin perder de vista el factor económico el proyecto pretende conocer el comportamiento de las cenizas Volantes y cenizas de Fondo obtenidas en una central de lecho fluido. Se busca estudiar el comportamiento de los cementos que emplean como adición estas cenizas de subproducto de una central de lecho fluido.
- Por último se realiza la comparación del comportamiento de los cementos obtenidos con estas nuevas adiciones con el comportamiento de cementos normativos comerciales, determinando su validez o ajuste a la correspondiente Norma Europea de Cemento UNE-EN 197-1:2000.



Conclusiones

Las cenizas volantes y de fondo utilizadas en este estudio cumplen todos los requisitos recogidos en la norma EN 197-1 para cementos comunes, excepto un valor levemente elevado de calor libre que puede ser corregido en la propia central térmica.

Adicionalmente, los cementos fabricados con estas nuevas cenizas cumplen todos los requisitos establecidos en la norma EN 197-1 de Cementos Comunes, pudiendo calificarse según esta.

Por último, los hormigones fabricados con los nuevos cementos presentan un comportamiento adecuado en las características que se han evaluado en este estudio.

Autores

B. González Fonteboa (UDC)
D. Carro López (UDC)
F. Martínez Abella (UDC)

Introducción

El Prestige vertió 63.000 T de fuel pesado frente a las costas gallegas en una de las peores mareas negras acaecidas en Europa. Las tareas de recuperación de residuos se realizaron de manera diferente en el mar y en la costa. En el mar se recuperó una emulsión de agua y fuel; sin embargo, en el litoral, dada la extensión del vertido y la necesidad de trabajo manual, el residuo producido era una mezcla de fuel, agua, arena, rocas, bolsas plásticas, herramientas de limpieza, etc. De este modo, aunque solo se recuperaron 45.000 T de fuel, la cantidad de residuos generada fue de aproximadamente 171.000 T.



Actividades realizadas

Se planteó el tratamiento de los residuos mediante estabilización: en este sentido, se ha desarrollado una metodología de estabilización que utiliza no solo cal viva, sino también serrín de granito, un subproducto del corte de piedra. Gracias a la sustitución de parte de la cal por serrín de granito se mejora el proceso de mezcla y se abaratan significativamente los costes de estabilización. La proporción de mezcla más adecuada es una de 30% de residuo de fuel, 35% de cal viva y 35% serrín de granito. Con estas proporciones se obtiene un residuo sólido de textura pulverulenta que puede ser fácilmente manipulado.

Tras el proceso de estabilización el residuo es sólido y presenta unas características geotécnicas aceptables. Además, en virtud de los ensayos de lixiviación, podría recibir la clasificación de residuo no peligroso, según la legislación vigente. Por tanto, sería posible construir un vertedero para el depósito definitivo del residuo estabilizado.

Se ha considerado también la utilización del residuo estabilizado como árido para mortero de cemento. No porque el fuel mejore sus propiedades, sino como una vía para el reciclaje del residuo. En el contexto de este trabajo hemos conseguido fabricar morteros con residuo estabilizado como árido, incorporando hasta un 12% de fuel en masa. La inclusión del fuel perjudica los parámetros resistentes, aunque mejora su resistencia al hielo-deshielo.

La calidad de los morteros con fuel es aceptable para diversas aplicaciones. Esto combinado con una buena resistencia a la helada posibilitaría su utilización en elementos prefabricados no estructurales como, por ejemplo, los destinados a tráfico ligero, tales como adoquines prefabricados.

Autores

D. Carro López (UDC)
B. González Fonteboa (UDC)
F. Martínez Abella (UDC)

J. Delgado Martín (UDC)
R. Juncosa Rivera (UDC)
V. Barrientos Rodríguez (UDC)
A. Vázquez González (UDC)



Objetivos

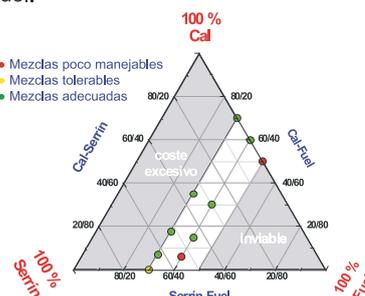
- El objetivo de esta investigación es encontrar soluciones para el tratamiento y gestión del residuo generado por el vertido del Prestige. Se trata de un residuo muy heterogéneo que presenta, además, una textura líquido-viscosa. Esta última propiedad imposibilita su vertido directo por prohibición expresa de la Directiva 1999/31 de vertederos.
- En esta investigación se ha trabajado en un proceso de estabilización que permite solidificar el residuo de fuel del Prestige, de forma que pueda ir a vertedero. Una vez conseguido esto, se abrieron dos ramas en la investigación. Por un lado, determinar la viabilidad del depósito definitivo en vertedero del residuo estabilizado y, por otro, el reciclaje del residuo estabilizado mediante su inclusión en materiales de base cemento.



Conclusiones

El procedimiento de estabilización permite transformar el residuo de fuel en un material seco, no viscoso y de grano fino. Tras esto, el fuel libera las sustancias espurias que contiene, tales como plásticos, piedras, etc. Por tanto, aplicando un tamizado tras la estabilización, es posible separar las fracciones del residuo.

Se ha demostrado la viabilidad del reciclaje de los residuos procesados en morteros y hormigones. Esto demuestra que se puede reciclar toda la arena contaminada, dado que tiene menor contenido de fuel.



Introducción

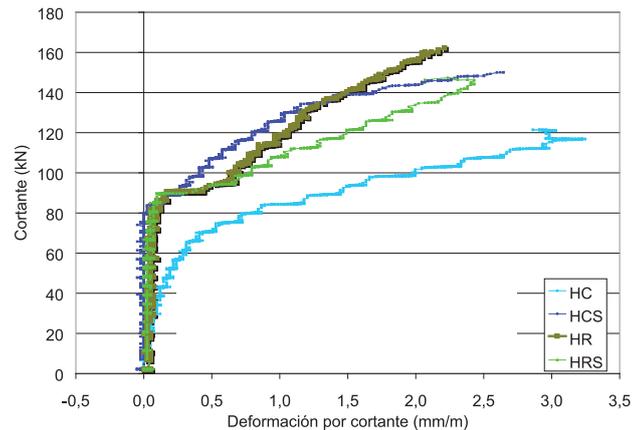
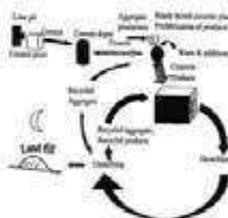
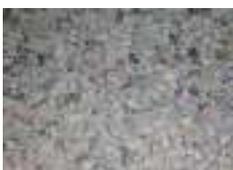
En este proyecto se ha pretendido avanzar en la línea de los hormigones de altas prestaciones, pero aceptando como único planteamiento el que se ha dado en llamar integrado. Tal planteamiento exige tener en cuenta el Análisis Ciclo de Vida de los materiales en todas las etapas, incluida la desconstrucción y reintegración. Por otra parte, se han considerado aquellos materiales que, cumpliendo una clara función medioambiental, permitan mejorar las prestaciones de nuestros hormigones.



Actividades realizadas

Los trabajos realizados fueron los siguientes:

- **FASE-0:** en esta fase se procedió a la selección de los diversos materiales. Se seleccionaron los áridos, convencionales y reciclados, la adición, el aditivo y el cemento. Se determinaron las características fundamentales de todos ellos.
- **FASE-1:** en esta fase se ajustaron dosificaciones de los distintos hormigones a estudiar, esto es, convencional (HC), convencional con sílice (HCS), reciclado (HR) y reciclado con sílice (HRS), con objeto de fabricar mezclas para realizar ensayos de caracterización (probetas cúbicas y cilíndricas). Se procedió a la caracterización y establecimiento de comparaciones entre los diferentes hormigones (HC, HCS, HR y HRS) según los objetivos establecidos.
- **FASE-2:** durante esta última fase se fabricaron, utilizando los hormigones de la FASE-1, vigas de sección rectangular con diferentes cuantías de armadura transversal para su ensayo hasta rotura. El dimensionamiento de dichas vigas fue tal que la rotura debía producirse por agotamiento de la resistencia a cortante. De esta forma se permite el estudio y comparación de las distintas normativas y teorías planteado en los objetivos del trabajo.



Objetivos

- Caracterizar el comportamiento de la microsíllice como adición (especial énfasis en la microsíllice de origen gallego) y el árido procedente de residuos de construcción y demolición en dosificaciones de hormigón (fracción gruesa).
- Caracterizar el comportamiento a cortante en elementos de hormigón con microsíllice y árido reciclado.



Conclusiones

Los áridos reciclados utilizados presentaron propiedades físicas aceptables (diferencias por disminución de densidad y aumento de absorción).

Los hormigones con áridos reciclados en porcentajes superiores al 20% presentaron un deterioro de las propiedades tanto en estado fresco como en estado endurecido.

En lo que se refiere al comportamiento estructural, en las vigas con áridos reciclados la fisuración tiene lugar en estadios anteriores de carga (respeto a carga última); sin embargo, la rotura se ve poco influenciada por la presencia del árido.

Las deformaciones y flechas de las vigas con árido reciclado se incrementan ligeramente debido a la mayor deformabilidad de los hormigones reciclados.

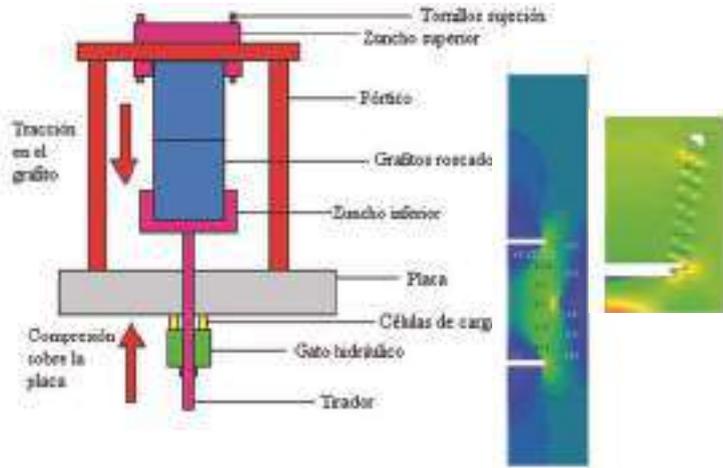
Finalmente, se constató el efecto beneficioso del humo de sílice (efecto puzolánico frente al aumento de la compacidad), tanto a nivel de material (hormigón) como a nivel estructural (vigas).

Autores

B. González Fonteboa (UDC)
F. Martínez Abella (UDC)
M. Herrador Barrios (UDC)

Introducción

En este proyecto se ha pretendido realizar diversos ensayos que pueden ayudar a conocer el comportamiento estructural del electrodo de grafito y del niple de unión, buscando alternativas en otros materiales.



Actividades realizadas

Los trabajos realizados fueron los siguientes:

- Caracterización del material: ensayos de rotura a compresión y determinación de módulo de deformación y ensayos de rotura a tracción (método brasileño) en piezas de grafito.
- Ensayos sobre dos electrodos de grafito de 1 m de longitud conectados a través de un niple. Se realizaron tres ensayos en los que fueron introduciéndose pequeñas variaciones.
- Ensayos sobre electrodos de carbón cocido de 1 m de longitud conectados a través de un niple, y anclados en sus extremos mediante tornillos en los dos primeros ensayos y por cuñas en el tercero.
- Ensayos sobre barras de acero.



Objetivos

- Caracterización del material y del comportamiento a tracción y flexión de electrodos de carbón cocido y grafito.
- Desarrollo de nuevos electrodos en la fabricación del silicio metal. Validación de modelos matemáticos.



Conclusiones

Los ensayos permitieron seleccionar los materiales y geometría de mayor eficiencia, y diseñar las uniones en los electrodos de fabricación de silicio metal.

Plano de distancias entre centros

Plano de situación de células de carga con respecto al centro del Carbón 3



Medidas en centímetros.

Líneas verdes corresponden a ejes trazados en Carbón.

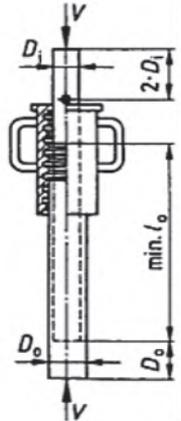
El peso de la placa azul es de 23,98 kg.

Autores

B. González Fonteboa (UDC)
F. Martínez Abella (UDC)
M. Recarey Buño (GCONS)

Introducción

En este proyecto se ha pretendido realizar diversos ensayos que pueden ayudar a optimizar la geometría de puntales de edificación.



Objetivos

- Caracterización de puntales de edificación.
- Caracterización de los prisioneros de puntales de edificación.
- Análisis de comportamiento y optimización de espesores.

Actividades realizadas

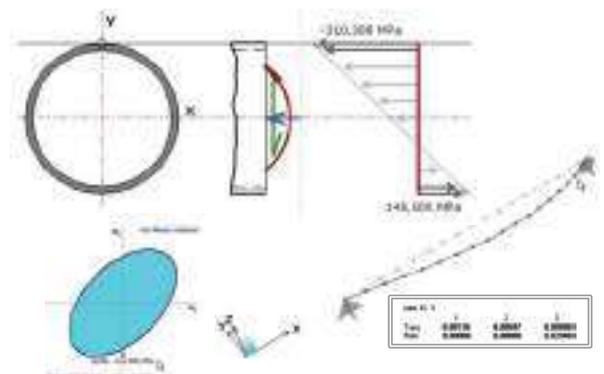
Los trabajos realizados fueron los siguientes:

- Ensayo sobre puntales en posición vertical, cargándolos superiormente mediante un actuador hidráulico.
- Ensayo sobre prisioneros con tres tipos de combinaciones tubo exterior/tubo interior, independizándose de las extensiones máximas de los tubos. Los prisioneros se ensayan en posición vertical, cargándolos superiormente mediante un actuador hidráulico.
- Cálculo del puntal, en cualquiera de sus series mediante un análisis estructural convencional.
- Cálculo de puntal mediante método numérico no lineal, que introduce la actualización de coordenadas durante el desarrollo del proceso de carga (debido a las grandes deformaciones experimentadas por estos elementos).



Conclusiones

Los ensayos permitieron seleccionar los materiales y geometría de mayor eficiencia, y diseñar los puntales de edificación y sus pasadores y prisioneros.

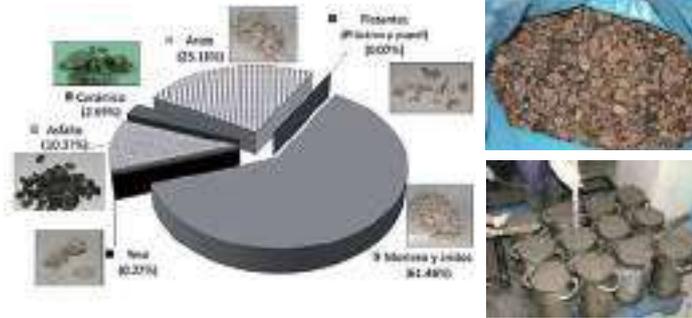


Autores

B. González Fonteboa (UDC)
F. Martínez Abella (UDC)
M. Recarey Buño (GCONS)

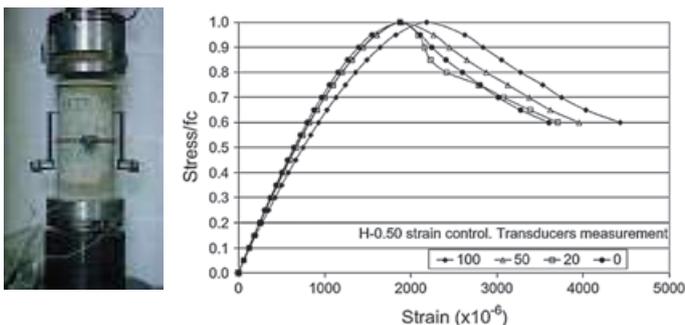
Introducción

Este proyecto, coordinado entre diferentes centros de investigación y universidades, fue financiado con el Plan Nacional de I+D+i 2004-2007 del Ministerio de Medio Ambiente. Se tomaron como punto de partida la experiencia de los trabajos previos realizados y los acuerdos alcanzados en el Grupo de Trabajo "Hormigón Reciclado" sobre la normativa reguladora de aplicación en hormigón estructural.



Actividades realizadas

- Primera actividad: recopilación bibliográfica. Se ha elaborado un documento único recogido en un *state of the art* (estado de la cuestión) que ha sido publicado.
- Segunda actividad: acopio y ajuste de dosificaciones. Se dosificaron dos series de hormigón H25 y H40, de relaciones agua/cemento de 0,65 y 0,50 respectivamente, según el método de Faury. Para cada una de estas relaciones a/c se fabricaron tres hormigones reciclados con el 20%, 50% y 100% de sustitución del árido grueso natural por reciclado y un hormigón convencional.
- Tercera actividad: caracterización del hormigón. Se llevaron a cabo ensayos de consistencia, absorción, densidad en estado fresco y endurecido, resistencias a compresión y a tracción a distintas edades, y módulo de deformación también a distintas edades.
- Cuarta actividad: ensayos tenso-deformacionales. Se optó por realizar ensayos de carga lenta controlados por carga, tanto a compresión como a tracción.



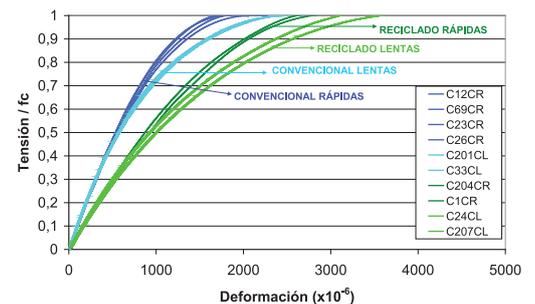
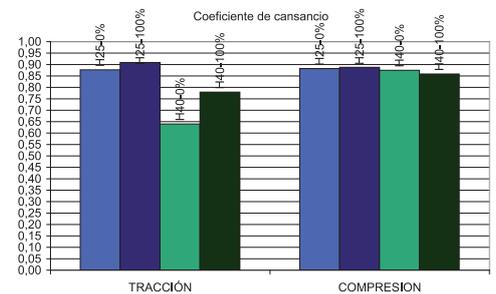
Objetivos

- Proponer nuevas dosificaciones de hormigones reciclados y unificación de criterios de fabricación.
- Fomentar el uso de hormigones con áridos reciclados procedentes de residuos de hormigón estructural, con el objetivo de obtener recomendaciones de uso que permitan la inclusión de estos hormigones en la EHE-08.
- Proponer expresiones modificadas que sean necesarias para el cálculo de las propiedades tenso-deformacionales de los hormigones reciclados.

Resultados y Conclusiones

Con los resultados obtenidos se ha confirmado la reducción de las resistencias mecánicas de estos hormigones a medida que se incrementa el contenido de árido reciclado con que se fabrican.

En cuanto a los ensayos tensión-deformación, se ha constatado que los coeficientes de cansancio a compresión son muy similares en hormigones convencionales y reciclados, mientras que a tracción se observa una mayor variación. Además, los diagramas tensión-deformación revelan deformaciones pico y últimas mayores en los hormigones reciclados que en los convencionales.



Por último, se propuso una corrección de la expresión normativa para el cálculo del módulo de deformación y las deformaciones últimas y pico de los hormigones, en función del contenido de árido reciclado, %RCA.

$$\sigma_c / f_{cm} = (k \cdot \eta - \eta^2) / (1 + (k - 2)\eta), \text{ where}$$

$$\eta = \epsilon_c / \epsilon_{c1} \text{ and } k = 1.05 \cdot E_{cm} \cdot |\epsilon_{c1}| / f_{cm}$$

$$\phi_{cm}^{rec} = -0.0020 \times \%RCA + 1$$

$$\alpha_c^{rec} = 0.0021 \times \%RCA + 1$$

$$\beta_{cu}^{rec} = 0.0022 \times \%RCA + 1$$

Autores

B. González Fonteboa (UDC)
F. Martínez Abella (UDC)
M. Recarey Buño (GCONS)

Introducción

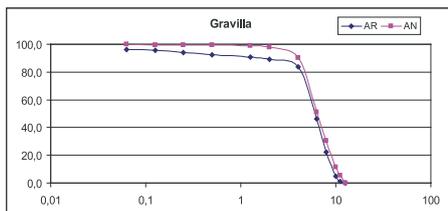
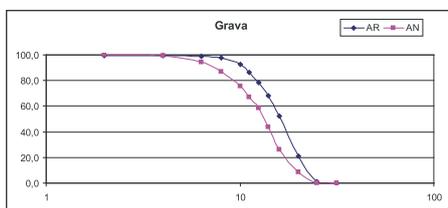
El proyecto GEAR, cuyo principal objetivo pasa por caracterizar técnicamente y estandarizar los áridos reciclados a partir del reciclaje de los RCD en la búsqueda de las mejores aplicaciones y usos en obra pública y privada, es una iniciativa de la Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición, GERD, en el marco de Proyectos de Desarrollo Experimental del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica, y que se ha elaborado en el periodo 2008-2011.

A través de la creación de la Red de Entidades Colaboradoras del Proyecto GEAR, se han incorporado al mismo cerca de 40 nuevas plantas de reciclaje, cinco nuevas universidades, y un buen número de organismos públicos, empresas constructoras, laboratorios y despachos de ingeniería, que han sometido al procedimiento de seguimiento y análisis del proyecto a más de 80 obras de construcción, como tramos experimentales en las que se ha utilizado árido reciclado caracterizado.



Actividades realizadas

- Composición y clasificación de los áridos reciclados.
- Propiedades físico-químicas.
- Estudio de dosificaciones con sustituciones de hasta el 100%.
- Estudio de las propiedades físicas, tensodeformacionales y de durabilidad alcanzadas por los hormigones con diferentes porcentajes de sustitución.
- Aplicación de los conocimientos y conclusiones alcanzadas sobre los hormigones empleados en varias obras reales desarrolladas en Galicia.

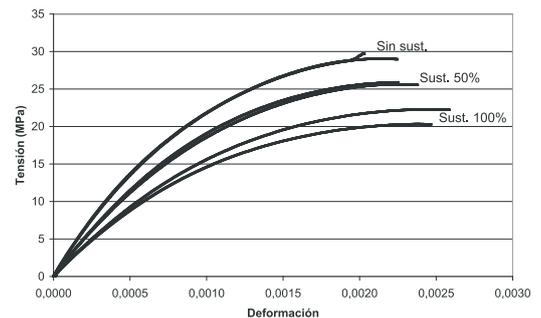
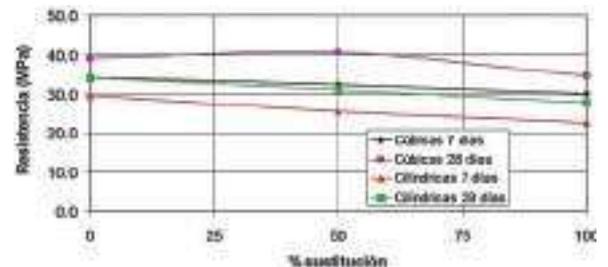


Objetivos

- Estudio técnico y estadístico de campo para caracterizar los productos reciclados comercializados actualmente en las plantas de reciclaje de España y para analizar el comportamiento de las obras realizadas en el país con esos materiales.
- Estudio científico de análisis de impacto ambiental de los áridos reciclados producidos en España, para establecer métodos e indicadores de control de calidad ambiental adecuados a estos materiales y a la realidad española.
- Estudios de aplicación experimental para analizar el comportamiento real de los áridos reciclados en las obras, y comprobar la viabilidad de su uso.
- En la UDC se abordó específicamente el estudio del hormigón reciclado en masa, y se empleó en diversas obras reales como aplicación demostrativa experimental.

Resultados y Conclusiones

Con los resultados obtenidos se ha constatado la necesidad de aplicar coeficientes correctores en las actuales expresiones normativas para el diseño de hormigones en masa con altos porcentajes de sustitución de árido natural por reciclado mixto. Se ha realizado una publicación conjunta con todos los integrantes del proyecto, en la que se engloban las recomendaciones de uso de los áridos reciclados.

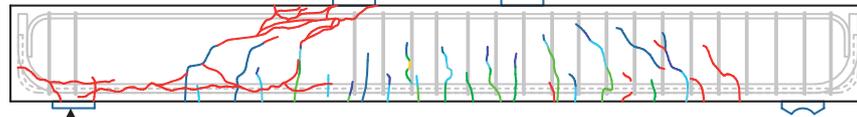


Autores

I. Martínez Lage (UDC)
F. Martínez Abella (UDC)
M. Recarey Buño (GCONS)

Introducción

El proyecto ha consistido en la modificación y desarrollo de nuevos algoritmos basados en Computación Evolutiva para, por una parte, ampliar el conocimiento de los modelos físicos que explican un determinado problema y, por otra, mejorar el ajuste y la seguridad de las expresiones normativas (basadas en planteamientos matemáticos) que se emplean tanto en el dimensionado como en la comprobación en el área del hormigón estructural.



Uno de los estudios llevados a cabo durante la realización del proyecto se ha centrado en la mejora de la formulación del EC-2 para la resistencia a cortante en vigas de hormigón estructural sin armadura transversal.

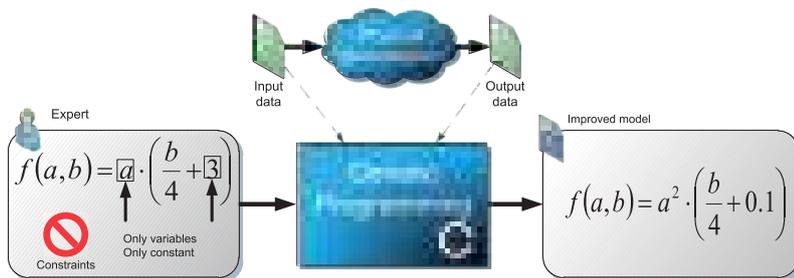
Método

Para mejorar la formulación del EC-2, que determina la resistencia a cortante en vigas de hormigón estructural sin armadura transversal, se emplean técnicas de Programación Genética (PG), mejoradas con módulos que dirigen el proceso de búsqueda.

A partir de un conjunto de datos experimentales amplio y contrastado, la PG puede mejorar el ajuste de una expresión empírica mediante la técnica de regresión simbólica. Para ello se analiza qué términos de la expresión podrían ser mejorados y, mediante un conjunto de restricciones fijado gracias a un conocimiento profundo del fenómeno, se inicia la creación de nuevas ecuaciones de modo orientado.

El método propuesto genera expresiones que revelan la influencia más exacta de las variables, e incluso puede dirigirse a predecir resultados del lado de la seguridad para las propuestas normativas. Para el desarrollo y verificación de los modelos se han empleado cerca de 1200 ensayos de resistencia sobre vigas de hormigón, publicados y contrastados.

$$V_{Rd,c} = 0.18 \cdot \left(1 + \left(\frac{200}{d}\right)^{0.5}\right) \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d$$



$$V_c = branch_1 \left(1 + \left(\frac{branch_2}{d}\right)^{branch_3}\right) (100 \cdot \rho_l)^{branch_4} \cdot f_c^{branch_5} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_c = branch_1 \left(1 + \left(\frac{branch_2}{d}\right)^{branch_3}\right) (100 \cdot \rho_l)^{branch_4} \cdot f_c^{branch_5} \cdot (branch_6)^{branch_7} \cdot b_w \cdot d$$

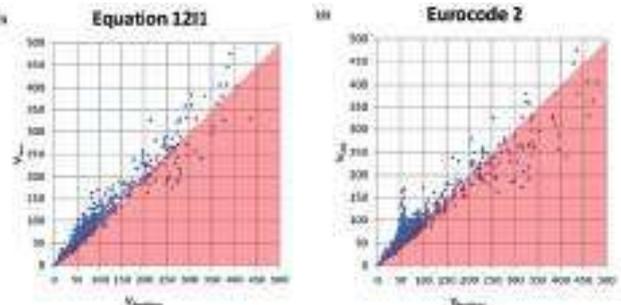
Resultados

Los resultados obtenidos se comparan con las predicciones del EC-2 y el código ACI-318. Se obtienen expresiones sencillas, muy similares en forma a la conocida del EC-2 o la EHE-08, pero que incluyen la interrelación momento-cortante y mejoran el sentido físico de la expresión.

$$12I1 = 1,75 \cdot (100\rho_l)^{0,4} \cdot f_c^{2/7} \cdot \left(\frac{V}{M}\right)^{1/4} \cdot b_w \cdot d$$

$$11G1 = 0,094 \left(1 + \left(\frac{1600}{d}\right)^{0,42}\right) (100\rho_l)^{0,37} \cdot f_c^{1/3} \cdot b_w \cdot d$$

$$12H1 = 0,114 \left(1 + \left(\frac{1600}{d}\right)^{0,42}\right) (100\rho_l)^{0,37} \cdot f_c^{1/3} \cdot \left(\frac{V \cdot d}{M}\right)^{0,21} \cdot b_w \cdot d$$



Conclusiones

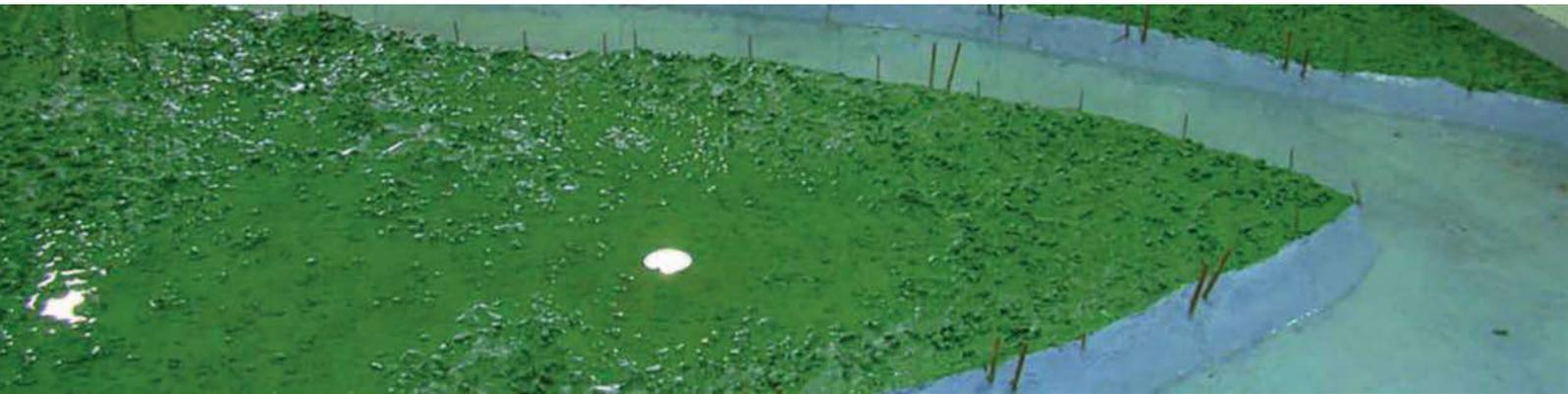
- Se ha desarrollado un algoritmo válido para el ajuste de expresiones ya existentes.
- Las ecuaciones propuestas mejoran la del EC-2 en varios aspectos: interacción cortante-momento flector, influencia de la armadura longitudinal, el efecto tamaño.
- La interacción momento-cortante reduce el cortante último para momentos concomitantes moderados y elevados.
- El trabajo ha involucrado a ingenieros de estructuras e ingenieros informáticos.

	Entrenamiento					Test						
	EC-2	ACI11-3	ACI 11-5	11G1 GP1	12H1 GP4	12I1	EC-2	ACI11-3	ACI 11-5	11G1 GP1	12H1 GP4	12I1
COV	23,40	33,23	28,72	18,06	16,21	15,91	25,80	33,26	25,36	20,64	17,75	17,01
V_{ens}/V_{pred}	1,10	1,44	1,30	1,09	1,09	1,09	1,14	1,53	1,35	1,12	1,12	1,11
R ²	0,960	0,867	0,876	0,975	0,972	0,975	0,928	0,829	0,845	0,949	0,946	0,949
ECM	2.165	18.820	18.963	446	629	529	628	1.902	1.778	546	502	467
EM	17,84	41,11	38,13	11,97	12,51	11,85	13,23	25,62	21,98	12,73	11,78	11,26
PD	229	636	551	124	130	104	267	639	488	212	153	136

Autores

F. Martínez Abella (UDC)
D. Caro López (UDC)
J. Eiras López (UDC)
B. González Fonteboa (UDC)
I. Martínez Lage (UDC)

J.L. Pérez Ordóñez (UDC)
J.R. Rabuñal Dopico (UDC)
D. Rivero Cebrían (UDC)
C. Vázquez Herrero (UDC)



PROYECTOS

Laboratorio de Hidráulica

Introducción

El presente trabajo consiste en la evaluación del diseño constructivo de los aliviaderos de la presa del Arroyo de las Cuevas, fruto de la colaboración con el Departamento de Ingeniería Hidráulica de la empresa COPASA. El modelo a escala reducida (1:30) ha sido construido en el Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC), centro de investigación anexo a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidade da Coruña.

Descripción del modelo

Se ha construido un modelo a escala 1:30 del aliviadero de la presa del Arroyo de las Cuevas, en Palencia. El método constructivo ha sido en albañilería tradicional, lo que ha requerido modificaciones sucesivas en el modelo a medida que se afinaba el diseño.

Se han modelizado tanto la embocadura, en forma de pico de pato, como el canal y la zona de impacto.

Las medidas se han realizado con distintas tecnologías: la presión se ha registrado con sondas piezorresistivas, mientras que la forma del chorro tanto en la zona del vertido como en el lanzamiento se han obtenido con un perfilador basado en principios eléctricos. El nivel en el embalse, para cada caudal de ensayo, se ha medido con un limnómetro manual, mientras que el caudal se ha medido con un caudalímetro electromagnético SIEMENS.

Resultados cualitativos

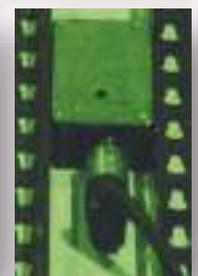
Se ha analizado el funcionamiento del aliviadero, midiendo y mejorando la zona de embocadura. La geometría del pico de pato se ha analizado para garantizar que los niveles de vertido en ningún caso se ven condicionados por el anegamiento de la estructura para el rango de caudales considerado.

Adicionalmente se ha garantizado el correcto funcionamiento del canal, con una restitución del campo de calados a lo largo del mismo, lo que permite optimizar la altura de los cajeros.

Por último, se ha analizado la obra de lanzamiento, analizando y optimizando su forma para una correcta dispersión de la lámina vertiente para el rango de caudales analizado.

Se ha determinado el alcance del vertido para cada caudal, así como la distribución de presiones esperable en la zona de impacto. Estas mediciones se han realizado con distintos niveles de colchón aguas abajo, y con una amplia batería de sondas para la medida de la presión.

El detalle de los resultados forma parte de las cláusulas de confidencialidad entre el cliente y el CITEEC.



Autores

J. Puertas Agudo (UDC)
J. Rabuñal Dopico (UDC)
L. Pena Mosquera (UDC)

Introducción

El presente trabajo consiste en la evaluación del diseño constructivo de la toma inferior de la Central Hidroeléctrica Belesar III, fruto de la colaboración con el departamento de Ingeniería Hidráulica de GNF Engineering. El modelo a escala reducida (1:40) ha sido construido en el Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC), que es un centro de investigación anexo a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidade da Coruña.

Descripción del modelo

Se ha construido un modelo a escala 1:40 de la toma de la CHE Belesar III. La tecnología de construcción es tradicional en lecho fijo. Las partes susceptibles de mejora (los tajamares, por ejemplo), han sido construidos en material plástico espumado en el centro de mecanizado por control numérico del CITEEC.

Las medidas se han realizado con distintas tecnologías: la aportación desde los sistemas a presión se ha controlado con caudalímetros basados en ultrasonidos (Panametrics), mientras que los niveles se han medido con sondas basadas en resistividad eléctrica (DHI; 20 unidades, disposición en la figura) y las velocidades con una sonda acústica *doppler* (detalle en la figura).

El modelo físico incluye el efecto de la cola del embalse de Peares (aguas abajo), para garantizar la sumergencia de la toma en cualesquiera condiciones de trabajo, tanto en turbinación como en bombeo.



Resultados cualitativos

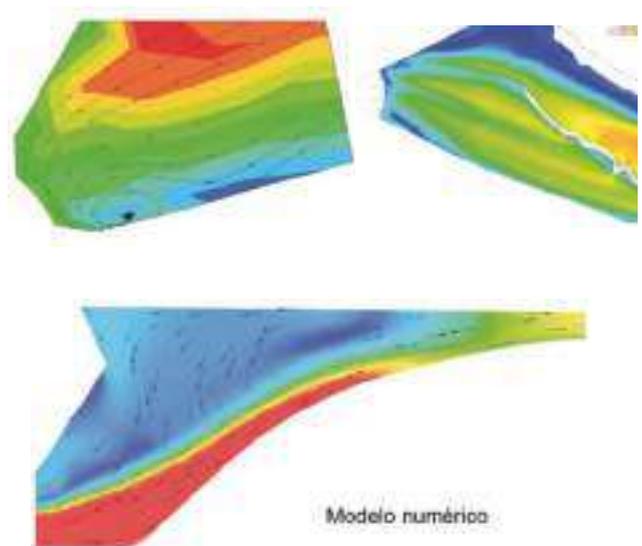
Se ha analizado el funcionamiento de la toma inferior del salto Belesar III en modelo físico y en modelo numérico, utilizando el modelo tridimensional CFX.

Como resultado del modelo se ha variado la forma de la obra de acceso a la toma, y la propia configuración de la misma.

Adicionalmente, se ha podido determinar la disipación de energía en la toma, y se han analizado modos de minimizarla, así como la distribución de líneas de corriente, lo que ha permitido la eliminación de zonas muertas y un diseño mucho más hidrodinámico.

Se ha obtenido un muy buen ajuste entre el modelo físico y el modelo numérico, lo que ha permitido hacer un gran número de pruebas en este último. Esto ha facilitado el trabajo en modelo físico, sobre el que se ha trabajado ya en soluciones previamente analizadas sobre CFX.

El detalle de los resultados forma parte de las cláusulas de confidencialidad entre el cliente y el CITEEC.



Autores

J. Puertas Agudo (UDC)
M. Bermúdez Piña (UDC)
L. Pena Mosquera (UDC)

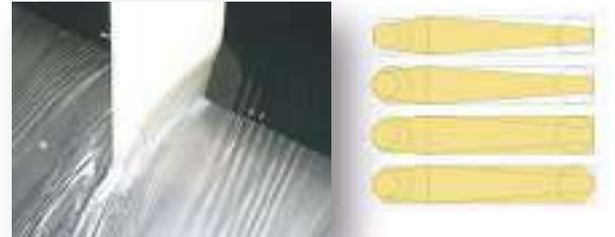
Introducción

El presente trabajo consiste en la evaluación del diseño constructivo de los aliviaderos de la presa de Brandariz, fruto de la colaboración con el departamento de Ingeniería Hidráulica de SOCOIN (grupo Gas Natural-Fenosa). El modelo a escala reducida (1:40) ha sido construido en el Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC), que es un centro de investigación anexo a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidade da Coruña.

Descripción del modelo

Se ha construido un modelo a escala 1:40 de los aliviaderos de la presa de Brandariz. El cuerpo de los vertederos ha sido construido en acero inoxidable a partir de planos mediante máquinas de corte y plegado por control numérico. Los tajamares han sido construidos en plástico espumado en la máquina de mecanizado por control numérico del CITEEC. El lecho ha sido construido por métodos tradicionales, tanto en forma rígida (para el registro de las presiones) como en forma erosionable (para la determinación del cuenco de erosión potencial).

Las medidas se han realizado con distintas tecnologías: la presión se ha registrado con sondas piezorresistivas, mientras que la forma del chorro tanto en la zona del vertido como en el lanzamiento se han obtenido con un perfilador basado en principios eléctricos desarrollado en el CITEEC, montado sobre un *plotter* para cubrir la totalidad del modelo.



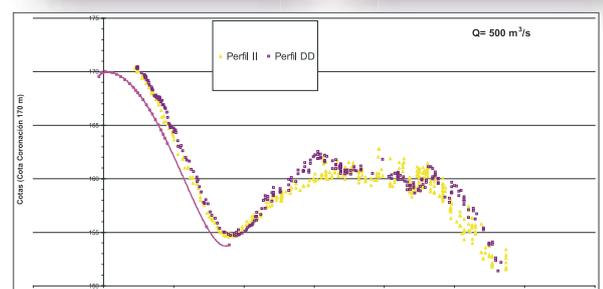
Resultados cualitativos

Se ha analizado el funcionamiento del vertedero, tanto en la macroescala (forma del vertido, alcance del chorro para distintos caudales) como en la microescala (efectos indeseados en los contornos de los tajamares, forma del trampolín).

Se ha determinado la geometría óptima de los tajamares para evitar perturbaciones en el flujo, y se ha medido el campo de calados en el vertedero para una amplia batería de caudales, para determinar la altura mínima de los cajeros laterales que confinan el vertedero.

Se ha medido el campo de presiones en el cuenco de disipación de energía, y la geometría de la zona potencialmente erosionable para una amplia batería de caudales, incluyendo el de la avenida máxima.

El detalle de los resultados forma parte de las cláusulas de confidencialidad entre el cliente y el CITEEC.



Autores

J. Puertas Agudo (UDC)
J. Rabuñal Dopico (UDC)
L. Pena Mosquera (UDC)

Introducción

El presente trabajo consiste en la evaluación del diseño constructivo de la cámara de turbinas y la restitución de una minicentral (como caso piloto), dentro del complejo hidroeléctrico asociado al canal de Aragón y Cataluña. Los modelos a escala reducida (1:10 y a escala 1:15) han sido construidos en el Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC) y en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidade da Coruña.

Descripción del modelo

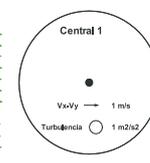
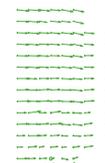
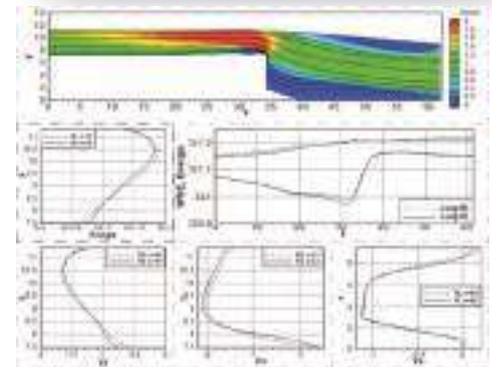
Se han construido dos modelos a escala: el de la obra de restitución, a escala 1:10, cuyo método constructivo ha sido en albañilería tradicional, y el de la cámara de turbinas, a escala 1:15, en acero inoxidable con paredes de cristal.

Las medidas se han realizado con distintas tecnologías: en el modelo del canal se han medido el campo de velocidades con tecnología ADV, y el campo de niveles con sondas DHI basadas en la medición de la conductividad eléctrica.

En el modelo de la cámara de turbinas se ha medido con un aparato de alta precisión, un PIV, basado en la interpretación de fotogramas sucesivos obtenidos por cámaras de alta resolución en un plano iluminado por un láser de pulso. El resultado es un campo de velocidades con un aspecto similar a los que se obtienen como resultado en un modelo numérico.

Adicionalmente se ha realizado una modelización numérica tridimensional del canal de restitución, y una campaña de medición en campo de la distribución de velocidades en la aproximación a las turbinas.

La campaña de medición en campo se ha realizado utilizando tecnología ADV, que permite determinar la velocidad en sus tres componentes, en una malla de puntos muy tupida, de modo que los resultados puedan servir para calibrar el modelo físico realizado.



Resultados cualitativos

Se ha analizado el campo de velocidades en el canal de restitución, y se han determinado zonas de recirculación que pueden ser corregidas para disminuir la pérdida de carga y aumentar el salto útil.

Se ha analizado la cámara de turbinas, y se ha concluido que una optimización de su forma permitiría un mejor rendimiento de los equipos.

El detalle de los resultados forma parte de las cláusulas de confidencialidad entre el cliente y el CITEEC.



Autores

J. Puertas Agudo (UDC)
J. Rabuñal Dopico (UDC)
L. Pena Mosquera (UDC)

Introducción

El presente trabajo consiste en el análisis del encauzamiento del río Mero, desde la presa de Cecebre hasta su desembocadura. El modelo a escala reducida ha sido construido en el Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC) y en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidade da Coruña.

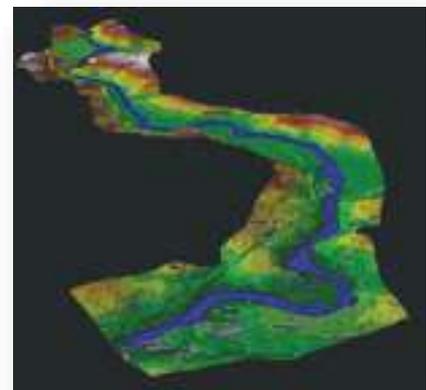
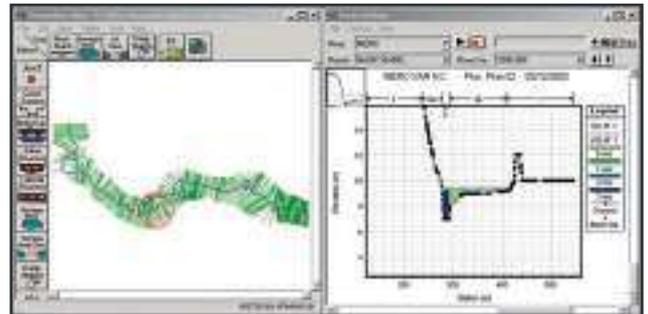
Descripción del modelo

Se ha realizado una primera modelización del tramo de río, de 10 km de longitud, con un modelo 1D, para analizar de modo global la problemática del encauzamiento y determinar qué zonas van a generar más dificultades en época de crecida.

Posteriormente, se ha modelizado todo el tramo con el modelo bidimensional Iber, del que el grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente es coautor. Sobre este modelo se ha definido el encauzamiento, con distinto grado de refino según su problemática. Se han analizado todas las posibles singularidades, como por ejemplo las pequeñas edificaciones que puedan sufrir inundaciones o que eventualmente deban quedar dentro de la zona delimitada para el tránsito de las crecidas.

Se ha construido un modelo a escala 1:30, cuyo método constructivo ha sido en albañilería tradicional, para representar un meandro en el que el flujo va a ser claramente tridimensional.

Las medidas se han realizado con distintas tecnologías: se ha medido el campo de velocidades con tecnología ADV, y el campo de niveles con sondas DHI basadas en la medición de la conductividad eléctrica. Adicionalmente, se ha utilizado un perfilador de velocidades ADP para observar la distribución del flujo en la vertical.



Resultados cualitativos

Se ha analizado en modelo físico y numérico el río Mero en la zona de su desembocadura. Fruto de este análisis se ha definido la traza de su encauzamiento, logrando la evacuación de la crecida de proyecto con un mínimo de afecciones a las edificaciones en el entorno, y con plenas garantías de seguridad.

El diseño propuesto protege la vegetación de ribera, y constituye una actuación "blanda" que pasará desapercibida para el ciudadano. Los límites exteriores de la zona inundable se habilitan como sendas para paseo o la práctica deportiva.

El detalle de los resultados forma parte de las cláusulas de confidencialidad entre el cliente y el CITEEC.



Autores

E. Peña González (UDC)
J. Antía Álvarez (UDC)
M. Álvarez Enjo (UDC)

J. Puertas Agudo (UDC)
J. Rabuñal Dopico (UDC)
L. Pena Mosquera (UDC)

Introducción

El presente trabajo consiste en la evaluación del diseño constructivo de la Central Hidroeléctrica de Ocaña II (provincia de Cañar, Ecuador), fruto de la colaboración con el departamento de Ingeniería Hidráulica de GNF Engineering. El modelo a escala reducida (1:40) ha sido construido en el Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC), que es un centro de investigación anexo a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidade da Coruña.

Descripción del modelo

Se ha construido un modelo a escala 1:40 de la toma de la CHE Ocaña II. La tecnología de construcción es tradicional salvo en las partes móviles de los órganos de desagüe, que se han construido en metacrilato a partir de planos con una máquina de control numérico en el taller del CITEEC, y la escala de peces, que se ha impreso en una impresora 3D en el CITEEC.

El modelo tiene zonas fijas, como la obra de toma y derivación, y partes móviles, como el canal de aproximación y el tramo de lecho aguas abajo.

Las medidas se han realizado con distintas tecnologías: la aportación desde los sistemas a presión se ha controlado con caudalímetros basados en ultrasonidos (Panametrics), mientras que los niveles se han medido con sondas basadas en resistividad eléctrica (DHI).

Resultados cualitativos

Se han realizado ocho modificaciones sobre la propuesta original, hasta un correcto funcionamiento hidráulico y una correcta disipación de energía.

Se han establecido las curvas de gasto de todas las estructuras de desagüe, y se ha garantizado la evacuación de las avenidas de diseño.

Se ha analizado la estabilidad del cauce aguas abajo, y se han propuesto medidas para garantizarla mediante la incorporación de traviesas que modulen la pendiente.

Se ha establecido un procedimiento para la apertura de compuertas que garantice la limpieza del cuenco.

Se ha analizado el comportamiento a largo plazo del embalse en lo que respecta a la deposición de sólidos, y se han propuesto estrategias de apertura de compuertas para su remoción en épocas de caudales altos.

El detalle de los resultados forma parte de las cláusulas de confidencialidad entre el cliente y el CITEEC.



Autores

J. Puertas Agudo (UDC)
L. Pena Mosquera (UDC)

Introducción

El presente trabajo consiste en la evaluación del diseño constructivo de los nuevos desagües de fondo de la presa de Peares, fruto de la colaboración con el departamento de Ingeniería Hidráulica de GNF Engineering. El modelo a escala reducida (1:30) ha sido construido en el Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC), que es un centro de investigación anexo a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidade da Coruña.

Descripción del modelo

Se ha construido un modelo a escala 1:40 de los nuevos desagües de fondo de la CHE Peares. La tecnología de construcción es tradicional en lecho fijo. Los elementos móviles (válvulas Howell-Bunger) han sido mecanizados a escala en acero inoxidable, con una absoluta fidelidad y capacidad de movimientos, con el objeto de reproducir adecuadamente los chorros.

Las medidas se han realizado con distintas tecnologías: la aportación desde los sistemas a presión se ha controlado con caudalímetros basados en ultrasonidos (Panametrics), mientras que los niveles se han medido con sondas basadas en resistividad eléctrica (DHI).

El alcance de los chorros se ha medido con reglas graduadas y restitución de imagen de vídeo.



Resultados cualitativos

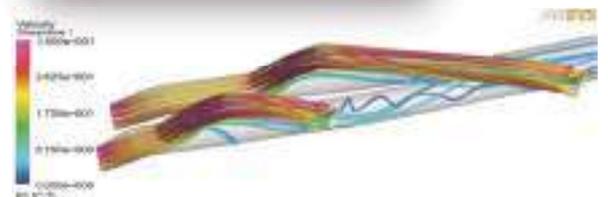
Adicionalmente al modelo físico del lanzamiento y del chorro, se ha realizado un modelo numérico tridimensional de las conducciones de derivación a las válvulas, utilizando el modelo tridimensional CFX. Esto es necesario debido a su compleja geometría.

Como resultado del modelo se ha determinado la posición óptima para la ubicación de las válvulas, así como su orientación más adecuada, considerando un amplio rango de caudales, que incluyen tanto los de proyecto como los ecológicos.

Se ha garantizado que los chorros no generan afecciones a ninguna infraestructura en su entorno, y que una vez salen del cuenco de disipación su nivel energético es adecuadamente bajo.

Adicionalmente, se ha podido determinar la disipación de energía en el sistema de tuberías de acceso a las válvulas, y se ha modificado su diseño para garantizar un buen funcionamiento hidráulico y una distribución de líneas de corriente adecuada y poco disipativa.

El detalle de los resultados forma parte de las cláusulas de confidencialidad entre el cliente y el CITEEC.



Autores

J. Puertas Agudo (UDC)
M. Bermúdez Pita (UDC)
L. Pena Mosquera (UDC)

Introducción

El presente trabajo consiste en la evaluación del diseño constructivo de los aliviaderos de la presa de Touro, fruto de la colaboración con el departamento de Ingeniería Hidráulica de la empresa Patrimonio Hidroeléctrico de Galicia S.L. El modelo a escala reducida (1:40) ha sido construido en el Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC), que es un centro de investigación anexo a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidade da Coruña.

Descripción del modelo

Se ha construido un modelo a escala 1:40 de los aliviaderos de la presa de Touro. El cuerpo de los vertederos ha sido construido en acero inoxidable a partir de planos mediante máquinas de corte y plegado por control numérico. Los tajamares han sido construidos en plástico espumado en la máquina de mecanizado por control numérico del CITEEC. El lecho ha sido construido por métodos tradicionales, tanto en forma rígida (para el registro de las presiones) como en forma erosionable (para la determinación del cuenco de erosión potencial).

Las medidas se han realizado con distintas tecnologías: la presión se ha registrado con sondas piezorresistivas, mientras que la forma del chorro, tanto en la zona del vertido como en el lanzamiento, se ha obtenido con un perfilador basado en principios eléctricos desarrollado en el CITEEC, montado sobre un *plotter* para cubrir la totalidad del modelo.

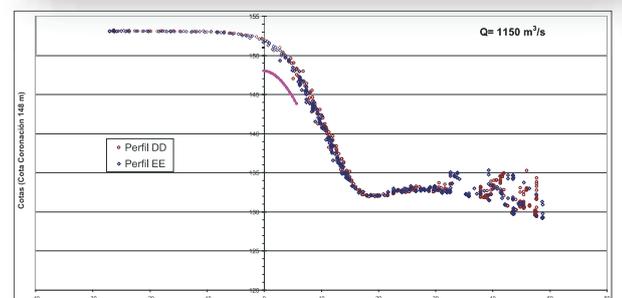
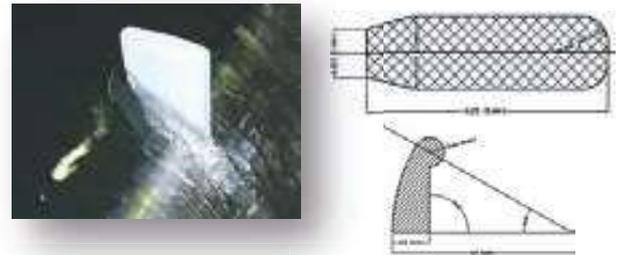
Resultados cualitativos

Se ha analizado el funcionamiento del vertedero, tanto en la macroescala (forma del vertido, alcance del chorro para distintos caudales) como en la microescala (efectos indeseados en los contornos de los tajamares, forma del trampolín).

Se ha determinado la geometría óptima de los tajamares para evitar perturbaciones en el flujo y se ha medido el campo de calados en el vertedero para una amplia batería de caudales, con el fin de determinar la altura mínima de los cajeros laterales que confinan el vertedero.

Se ha medido el campo de presiones en el cuenco de disipación de energía, y la geometría de la zona potencialmente erosionable para una amplia batería de caudales, incluyendo el de la avenida máxima.

El detalle de los resultados forma parte de las cláusulas de confidencialidad entre el cliente y el CITEEC.



Autores

J. Puertas Agudo (UDC)
J. Rabuñal Dopico (UDC)
L. Pena Mosquera (UDC)

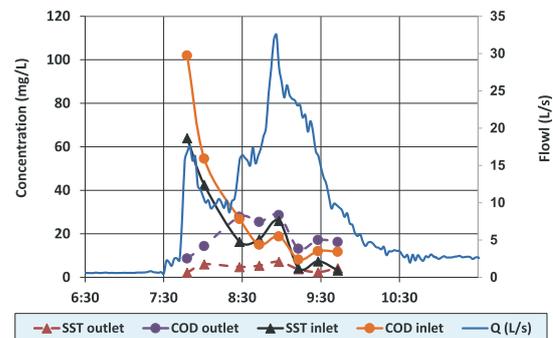
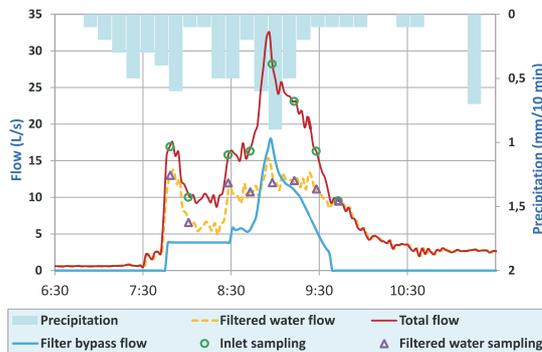
Cliente: Patrimonio Hidroléctrico de Galicia S.L.

Objetivos científico-técnicos

El objetivo principal del programa de evaluación y monitoreo es obtener información sobre las escorrentías generadas en la cuenca de estudio —un tramo de autopista del Segundo Cinturón de San Sebastián—, de la operación y efectividad de las soluciones de tratamiento implementadas y su aplicabilidad al tratamiento de este tipo de cuencas.

La iniciativa propuesta se centró en los siguientes puntos:

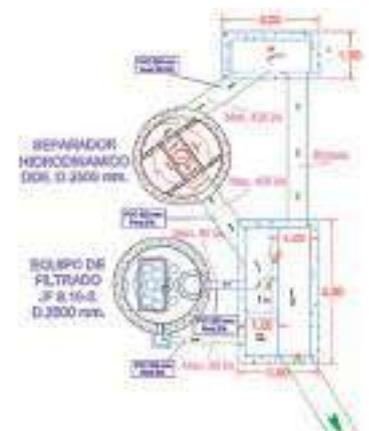
- Determinar los niveles y tipos de contaminación aportados por las escorrentías pluviales en la cuenca de estudio y su variabilidad.
- Determinar la eficiencia en la remoción de contaminantes de las unidades de tratamiento (para distintos contaminantes y para distintos caudales).
- Determinar la variabilidad en la eficiencia de remoción con el tiempo y su relación con el mantenimiento de las unidades.
- Determinar la calidad del efluente vertido y su impacto en el medio receptor.
- Determinar las necesidades reales de mantenimiento para la cuenca de estudio y las condiciones de operación.
- Evaluar la aplicabilidad de estas tecnologías al tratamiento de las escorrentías provenientes de entornos similares.
- Generar información sobre la efectividad de las tecnologías en este tipo de aplicaciones, y aumentar el conocimiento de las mismas para la empresa.



Ejemplos de Polutograma e Hidrograma de un evento de lluvia en la sección de control.

Actividades realizadas

- Investigación preliminar.
- Análisis de la problemática ambiental.
- Análisis del emplazamiento.
- Planificación y desarrollo de programa de muestreos.
- Establecimiento de objetivos específicos y alcance del programa.
- Configuración de la sección de control.
- Desarrollo de las campañas de muestreo.
- Organización de la información obtenida en las campañas.
- Análisis de datos.
- Valoración de resultados, elaboración de conclusiones y elaboración de informe final.



Descripción general de la unidad de tratamiento



Autores

J. Suárez López (UDC)
J. Anta Álvarez (UDC)
Z. Jikia (GEAMA)
P. Ures Rodríguez (GEAMA)

A. Hryshkevich (GEAMA)
M. Regueiro Picallo (GEAMA)
M. Recarey Pérez (GEAMA)

Objetivos científico-técnicos

El objetivo general del proyecto era tener una visión integral y multidisciplinar de las afecciones que la regulación de las descargas realizadas en centrales hidroeléctricas situadas en los cauces fluviales pueden producir en la fauna de las aguas de transición, especialmente la fauna piscícola en los ríos de agua dulce, y la fauna existente en sus desembocaduras y estuarios, con especial atención a los moluscos.

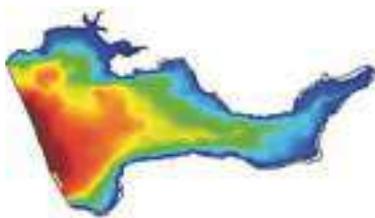
El caso práctico al que se aplicó la metodología del proyecto fue el conjunto formado por el río Ulla y su desembocadura en la ría de Arousa (Galicia).

Actividades realizadas

En la parte correspondiente al estudio de los cauces fluviales, en el proyecto se desarrolló un modelo numérico que permitió obtener la hidrodinámica existente en dichos cauces. La aplicación práctica al río Ulla, y la incidencia en la regulación de los embalses situados en su cauce, constituyen aportaciones científicas relevantes.

El estudio de detalle de la fauna piscícola del río Ulla permitió conocer las potenciales capacidades de remonte del salmón atlántico y la trucha, para reducir así la merma de dicho hábitat fluvial. Con los resultados del estudio hidráulico y la caracterización de esta fauna, se propusieron efectos paliativos hasta la localización de las centrales.

El estado del conocimiento del estudio de las aguas de transición se incrementó notablemente con el estudio de la interacción entre aguas de diferente densidad en la desembocadura. Aunque existen estudios previos y modelos numéricos que estudian estos procesos de intercambio, la metodología experimental desarrollada permitió conocer con detalle las zonas de mezcla e intercambio de agua dulce y agua salada. Como conclusión de estos apartados, se analizaron las condiciones límite de movimiento y potenciales zonas de migración de los berberechos y almejas de la ría de Arousa.



La entidad solicitante y el primer participante (SOCOIN, grupo Unión Fenosa) estaban muy interesados en los resultados del proyecto que se presente. La realización del proyecto permitió desarrollar una tesis doctoral, varias tesinas de grado y comunicaciones y artículos científicos.

Por otra parte, la entidad participante en colaboración, SOCOIN, obtuvo unos resultados tras la finalización del proyecto de mucho interés para la gestión de las centrales situadas en el río Ulla.



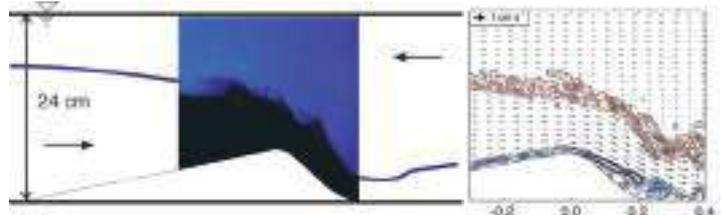
Resultados

Los principales resultados del proyecto son los siguientes:

- Elaboración de un modelo hidrodinámico de aguas someras del conjunto del río Ulla y la desembocadura, Ría de Arousa. Para la elaboración del modelo se realizó una campaña batimétrica de la desembocadura de dicha ría.
- Desarrollo de módulos de hábitat piscícola y de parámetros físico-químicos de calidad de agua (OD, nutrientes) para el modelo hidrodinámico del conjunto río-ría.
- Realización de ensayos de arrastre de huevos en frezaderos en modelo físico.

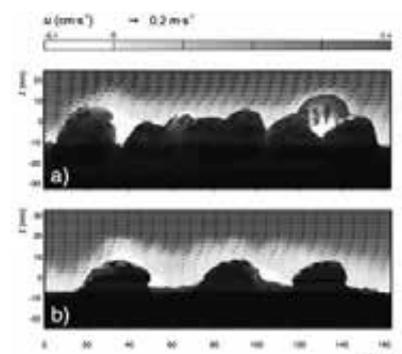


- Realización de ensayos de flujo estratificado en modelo físico para modelizar el comportamiento de la desembocadura del río Ulla.



- Realización de ensayos de arrastre de berberechos vivos en modelo físico, en condiciones similares a la de la desembocadura del río Ulla, con objeto de analizar la capacidad de erosión de los mismos ante eventos de caudales extremos.

- Desarrollo de un modelo de transporte de berberechos que se añadió al modelo hidrodinámico de la ría del Ulla.



Autores

J. Puertas Agudo (UDC) L. Pena Mosquera (UDC) E. Martín Morales (GEAMA)
 J. Anta Álvarez (UDC) T. Teijeiro Rodríguez (USC) I. Mera Rico (GEAMA)
 E. Pena González (UDC) I. Fraga Cadorniga (GEAMA) R. Losada Quevedo (UNICAN)
 L. Ceo Gómez (UDC) M. Bermúdez Pita (GEAMA)

Campos de aplicación

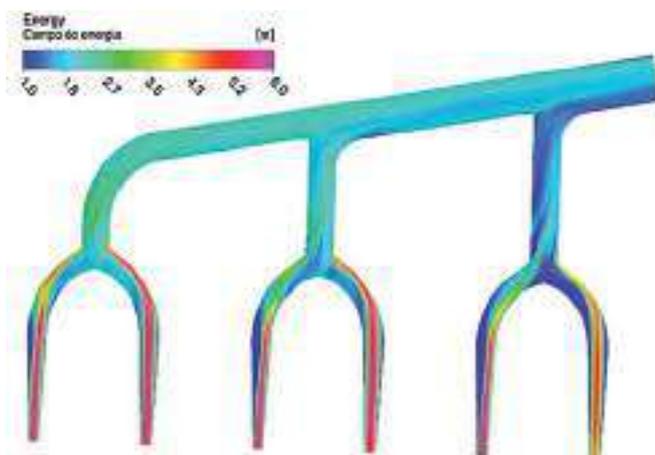
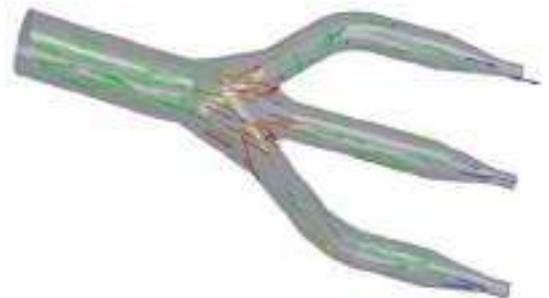
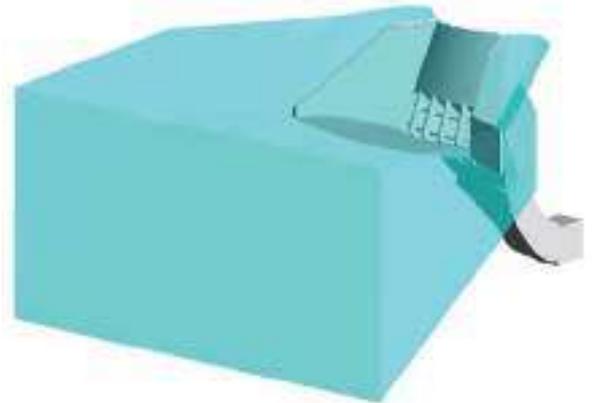
Algunos elementos singulares en los cuales es conveniente analizar la hidrodinámica de forma detallada en centrales hidroeléctricas son:

- Estructuras de toma, para captar el agua del embalse y transferirla a la conducción forzada.
- Distribuidores de caudal, que conducen el flujo desde la conducción forzada hasta las diferentes turbinas.
- Un mal funcionamiento de estos elementos puede generar pérdidas de energía excesivas, niveles de turbulencia muy elevados, vibraciones, o entrada de aire o sedimentos en las conducciones.

Software utilizado

OpenFOAM y ANSYS-CFX son dos modelos que permiten resolver las ecuaciones RANS-3D para realizar cálculos hidrodinámicos en geometrías complejas. Algunas de las capacidades de dichos modelos son:

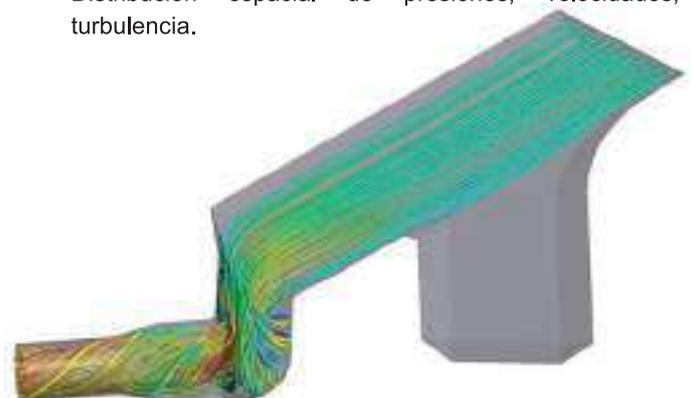
- Resolución integrada de las ecuaciones no estacionarias de Navier-Stokes con el promediado de Reynolds (RANS).
- Esquemas numéricos de segundo orden.
- Resolución en volúmenes finitos con mallas estructuradas o no estructuradas.
- Simulación tanto de flujos laminares como de turbulentos, calculando las tensiones turbulentas con diferentes tipos de modelos de turbulencia.
- Cálculo del flujo en presión y en lámina libre.



Resultados

Las típicas variables hidrodinámicas que se analizan en este tipo de estudios son:

- Pérdidas de energía en componentes hidráulicos.
- Líneas de corriente.
- Identificación de zonas de recirculación, vórtices, zonas de concentración de flujo, zonas muertas, zonas con altos niveles de turbulencia.
- Distribución espacial de presiones, velocidades, turbulencia.



Autores

L. Cea Gómez (UDC)
J. Puertas Agudo (UDC)
A. Conde (UDC)

Objetivos científico-técnicos

Iber es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no-permanente, y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial. El modelo consta de distintos módulos, entre los que se encuentran los siguientes: hidrodinámica, turbulencia, transporte de sedimentos por carga de fondo y en suspensión, calidad de aguas.

Todos los módulos están basados en ecuaciones de transporte bidimensionales promediadas en profundidad. En este manual se realiza una descripción de las ecuaciones y modelos incluidos en el módulo de calidad de aguas de Iber, el cual permite predecir la evolución temporal y espacial de las concentraciones de las siguientes variables: temperatura, salinidad, demanda biológica de oxígeno carbonosa, nitrógeno (orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos), oxígeno disuelto y Escherichia Coli (E. Coli).

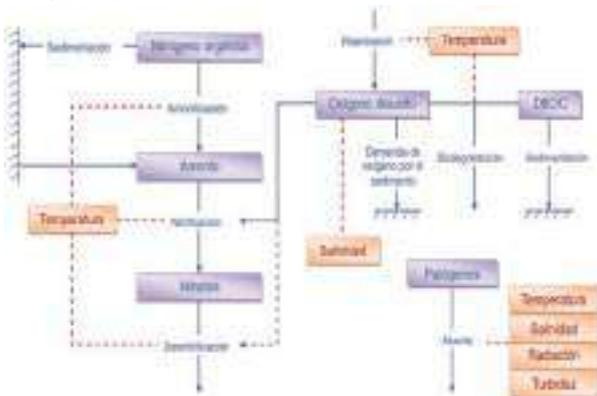
El módulo de calidad de aguas de Iber ha sido desarrollado en su totalidad por miembros del Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA) de la Universidade da Coruña (UDC) y del Instituto FLUMEN (Universitat Politècnica de Catalunya, UPC, y Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE).



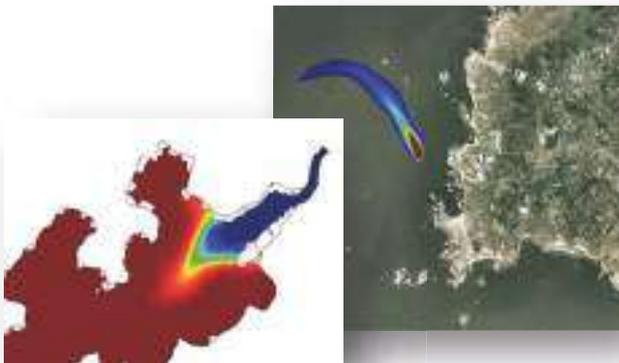
Actividades realizadas

El módulo de calidad de aguas de Iber (IberWQ), calcula la evolución espacio-temporal de diferentes sustancias y variables ligadas a la calidad del agua en ríos y aguas de transición, entre las cuales se incluyen las siguientes:

- Escherichia Coli (E. Coli)
- Oxígeno disuelto
- Demanda bioquímica de oxígeno carbonosa
- Nitrógeno orgánico
- Nitrógeno amoniacal
- Nitrógeno en forma de nitratos-nitritos
- Temperatura
- Salinidad



Esquema completo del modelo de calidad de aguas. Las líneas discontinuas indican dependencia de un proceso en una variable.



El modelo resuelve una ecuación de transporte 2D promediada en profundidad para cada especie, incluyendo las transformaciones bioquímicas para modelar su interacción e interdependencia.

El forzamiento por oleaje y la dispersión de sustancias solubles por efecto del oleaje, que puede ser relevante en aguas de transición y costeras, se puede incluir en el cálculo por medio de un campo de oleaje introducido por el usuario.

Debido a su carácter 2D promediado en profundidad, el módulo de calidad de aguas de Iber no puede representar procesos de estratificación, y por lo tanto solo es aplicable a la simulación del campo lejano de vertidos de aguas residuales.



Publicaciones relacionadas

Cea, L., Bermúdez, M., Puertas, J., Bladé, E., Corestein, G., Escolano, E., Conde, A., Bockelmann-Evans, B., Ahmadian, R. (2016). IberWQ - New simulation tool for 2D water quality modelling in rivers and shallow estuaries. *Journal of Hydroinformatics*, 18(6), 816-830.

www.iberaula.es

Autores

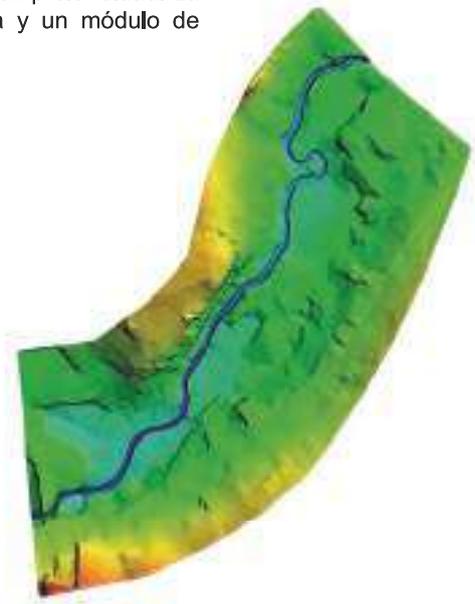
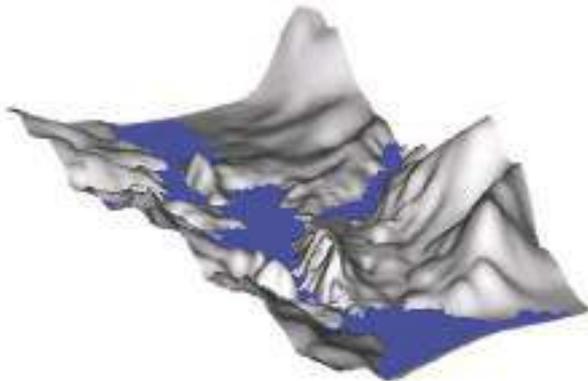
L. Cea Gómez (UDC) E. Bladé Castellet (UPC)
M. Bermúdez Piña (UDC) G. Corestein (FLUMEN)
J. Puertas Agudo (UDC) E. Escolano (CIMNE)
A. Conde (UDC)

Objetivos científico-técnicos

Iber es un modelo de flujo de agua en lámina libre bidimensional promediado en profundidad. La versión actual incluye un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos.

Campos de aplicación

- Simulación de flujo en cauces naturales.
- Evaluación de zonas inundables.
- Cálculo hidráulico de encauzamientos.
- Cálculo hidráulico de redes de canales en lámina libre.
- Cálculo de corrientes de marea en estuarios.
- Estabilidad del lecho fluvial.
- Procesos de erosión y sedimentación por transporte de material granular.



Líneas actuales de desarrollo

- Evaluación del hábitat fluvial. Caudales ecológicos.
- Transporte de mezclas de sedimento.
- Modelos de calidad de aguas.

Capacidades y características

- Resolución integrada de las ecuaciones de Saint Venant 2D.
- Esquemas en volúmenes finitos con mallas no estructuradas.
- Simulación de flujo subcrítico y supercrítico, incluyendo resaltes hidráulicos móviles y ondas de choque en régimen rápido.
- Mojado y secado del dominio con la conservación exacta del volumen de agua.
- Modelización de la turbulencia.
- Estructuras internas: puentes, compuertas y vertederos.
- Cálculo de la infiltración.
- Tensión superficial por viento.
- Delimitación de las zonas de grave riesgo por inundación.
- Transporte de sedimentos por carga de fondo y en suspensión.
- Interfaz amigable de pre y post-proceso.
- Integración en GIS.
- Verificado y contrastado con soluciones analíticas, ensayos de laboratorio y medidas de campo.



Publicaciones relacionadas

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, M.E., Dolz, J., Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(1), 1-10

Objetivos científico-técnicos

El módulo de transporte de sedimentos de Iber resuelve las ecuaciones de transporte sólido en ríos por carga de fondo y por carga en suspensión. Teniendo en cuenta ambos modos de transporte, se calcula la evolución de la cota del fondo debido a procesos de sedimentación y erosión mediante la ecuación de Exner 2D.

En la versión actual únicamente se consideran granulometrías uniformes. En versiones posteriores se incorporarán formulaciones específicas para mezclas de sedimento.

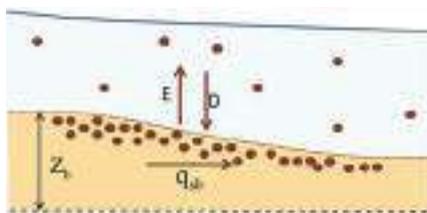
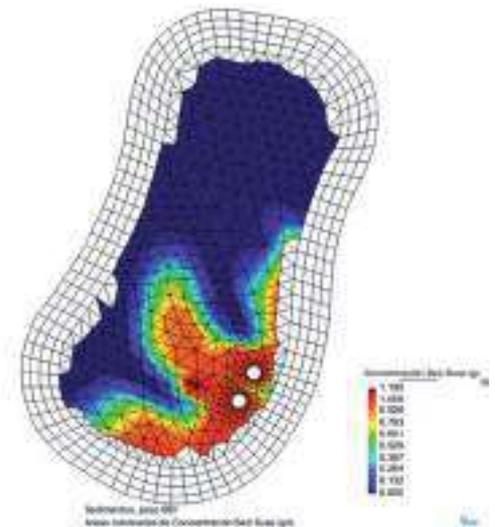
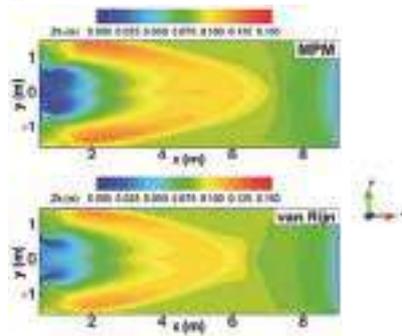
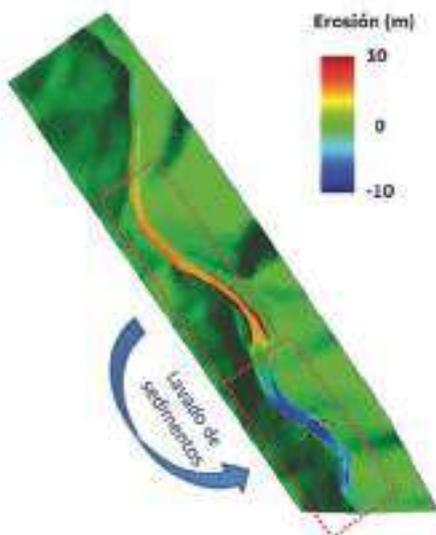
Transporte de fondo

El caudal sólido de fondo se calcula mediante formulaciones empíricas en función de la tensión de fondo. El módulo de transporte de sedimentos por carga de fondo incluye las siguientes formulaciones para el cálculo del caudal sólido:

- Meyer-Peter Müller (con corrección de Wong-Parker).
- Van Rijn.
- Engelund-Fredsoe.
- Engelund-Hansen.
- Ad-Hoc (definida por el usuario).

Además, incluye las siguientes capacidades:

- Corrección por pendiente de fondo en inicio del arrastre.
- Corrección por pendiente de fondo en transporte sólido.
- Separación de tensiones de Einstein por formas de fondo y grano.
- Condiciones de contorno tipo sedimentograma.
- Condición de cota de fondo no erosionable.



Transporte en suspensión

El transporte en suspensión se calcula resolviendo la ecuación de convección-difusión 2D promediada en profundidad para la concentración de sedimento, incluyendo un término de sedimentación/erosión que modela el intercambio de sedimento entre el lecho y la carga en suspensión.

Las principales características de este módulo son:

- Incorporación de transporte por difusión turbulenta.
- Término de deposición / resuspensión.
- Cálculo de la velocidad de sedimentación de las partículas según formulación de van Rijn.
- Cálculo de la concentración de sedimento en suspensión según formulaciones de van Rijn, Smith y García.



Publicaciones relacionadas

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, M.E., Dolz, J., Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(1), 1-10

Introducción

La mina de Meirama está situada en el Noroeste de Galicia. Durante 35 años explotó lignito pardo, finalizando su extracción a finales de 2008. A lo largo de los años, se han extraído de la mina a cielo abierto aproximadamente 81 hm³ de arcilla, 50 hm³ de granito, 44 hm³ de esquisto y 93 hm³ de lignito. Parte del material inutilizable fue introducido de nuevo en el hueco, reduciendo el volumen de excavación a aproximadamente 150 hm³, a una cota de 171.3 m.s.n.m. El hueco comenzó a llenarse de aportaciones de la cuenca en marzo de 2008.

El objetivo del proyecto ha sido la monitorización continua de la calidad de las aguas, tanto del lago en formación como de las aportaciones de cuenca, así como la evaluación del llenado.

Metodología

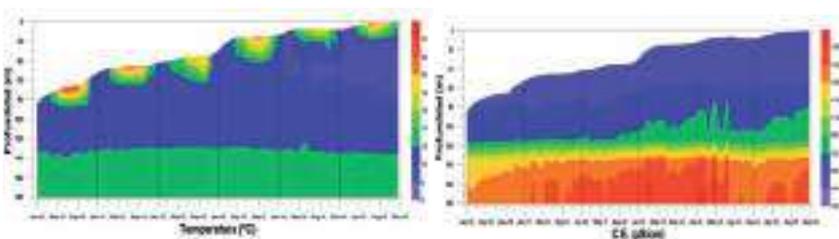
Para controlar el proceso de llenado desde el punto de vista hidroquímico, se instaló una estación meteorológica en una plataforma situada en el centro del lago y anclada en el fondo. Las medidas se almacenaban en un sistema de adquisición de datos, los cuales se enviaban en tiempo real, vía GPS, a un ordenador. Los parámetros que se midieron fueron: precipitaciones, radiación solar, velocidad y dirección del viento, humedad, temperatura del aire y presión barométrica.

En el lago se instalaron dos líneas verticales de 40 *dataloggers* de temperatura, con el fin de obtener perfiles verticales e identificar la posición de la termoclina. Adicionalmente se muestreaba cada mes la columna vertical del lago en el punto más profundo, y se hicieron medidas de distintos parámetros con sondas multiparamétricas apropiadas (pH, Eh, O₂, T, C.E., Turbidez).

Para el control de los caudales de llenado se instalaron en los ríos y arroyos vertederos de labio fino, con el fin de aforar las aportaciones.

Resultados y Conclusiones

En el proceso de llenado se ha constatado la existencia de una termoclina en las épocas estivales, situada a unos 25 m de profundidad, y una quimioclina fija, situada a una cota de unos 45 m.s.n.m. Así, la calidad de las aguas respeta los valores existentes en el entorno.



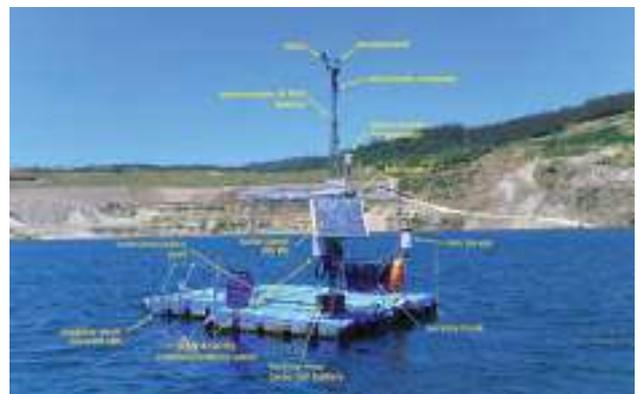
Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por GASNATURAL FENOSA.

Autores

J. Delgado Martín (LAMEROC)
R. Juncosa Rivera (GEAMA)

J.L. Cereijo Arango (GEAMA)
D. García Morrondo (GEAMA)



Introducción



La Corta Cervantes se sitúa en las proximidades del poblado de El Porvenir de la Industria como aldea de Fuente Obejuna. Próximo a dicha explotación se encuentra el arroyo estacional La Parrilla, que desemboca en el río Guadiato, río de mayor entidad cuyas aguas se encuentran embalsadas en el embalse de Sierra Boyera, situado aguas abajo. La subcuenca del arroyo La Parrilla tiene una extensión de unos 82.2 km² hasta el azud de derivación del canal de guarda de la mina. La actividad extractiva finalizó en junio de 2003. Como consecuencia de la acción extractiva del hueco minero se generó un hueco de unos 14 hm³ de volumen.

Objetivos

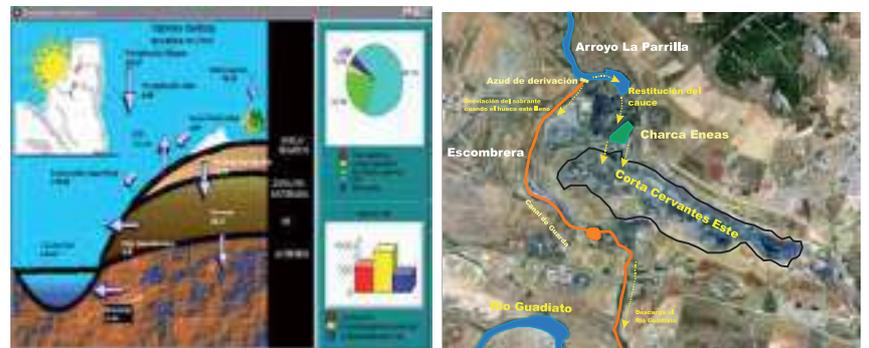
Uno de los aspectos que mayor interés suscita en el proyecto de restauración del hueco minero de la Corta minera Cervantes es la calidad de las aguas que en un futuro lo llenarán completamente, así como el tiempo que tardará en llenarse al reconducir de nuevo el cauce del arroyo La Parrilla hacia el hueco minero.

Metodología

El estudio consistió en realizar un modelo de balance hidrológico con el cual se pudiesen estimar las aportaciones al hueco con una serie termopluviométrica histórica. Para ello se utilizó VISUALBALAN V2.0.

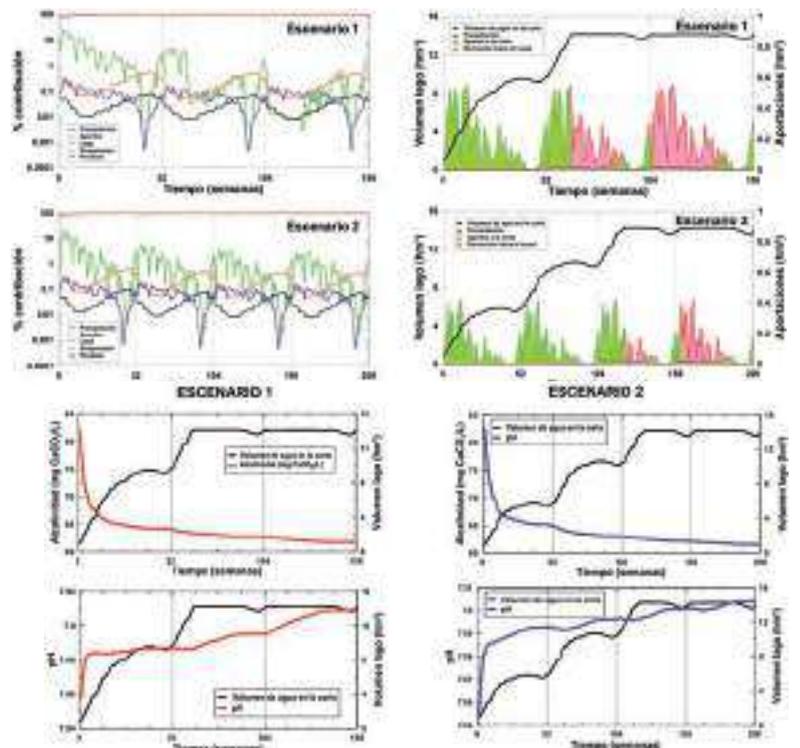
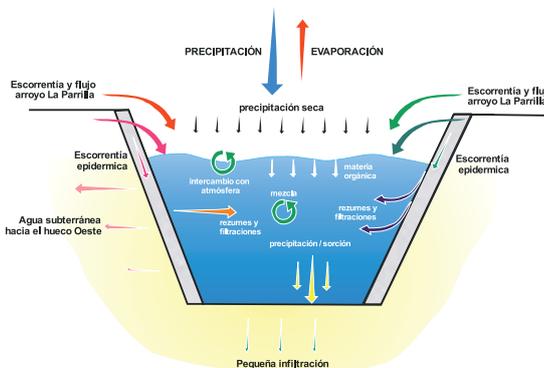
Una vez conocidas las aportaciones, se desarrolló un modelo hidroquímico con el fin de conocer la calidad del agua una vez lleno el hueco, ya que éste comenzaría a verter hacia el río Guadiato. El modelo conceptual hidroquímico del sistema se basa en el modelo hidrológico previo realizado, de tal forma que las masas de aportación y las detracciones de compuestos químicos se realiza a través del flujo advectivo de los caudales aportados y detraídos del hueco, respectivamente.

El proceso de llenado se verificó a través de las aportaciones superficiales, subsuperficiales epidérmicas y de precipitación directa hacia el hueco minero. La calidad asociada a cada una de esas aportaciones se obtuvo de las campañas de análisis de aguas de que se disponía. El programa empleado para la realización de los modelos de mezcla fue el PHREEQC Interactive.



Resultados y Conclusiones

Se realizó un análisis de sensibilidad con dos escenarios, los cuales aportaron resultados análogos. En el primer escenario se estimaron las aportaciones semanales y quincenales en una serie consecutiva de años hidrológicos medios, siguiendo un modelo de llenado procedente exclusivamente de escorrentías superficiales y pérdidas por evaporación, infiltración y flujo subterráneo. En el segundo escenario se estimaron las aportaciones semanales y quincenales, aumentando en el modelo la retención superficial y, en consecuencia, disminuyendo los aportes por escorrentía directa o superficial.



Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por ENCASUR.

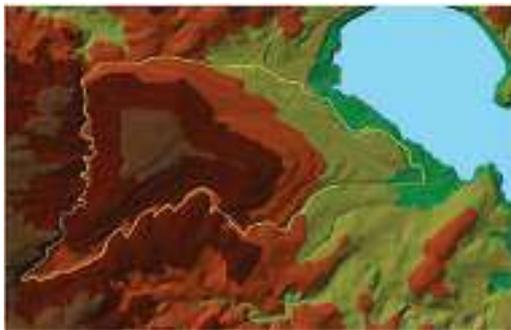
Autores

R. Juncosa Rivera (GEAMA)
J. Delgado Martín (LAMEROC)

Introducción

El origen de la escombrera exterior de la mina de As Pontes de García Rodríguez se remonta a principios de los años 40 del pasado siglo, cuando la Empresa Nacional Calvo Sotelo se implantó en la región. Como consecuencia de la actividad extractiva, se empezó a apilar material estéril en la zona más antigua de la actual escombrera (escombrera Calvo Sotelo).

El material apilado en aquella época consistía en arcillas carbonosas procedentes de las zonas de contacto con el lignito, ricas en materia carbonosa y de elevado contenido en sulfuros, motivo por el cual su alteración conduce a la generación de aguas ácidas en este sector de la escombrera. Como consecuencia de su prolongada historia, la escombrera de As Pontes es un elemento ambiental complejo y heterogéneo, a lo que han contribuido las características de los materiales acopiados con el tiempo, su selección y las propias técnicas de restauración empleadas, hecho que se corrobora con la variabilidad en las características hidroquímicas de las aguas.



Plano topográfico de la escombrera

Objetivos

El objetivo general del estudio es el de comprender mejor el sistema de escombrera, y establecer políticas encaminadas a la gestión de las aguas que llegan al lago y a conocer aquellas técnicas de restauración que se han mostrado más efectivas por evitar la generación de drenajes ácidos.

Metodología

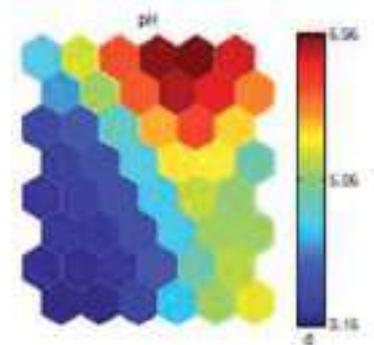
La caracterización hidroquímica de la escombrera establece la medida y el análisis de las principales variables físicas y químicas, que son la expresión de los procesos químicos, físicos y biológicos que suceden en la escombrera. El campo del análisis exploratorio de datos se refiere a la aplicación de una amplia gama de métodos para procesar y analizar datos.

Así, de toda la batería de parámetros analizados se consideró únicamente el pH, C.E., Cl, SO₄, Na, K, Ca, Mg, Al, Fe_{dis}, Mn, Fe_{tot}, por presentar mayor número de datos y por ser suficientes para explicar la heterogeneidad y la evolución temporal de la escombrera. Se aplicaron las técnicas de análisis de componentes principales (ACP), análisis clúster de agrupamiento, mapas auto-organizativos (SOMs) y el análisis de la evolución temporal de cada uno de los grupos. Para ello se consideró el tipo de material apilado, antigüedad, propiedades físicas y caracterización química de los suelos.

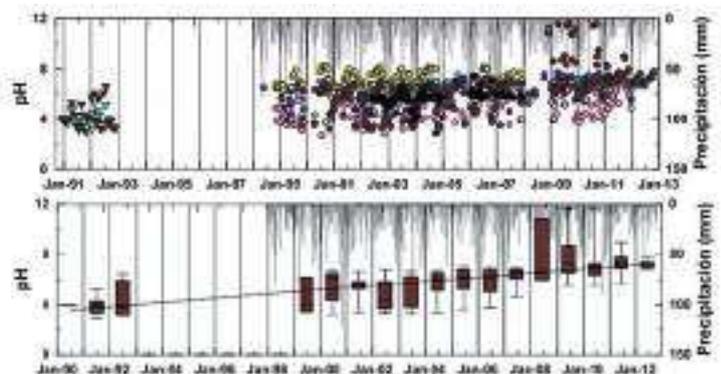
Resultados y Conclusiones

La escombrera es un sistema geoquímicamente dinámico. De ese modo, existe una clara identificación de ciclos estacionales relacionados con la ciclicidad de la estación lluviosa y seca. Sin embargo, no es tan fácil identificar una tendencia a largo plazo en el sentido de observar una naturalización rápida del sistema, a la escala temporal del horizonte de explotación y restauración de la mina. Sí se observa, para ciertos constituyentes, un fenómeno que podemos denominar *maduración hidrogeoquímica*, y que resulta en el establecimiento de un régimen de concentraciones estacionario. Evidencia de la citada maduración es la reducción en la dispersión de valores con el tiempo de la serie histórica, lo cual, a nuestro juicio, ilustra una leve tendencia general de la escombrera hacia su naturalización progresiva.

La calidad hidroquímica general de las aguas de la escombrera está notablemente condicionada por procesos de dilución resultantes de la incorporación de aguas naturales no afectadas por los materiales de escombrera. La principal vía de aportación de estas aguas son sus canales perimetrales. De ese modo, el aporte de agua de esas fuentes mejora la calidad del agua de la escombrera al naturalizarla, esto es, aproximarla a las características de las aguas naturales no afectadas del entorno. El aumento de la precipitación en los meses invernales reduce la concentración de la mayoría de los constituyentes estudiados. Sin embargo, en términos máxicos (es decir, la cantidad de materia movilizada asociada a un cierto caudal circulante), el flujo de materia transportada desde la escombrera (disuelta, como coloides y en suspensión) aumenta también en esos meses.



Mapa auto-organizativo



Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por GASNATURAL FENOSA.

Autores

J. Delgado Martín (LAMEROC)
R. Juncosa Rivera (GEAMA)

J.L. Cereijo Arango (GEAMA)
D. García Morondo (GEAMA)

Introducción

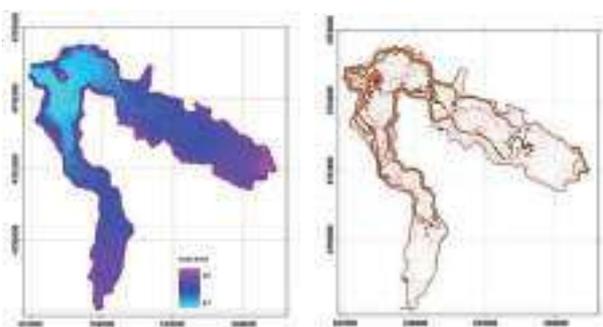
El estudio se enmarca dentro del proyecto Life+ Aqua-Plann, por el que se profundiza en la aplicación de la Directiva Marco del Agua, tomando la cuenca hidrográfica del LIC "Embalse de Abegondo Cecebre" como piloto de la demarcación Galicia-Costa. El Embalse de Abegondo-Cecebre presenta unas características singulares, puesto que tiene relevancia tanto estratégica (abastece el área metropolitana de A Coruña) como ecológica (pertenece a la Red Natura 2000, está catalogado como Lugar de Interés Comunitario y fue declarado como Zona de Especial Protección de los Valores Naturales). El embalse fue construido en los años 70 y tiene una capacidad de unos 23 hm³.



Embalse de Abegondo-Cecebre. Puntos de control

Objetivos

El estudio tiene como objetivo general alcanzar un mejor conocimiento del funcionamiento del embalse de Abegondo-Cecebre para, de esta forma, contribuir en la definición de las estrategias de regulación de esta masa de agua. Para ello se caracterizó y analizó la evolución temporal de la calidad de las aguas del embalse de Abegondo-Cecebre durante un período aproximado de 2 años hidrológicos. Se estudió el grado de colmatación mediante el análisis de la morfometría.



MDT del vaso del embalse

Curvas de nivel del vaso del embalse

Con el fin de caracterizar los sedimentos para explorar los procesos de interacción con el agua, se realizaron dos campañas de muestreo.

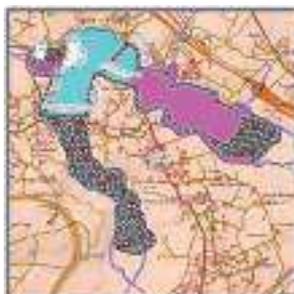
Resultados y Conclusiones

Desde el punto de vista de los sedimentos, se compararon los resultados obtenidos con estándares internacionales, así como con la normativa de suelos, ya que dichos sedimentos se pueden valorar gestionando la acción de depositarlos en el suelo para ser usado con diferentes finalidades.

Se obtuvieron perfiles en profundidad de la calidad físico-química del agua. Los perfiles en profundidad nos muestran que el embalse tiene un comportamiento monomítico. Presenta estratificación, tanto térmica como química, de abril a octubre, sufriendo la inversión térmica entre noviembre y diciembre. En el fondo del embalse, la química está controlada por la descomposición de la materia orgánica depositada, la cual consume el oxígeno disuelto, dando lugar a perfiles clinogradados durante la estratificación, a potenciales redox reductores y a una disminución del pH. En la superficie, los procesos químicos observados responden al desarrollo de fitoplancton (aumento de la concentración de clorofila y/o ficocianina) con la llegada de la primavera, al haber mayor radiación solar.



Batimetría 3D y detalle del recorrido de las campañas



Metodología

Se realizaron varias campañas batimétricas en las que se utilizaron dos modelos de ecosondas (Garmin GPSMap 526s y Valeport Midas Surveyor). Una vez realizadas las campañas se representaron los resultados en un mapa de isóbatas.

Desde el punto de vista de la calidad, se hicieron determinaciones *in situ* de temperatura, conductividad específica, pH, potencial REDOX, oxígeno disuelto, saturación O₂, turbidez, visibilidad Secchi, radiación PAR, Clorofila-A, cianobacterias, y determinaciones en laboratorio de componentes mayoritarios (Na, K, Ca, Mg, F, Cl, SO₄, NO₃, PO₄, CID, COD y COP), metales y metaloides (Fe, Mn, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn), nutrientes (P_{total}/Fosfato, N_{total}, Alcalinidad), contaminantes (Nitrito, Nitro, Amonio, Amoniaco, Plaguicidas, HPAs, COVs, PCBs, Fenoles, Detergentes) y parámetros biológicos (DBO₅, Clorofila-a, coliformes totales, E. Coli, enterococos fecales, Clostridium Perfringens).



Cuchara de Ekman y equipo batimétrico

Mediante la comparación de la batimetría realizada y la cartografía existente anterior a la construcción de la presa, se pudo cuantificar de forma muy aproximada el depósito de sedimentos acaecido desde su puesta en servicio (en el año 1976) hasta la actualidad.



Autores

J. Delgado Martín (LAMEROC)
R. Juncosa Rivera (GEAMA)

J.L. Cereijo Arango (GEAMA)
D. García Morrodo (GEAMA)

Introducción

La Charca do Alligal se encuentra en la población de Codesido, dentro del término municipal de Vilalba, en la provincia de Lugo. El manantial está situado en las proximidades del río San Martiño, al oeste de la localidad de Santaballa, provincia de Lugo.

FADESA INMOBILIARIA S.A. pretendía aprovechar las aguas subterráneas de la zona desde una parcela de la que es propietaria y que está próxima a la denominada Charca do Alligal. Para ello, hubo que realizar un estudio hidrogeológico con el fin de determinar la existencia de agua subterránea en la parcela y si la calidad de la misma tenía las mismas características que las de la charca.

Posteriormente, se hizo el proyecto de aprovechamiento de las aguas evaluando los caudales explotables y el régimen de explotación.



Manantial Charca do Alligal



Arroyos próximos

Objetivos

El objetivo general del estudio consistió en la caracterización hidrodinámica del medio subterráneo y la caracterización hidroquímica de las aguas, tanto de la Charca do Alligal como de las aguas subterráneas del entorno.

Una vez que se caracterizó el medio natural, se procedió al desarrollo del proyecto de explotación de dichas aguas, para lo cual fue necesario determinar los volúmenes y caudales máximos explotables, para no interferir en los niveles de agua en el manantial, así como en los valores de la recarga.

Así mismo, se elaboró, como fin último del proyecto, el régimen de explotación de dichas aguas subterráneas.

Metodología

Para la caracterización del medio geológico, se ejecutaron sondeos con recuperación de testigo. Se identificaron puntos vulnerables de la zona y se ejecutaron dos ensayos Lugeon y dos ensayos de bombeo con el fin de conocer la permeabilidad y el coeficiente de almacenamiento del medio.

El análisis de la contaminación presente en los sedimentos, al contrario que la encontrada en la masa de agua, es indicadora de la contaminación crónica que ha sufrido esta.

Desde el punto de vista térmico, se realizaron diagráfias de temperaturas en los sondeos practicados, obteniendo valores de unos 22°C, similar a la temperatura medida en la Charca do Alligal.



Recuperación de testigo



Perforación para ensayo de bombeo

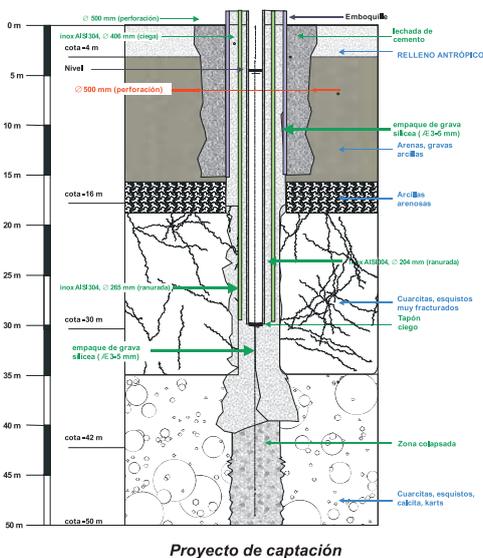
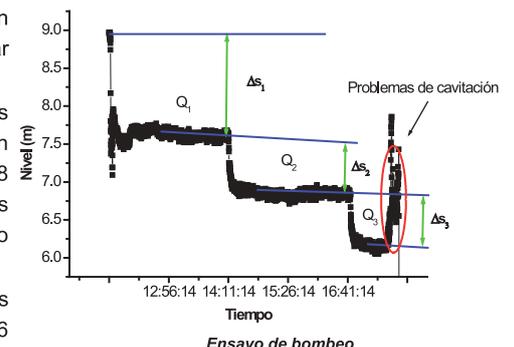
Resultados y Conclusiones

La zona próxima al manantial de la Charca do Alligal se encuentra situada sobre un terreno cuaternario (acuífero somero), por debajo del cual se encuentra una zona muy fracturada (acuífero profundo), siendo un punto de encuentro de dos sistemas de fracturas de direcciones Norte-Sur y Oeste-Este. Debido a la gran fracturación, el acuífero profundo se comporta como un medio homogéneo con permeabilidades altas, mayores que las que podría presentar el macizo rocoso sano.

Las aguas del acuífero profundo son hipotermales y se pueden clasificar como natural mineral.

Se ejecutaron dos pozos cuyos caudales de explotación pueden llegar a los 20-30 L/s durante 8 horas, sin que por ello afecte a los niveles que presenta la Charca do Alligal.

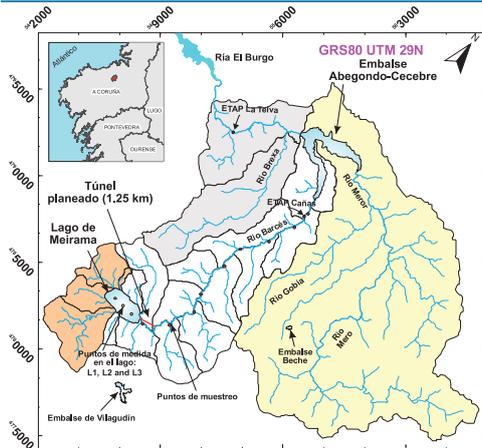
El régimen de explotación de los pozos que se recomendó fue de 6 L/s durante 6 horas.



Autores

R. Juncosa Rivera (GEAMA)
J. Delgado Martín (LAMEROC)

Introducción



La cuenca del río Mero tiene una superficie de 245,05 km², de los cuales 87,9 km² corresponden a la cuenca del río Barcés, que es un afluente del primero; 119,67 km² corresponden a la cuenca del tramo medio del río Mero y 41,87 km² a la cuenca alta. El Barcés, junto con el río Mero, alimenta el embalse de Abegondo-Cecebre (23 hm³), que constituye la única fuente de agua de la ciudad de A Coruña y su área metropolitana.

La mina de Meirama se encuentra situada en la cabecera de la cuenca del río Barcés, que representa unos 33 km² de extensión de área de recepción. El lago minero formado tiene una superficie de 1,9 km² y un volumen de unos 150 hm³. Se ha construido un túnel situado a unos 15 m de profundidad de la cota máxima de vertido, que representa unos 24 hm³.

El hueco minero finalizó el llenado hasta la cota máxima de vertido (171.3 m.s.n.m.) en abril de 2016.

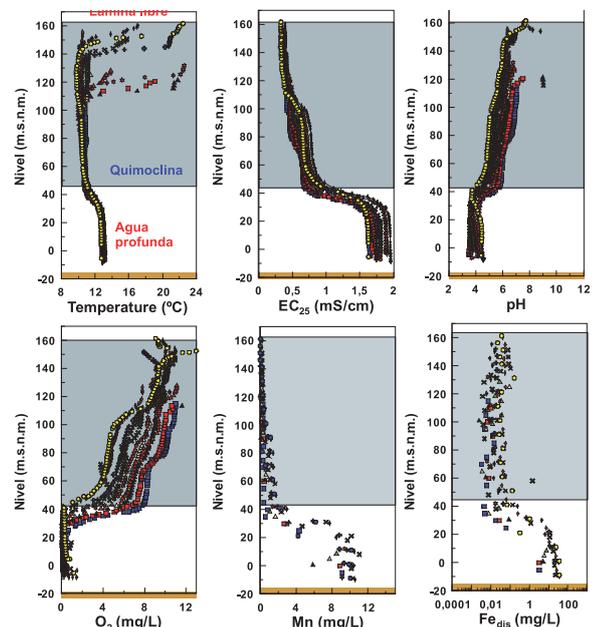
Objetivos

El objetivo general del estudio consistió en analizar, por un lado, la calidad de las aguas en la zona más superficial y, por otro, hacer un estudio de regulación conjunto con el embalse de Abegondo-Cecebre, con el fin de resolver los problemas que pueden surgir en el futuro en situaciones de estrés hídrico.

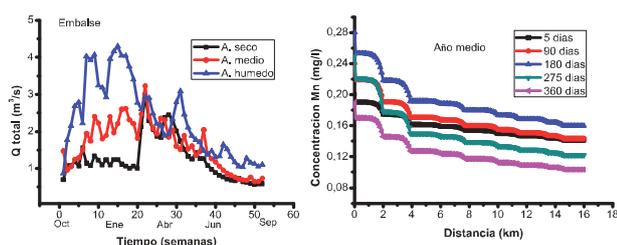
Metodología

Para el estudio se desarrolló un modelo numérico hidrodinámico con el fin de estimar las aportaciones del hueco minero al embalse a través del río Barcés. El programa usado fue MELEF.

El modelo hidrodinámico sirvió para construir un modelo de transporte de solutos. El código utilizado fue el FREECHEM. Se desarrollaron tres escenarios diferentes correspondientes a tres años (seco, medio y húmedo) para determinar la calidad del agua a lo largo de la cuenca del río Barcés, una vez que comience el vertido del lago minero y se mezclen las distintas aportaciones en los tramos medios. Se modelizó el transporte del Mn, el Fe y el Ni, al ser los elementos más cercanos al límite normativo. Para ello se modelizó, con una malla de elementos finitos representativa de los 16 km del río Barcés, el transporte difusivo, advectivo y dispersivo de las tres especies.

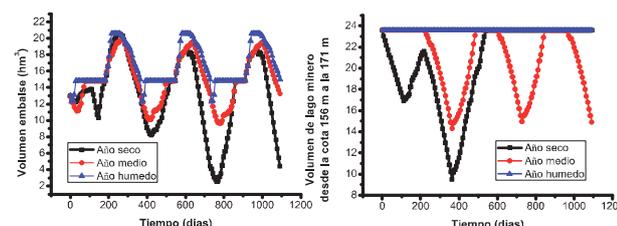


Perfiles en profundidad de parámetros en el lago



Simulación del caudal del Barcés

Simulación del caudal del Barcés



Simulación de la regulación en el embalse

Simulación de la regulación en el lago minero

Resultados y Conclusiones

Del estudio realizado se concluye que el lago aportará aguas con una calidad similar al entorno natural que hay, ya que los 15 primeros metros de profundidad del lago mantienen una calidad homogénea, situándose la quimioclina a unos 150 m de profundidad de la cota de la lámina libre.

Por otra parte, los tramos medios del río Barcés diluirán los aportes de las distintas especies estudiadas. Una vez analizada la capacidad diluyente de la cuenca, se analizó la capacidad reguladora y de laminación del lago minero sobre el embalse.

La gestión del lago no prevalecerá sobre la del embalse, pero podrá el embalse adoptar una mayor capacidad laminadora de avenidas. Se puede concluir que en el caso más desfavorable de año seco, con un aumento poblacional considerable en época estival en A Coruña y alrededores, el lago minero garantizará dicho abastecimiento, aportando además una calidad del agua que no requerirá ninguna medida adicional de tratamiento en la estación depuradora de A Terna.

Así mismo, dicho embalse supondrá una ayuda adicional en la laminación de avenidas en el embalse de Abegondo-Cecebre, al disponer de una capacidad alta de amortiguamiento.

Autores

R. Juncosa Rivera (GEAMA)
J. Delgado Martín (LAMEROC)



Caracterización hidrodinámica

Introducción

El vertedero de cenizas (residuos no peligrosos) procedentes de la combustión del carbón que se quema en la Central Térmica de As Pontes, y que dispone ENDESA GENERACIÓN S.A., se encuentra próximo al parque de carbones de dicha central. Los elementos basales de impermeabilización y drenaje consisten en una lámina impermeabilizadora situada sobre el terreno, sobre la que se deposita grava como material drenante, y varias tuberías ranuradas de recogida de aguas. Así, las aguas procedentes de la infiltración tanto en los taludes laterales como en la plataforma de coronación se concentran, evitando su difusión por el medio subterráneo y superficial.

Objetivos

El objetivo general del proyecto fue la caracterización de las cenizas y del yeso que se forma tanto *in situ* como en laboratorio mediante ensayos hidrodinámicos de campo, ensayos de lixiviación estática y dinámica, y ensayos de caracterización geotécnica.

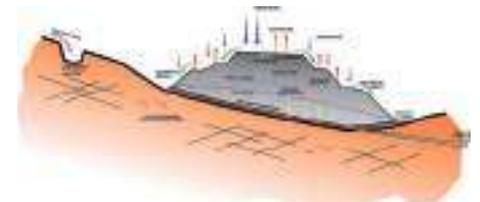
Metodología

Se hizo una caracterización hidrodinámica del material apilado en el mismo, con el fin de determinar el flujo de agua que puede percolar y drenar por la parte inferior del vertedero. Los ensayos hidrodinámicos realizados en el vertedero se han ejecutado siguiendo el método de Porchet. Se ejecutaron en distintos puntos de la plataforma y en los taludes.

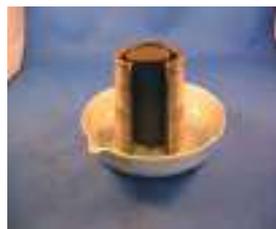
Con respecto a los ensayos geotécnicos, inicialmente se caracterizó el material mineralógicamente, para después realizar ensayos de compactación tipo Proctor normal, y ensayos de resistencia con distintas dosificaciones de ceniza y yeso.

Por otra parte, a su vez, se han realizado varias campañas de campo en las que se aforó el caudal de lixiviado que se conduce a la depuradora a través de una tubería que centraliza toda el agua infiltrada.

Con los parámetros medidos en campo y en el laboratorio se desarrolló un modelo de balance hidrológico, en el cual se estimaron los caudales de lixiviado que se producirían en el caso de que el vertedero aumentase aproximadamente al doble de superficie y se produjesen lluvias de periodo de retorno de 100 años.



Modelo de comportamiento hidrodinámico del vertedero



Ensayos de laboratorio

Resultados y Conclusiones

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la heterogeneidad existente del material apilado por la concurrencia de zonas cementadas, con permeabilidad parecida.

En términos generales, los materiales estudiados (ya sean las cenizas asiladas o las mezclas ceniza-yeso) dan lugar a materiales de buenas características geotécnicas tanto en términos de permeabilidad (baja) como resistencia y capacidad portante (alta).

Desde el punto de vista constructivo se recomendó que el material se transporte lo más seco posible para evitar su cementación. Así mismo, se recomendó el apilamiento por tongadas de unos 25 cm de espesor de ceniza y yeso, de tal forma que se apisone para evitar huecos por donde el agua pueda filtrar e interactuar con el yeso cementándolo.

Por último, con el modelo del balance hidrológico construido se pudo estimar que el caudal máximo de lixiviado que se puede producir en el vertedero completo es de unos 15 L/s para un periodo de retorno de 100 años y un intervalo de confianza del 95%.

Se determinó que el agua principalmente precipitada en las zonas horizontales de plataforma no escurre lateralmente, favoreciéndose su infiltración y evaporación. El agua que precipita sobre los taludes con material esponjado se infiltra, y la única que podría generar escorrentía superficial es la que cae en los taludes compactados y con material cementado. Dicho escurrimiento lateral alcanza la zona de gravas que constituye el sistema de drenaje de fondo del vertedero.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por ENDESA GENERACION.

Autores

R. Juncosa Rivera (GEAMA)
J. Delgado Marín (LAMEROC)

B. Rodríguez Cedrún



Introducción

El embalse de Eugui está situado sobre el río Arga, en el municipio de Esteribar (Comunidad Foral de Navarra), y forma parte de la cuenca hidrográfica del río Ebro. La presa que da lugar al embalse fue construida en 1971, y en su origen constituía una solución complementaria para el abastecimiento público realizado hasta la fecha exclusivamente en el manantial de Arteta (Valle de Olo). En la actualidad su uso prioritario continúa siendo el abastecimiento de Pamplona y de otros municipios integrados en la Mancomunidad de Municipios de Pamplona (MCP).

La cuenca de recepción del embalse ocupa una superficie aproximada de 6900 ha, recibiendo la aportación de cuatro barrancos principales, dos por cada margen: Gurutxaga e Ilungoz por el izquierdo; Subarrondi y Goitean por el derecho.

Objetivos

El objetivo del estudio fue el análisis de la distribución espacial en superficie de los parámetros observados en distintos períodos de tiempo, del alcance de la estratificación en el embalse y las características que presenta su hipolimnion, el régimen de circulación del agua del embalse bajo condiciones de descarga forzada y la distribución de la calidad de las aguas.

Metodología

El principal equipo empleado para el desarrollo de los trabajos fue el YSI EcoMapper® AUV. Se trata de un vehículo autónomo, con capacidad de inmersión controlada y programada, y medida de diversos parámetros mediante instrumental emplazado a bordo. Adicionalmente, se dispuso de las ecosondas Garmin GPSMap 526s y la ecosonda Valeport Midas Surveyor, como soporte para la realización de la batimetría.

La caracterización de las masas de agua se realizó mediante una combinación de técnicas de reconocimiento y muestreo puntual en la que las sondas multiparamétricas aportan información esencial.

El propósito declarado de este desembalse es mejorar la calidad del hipolimnion con vistas a preservar las mejores condiciones posibles en términos de calidad del agua, para así asegurar su uso principal (abastecimiento) y, subsidiariamente, garantizar un buen estado ecológico.

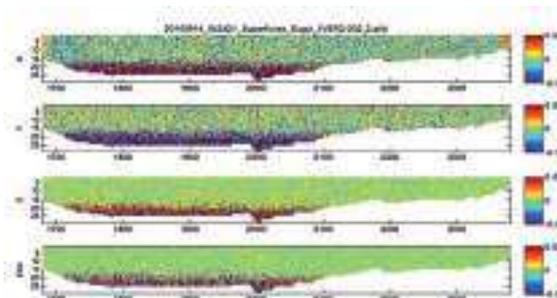
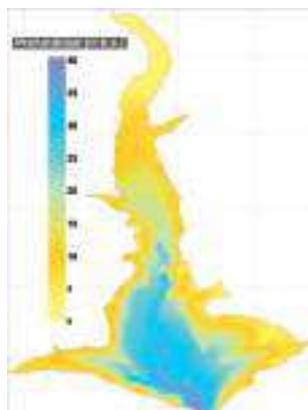
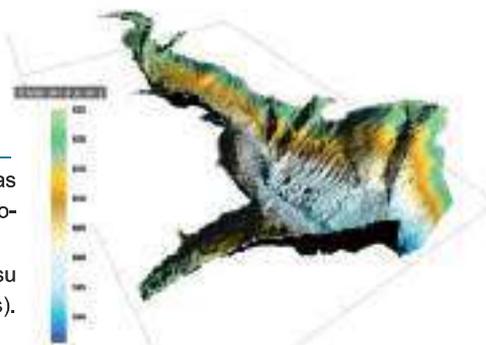
Resultados y Conclusiones

A partir de los datos obtenidos se pudieron obtener representaciones morfométricas esenciales como la curva hipsométrica y la relación cota/volumen, los indicadores morfométricos de la masa de agua y la cartografía batimétrica.

En líneas generales, el embalse de Eugui presenta una distribución homogénea en toda su superficie de los parámetros observados durante periodos de tiempo cortos (días o semanas). Sin embargo, en su comportamiento estacional se perciben ligeros cambios.



Vehículo autónomo subacuático EcoMapper



Con la excepción de la temperatura, los parámetros registrados ponen en evidencia heterogeneidad vertical, tanto en la componente horizontal como en la vertical.

La zona más profunda del hipolimnion presentó un estado hipóxico (anóxico en ciertas localizaciones), lo cual pone en evidencia el desarrollo de fenómenos redox a nivel de la interfaz agua/sedimento que conducen a la liberación de metales y nutrientes.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Mancomunidad Comarca de Pamplona.

Autores

J. Delgado Martín (LAMEROC)
R. Juncosa Rivera (GEAMA)

J.L. Cereijo Arango (GEAMA)
D. García Morrondo (GEAMA)

Introducción

En la Concesión de Explotación de Santa Fe, cuya propietaria es FADESA INMOBILIARIA S.A., existe una captación surgente denominada Los Pastoreros. Dicha captación se localiza en el Término Municipal de Santa Fe (Granada) a 2,5 km al sur del aeropuerto, en el borde meridional de la Vega de Granada, por cuyo eje longitudinal discurre el río Genil.

A partir de las investigaciones realizadas se estimó que el recurso teórico disponible para el yacimiento geotérmico de la Vega de Granada es de 40 hm³/año, y que el salto medio térmico podría ser de 25°C (diferencia entre los 40°C de salida y los 15°C de media de las aguas superficiales de la zona). En este caso el potencial geotérmico se ha evaluado en 10⁹ termias/año.

Objetivos

El objetivo del proyecto es el de aprovechar el recurso geotermal (Sección D de la Ley de Minas de 1973) aplicado al uso de calefacción y uso termal doméstico en el complejo residencial que FADESA tenía proyectado construir en los terrenos que posee en Santa Fe (Granada), compatibilizándolo como aprovechamiento balneario (Sección B de la Ley de Minas de 1973).

Metodología

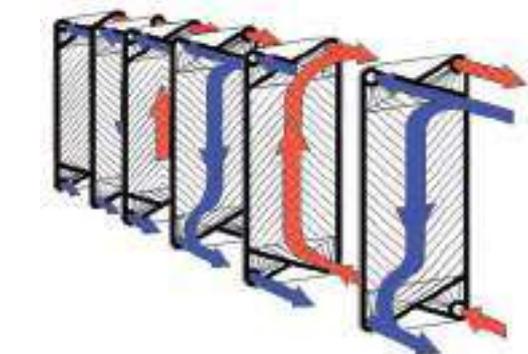
Para ello se analizó el potencial térmico e hidráulico del manantial, así como se caracterizó químicamente el agua.

Las fases del proyecto se dirigieron en la perforación de nuevos sondeos con el fin de obtener más caudal.

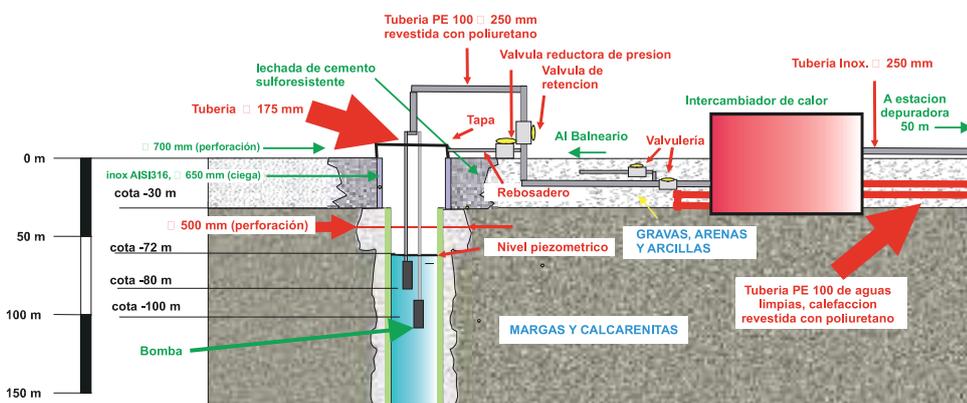
Se estudió el régimen de compatibilidad del uso balneario y del recurso geotermal.

El sistema hidráulico de impulsión fue calculado en función de la demanda y de los caudales máximos aprovechables, sin superar los valores hidrogeológicos de la recarga al acuífero.

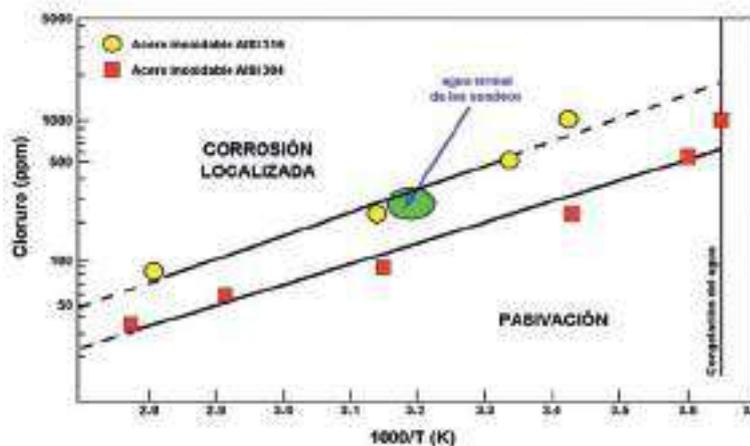
Así mismo, los intercambiadores de calor se diseñaron según el proyecto de calefacción para el conjunto urbanístico.



Diseño del intercambiador de calor



Sistema de aprovechamiento geotermal



Análisis de generación de corrosión en el intercambiador de calor

Resultados y Conclusiones

El proyecto concluyó con el estudio de corrosión de los materiales de entubación por las aguas, caracterizadas de tal forma que se consideró que dichas aguas no afectarían a los entubados de los sondeos. Posteriormente, se calcularon los perímetros de protección de las captaciones. Con respecto al régimen de aprovechamiento, las especificaciones técnicas admisibles de explotación se estimaron en 120 L/s, con un sistema de reutilización de las aguas residuales en forma de recarga artificial.

Autores

R. Juncosa Rivera (GEAMA)
J. Delgado Martín (LAMEROC)



Introducción

El cauce del río Anllóns, a su paso en la zona de San Martiño en Carballo (La Coruña), presenta en planta una trayectoria sinusoidal con pendientes suaves. La existencia de un puente que atraviesa el río situado en la carretera AC-552, en el casco urbano, produce un estrechamiento que actúa, en ciertos casos de avenidas elevadas, como un punto que obtura el paso de las aguas altas.

La existencia de edificaciones a ambos lados del río, y del propio puente de la carretera AC-552, tiene además como consecuencia las limitaciones de actuaciones sobre el cauce del mismo. En dicho punto se presenta una zona de remanso, constituyendo un embudo, con la acumulación de agua en caso de avenidas de períodos de retorno altos. Ello provoca que el agua busque salidas, produciendo la inundación del medio urbano aguas arriba.

Objetivos

Se trata de evaluar diferentes alternativas de actuación en el tramo del río Anllóns correspondiente a la zona de San Martiño, en el casco urbano de Carballo (A Coruña), que hidrológicamente se encuentra en la zona de regamieto para avenidas de períodos de retorno de 100 y 500 años.

Metodología

Se estudió, mediante un modelo hidrológico e hidráulico, y en la situación actual, cuál sería exactamente el caudal a partir del cual se produce el desbordamiento y, en consecuencia, la inundación.

Para la realización del estudio se han aplicado las técnicas de modelización hidráulica de HEC-RAS. Así mismo, también se opera con la información que ofrece el Modelo Digital del terreno (MDT) obtenido con la tecnología LiDAR.

Una vez conocido el caudal de desbordamiento, se analizó cómo influirían diversos parámetros morfológicos y constructivos del canal sobre el área de inundación, para un caudal de avenida de frecuencia alta (es decir, con más probabilidad de producirse) y que igualmente inundase. En este caso, se eligió el caudal de avenida de 10 años de período de retorno para simular distintos escenarios sobre el cauce y las zonas de influencia de las posibles inundaciones, con el fin de comparar la sensibilidad hidráulica del sistema.

Con respecto a los caudales de diseño con los que se han realizado las simulaciones, se han aplicado los correspondientes a los períodos de retorno de 500 años (caudal limitante de la zona inundable) y 100 años (caudal limitante de la zona de policía), así como los correspondientes a las avenidas de 50 y 10 años respectivamente. Estos caudales de diseño son los obtenidos en el estudio hidrológico de la cuenca del río Anllóns hasta su cierre de cálculo.

Resultados y Conclusiones

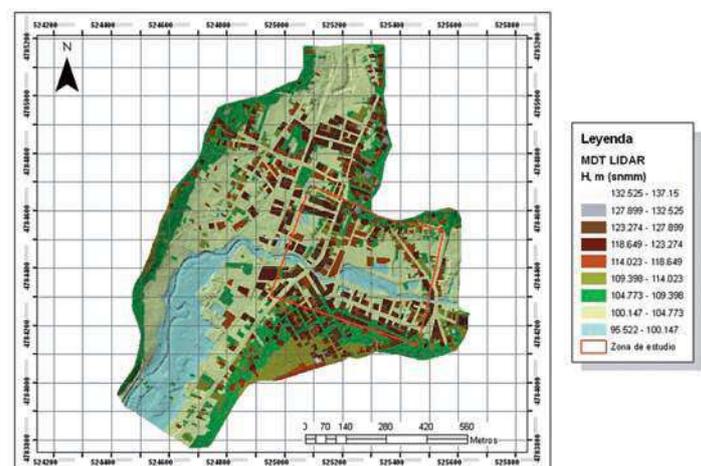
El tramo del río Anllóns que conforma la zona objeto de estudio se encuentra dentro de las Zonas B de riesgo de inundaciones, recogida en el Plan Especial de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones en Galicia (DOG N.º 78 de Abril de 2002), que incluye al río Anllóns a su paso por los ayuntamientos de Carballo y Ponteceso.

Se estimó el caudal a partir del cual se originan desbordamientos aguas arriba del punto más angosto. El valor fue 25 m³/s. Se optó por llevar a cabo una rectificación del canal actuando directamente sobre las secciones transversales del mismo (12 m en la base, pendientes laterales 0,33:1 (H:V) y tirante de 3 m), pendiente (0,00154 m/m) y coeficiente de rugosidad (0,014). Ello mejora la capacidad de desagüe del canal para caudales de 10 años de período de retorno (aproximadamente 113 m³/s), sin producir desbordamientos.

Autores

R. Juncosa Rivera (GEAMA)
M. Álvarez Enjo (GEAMA)

H. García Rábade (GEAMA)





PROYECTOS

Laboratorio de Ingeniería
Ferroviaria y Transportes

Resumen

El objetivo de esta investigación fue el desarrollo de un sistema constructivo de vía en placa para ferrocarriles mediante el empleo de piezas prefabricadas unidas en obra con hormigón autocompactable. Este sistema de vía en placa consta de dos componentes prefabricados, una prelosa de base –que representa también una innovación– y dados prefabricados comerciales que contienen las fijaciones de carril.

Este sistema constructivo reduce la mano de obra y facilita el correcto posicionamiento de la vía respecto al método de hormigonado *in situ*. Además, presenta un acabado liso, adecuado tanto para el tránsito peatonal como para la circulación de vehículos de emergencias sobre neumáticos, en el caso de incidencias.

Objetivos científico-técnicos

El objetivo de este proyecto era el desarrollo de un prototipo de vía en placa específico para instalar en túneles y apto para velocidades de 300 km/h.

Actividades realizadas

- Se llevó a cabo un análisis de las diferentes soluciones de vía en placa existentes o en desarrollo, especialmente de aquellos sistemas susceptibles de ser incorporados o adaptados para su instalación en túneles.
- Se realizó el diseño de un nuevo tipo de vía en placa, especialmente adaptado para su incorporación en túneles, con indicación expresa de los materiales utilizados y el desarrollo de un proceso de cálculo que permitiera su dimensionamiento. La tipología elegida fue la basada en una placa construida *in situ*, en la que se emplean piezas prefabricadas que se unen en obra mediante una técnica de bajo coste. Se parte de una solera de hormigón pobre ejecutada con una regularidad geométrica baja, sobre la cual se sitúa la vía en placa. El diseño propuesto consta de dos piezas prefabricadas: una base constituida por una prelosa (que ha sido desarrollada en este proyecto) y bloques prefabricados (comerciales) que contienen las fijaciones de carril. Ambas partes se unen en obra empleando hormigón autocompactable.
- Una vez definido el proceso constructivo y las líneas generales de la geometría de las piezas intervinientes, se realizó un modelo experimental a escala 1:1, siguiendo el proceso productivo desarrollado previamente. En líneas generales se corroboraron las hipótesis de partida, ya que la construcción y montaje fueron sencillos y rápidos.
- Se llevó a cabo el ensayo de dicho prototipo en laboratorio, según la Question D 170 (1990) del European Rail Research Institute (ERRI), de la Union Internationale des Chemins de Fer (UIC). Este protocolo de ensayo consistía en la aplicación de una carga cíclica que varía entre 2,5 y 90 kN, aplicada en un ángulo de 22° respecto a la vertical y repetida un total de 2 millones de ciclos. Los resultados fueron satisfactorios.



Dados prefabricados comerciales con fijaciones de carril



Hormigonado de la prelosa



Ensamblado de un tramo de vía



Acabado final tras el vertido del hormigón autocompactable

Principales resultados

Se realizó una revisión completa de la tecnología de vía en placa desarrollada hasta la fecha. Se desarrolló un innovador diseño de vía en placa, así como su procedimiento constructivo, especialmente adaptados para su aplicación en túneles ferroviarios.

Los ensayos realizados proporcionaron resultados alentadores para seguir avanzando en su desarrollo. Este diseño se protegió mediante la solicitud de la correspondiente patente.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de las siguientes personas, sin cuyo trabajo y esfuerzo no habría sido posible el desarrollo de esta investigación: María Recarey Buño, Julio César Añón Teijido, Amal Nennatchi, Paula Carballo Pérez, Sabela Solar Vázquez. También desean extender este agradecimiento al personal del CITEEC. Finalmente, los autores agradecen la colaboración de las empresas PRECON, Ingeniería de Vías Elásticas y Prebetong, así como al Ministerio de Educación y Ciencia (proyecto BIA2003.08725), sin cuyo apoyo no habría sido posible la realización del prototipo ni el desarrollo de los ensayos.

Autores

M. Rodríguez Bugarín (UDC)
F. Martínez Abella (UDC)
D. Carro López (UDC)
M. Novales Ordax (UDC)

A. Orro Arcay (UDC)
J. Eiras López (USC)
I. Martínez Lage (UDC)



PROYECTOS

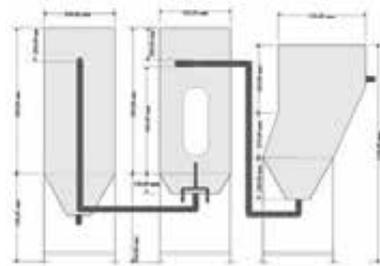
Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Objetivos científico-técnicos

- Demostrar la viabilidad técnica de un proceso biológico basado en membrana tubular autoaireada con aguas residuales urbanas reales.
- Llegar a eliminar nitrógeno en el proceso biopelícula de membrana aireada.
- Determinar los procedimientos de explotación y mantenimiento de este tipo de procesos.
- Desarrollar un proceso de desinfección basado en radiación UV de bajo coste de construcción, mantenimiento y explotación.



Reactor biopelícula de membrana aireada



Esquema planta piloto de reactor membrana

Principales actividades desarrolladas

1. Revisión del estado de la cuestión en tecnologías de membranas emergentes y en desarrollo.
2. Diseño y construcción de dos reactores de membrana tubular aireada, uno a escala piloto y otro a escala de laboratorio.
3. Caracterización hidráulica del reactor de membrana a escala piloto.
4. Evaluación de la transferencia de oxígeno en el reactor de membrana a escala de laboratorio.
5. Evaluación de nitrificación terciaria en reactor de membrana a escala piloto.
6. Evaluación de nitrificación-desnitrificación en reactor de membrana a escala piloto con agua residual doméstica decantada.
7. Evaluación de nitrificación terciaria en reactor de membrana a escala de laboratorio.
8. Revisión del estado del conocimiento en tecnología de desinfección de aguas con aplicación de radiación ultravioleta (radiación UV).
9. Construcción de un reactor piloto de desinfección ultravioleta: prototipo 1.
10. Evaluación de rendimientos de desinfección con el prototipo 1.
11. Diseño y construcción de un prototipo de 40 m³/h, prototipo B.
12. Evaluación del prototipo B mediante ensayos en laboratorio experimental.
13. Montaje y evaluación del prototipo B en una EDAR real.
14. Informe de conclusiones de los estudios.



Biopelícula nitrificante y membrana tubular



Biopelícula nitrificante/desnitrificación

Resultados y Conclusiones

Dos metodologías alternativas de suministro de oxígeno fueron evaluadas para optimizar la nitrificación terciaria en el reactor de membrana aireada. El flujo de oxígeno de tipo bidireccional resultó ser el más eficaz.

La biopelícula desarrollada en un RBMA y explotada en modo batch es viable para nitrificar y desnitrificar. La oxidación de la materia orgánica no representó un obstáculo inhibitor de la nitrificación.

Las tasas de oxidación resultaron bajas por el modo de explotación batch y por la reducida superficie específica de la membrana soporte, que solo fue de 23 m²/m³, inferior incluso a la de un lecho bacteriano relleno de grava.

Sin embargo, esto es mejorable tecnológicamente, y se podrían desarrollar membranas con valores de cientos de m²/m³ como superficie específica.

Finalmente, el máximo flujo de oxígeno con las membranas limpias fue de 2.4 g/m²/d. Sin embargo, una vez desarrollada la biopelícula mixta, los balances de materia señalan que el flujo de oxígeno puede alcanzar valores de hasta 3.1 g/m²/d.

Con la biopelícula nitrificante el flujo máximo de oxígeno fue de 2.6 g/m²/d.

Las pruebas con diferentes dosis de radiación UV demostraron que ambos prototipos fueron capaces de reducir hasta en 4 U-log la concentración de Coliformes fecales.

La reducción se ve afectada negativamente por la presencia tanto de sólidos en suspensión como de materia orgánica. Así, la eficiencia del tratamiento secundario de una EDAR será un factor determinante en el funcionamiento óptimo de un reactor de desinfección por radiación UV.

Adicionalmente, como las lámparas UV se instalan por encima de la superficie libre del agua, también será importante controlar y minimizar la presencia de materiales flotantes.



Vista general del reactor de desinfección con lámparas UV no inundadas: prototipo B.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el Plan Gallego de Innovación y Desarrollo Tecnológico. Tecnologías Ambientales (Ref. PGIDIT02TAM05E y PGIDIT04PXIA11801PR).

Autores

A. Jácome Burgos (UDC)
J. Suárez López (UDC)
J. Molina Burgos (GEAMA)

A. Yáñez (Russula)
H. Del Río Cambeses (GEAMA)
M. Recarey Pérez (GEAMA)

Objetivos científico-técnicos

El objetivo general de este estudio fue evaluar el rendimiento de un sistema de biodiscos a escala real, en cuanto a la oxidación de materia orgánica total y soluble, y de amonio por nitrificación.

Los objetivos específicos fueron:

- Verificar que el efluente final de la EDAR cumpla con los límites legales de vertido.
- Evaluar la eficacia de cada etapa del sistema.
- Caracterizar las cinéticas de eliminación de materia orgánica soluble y de nitrificación.



Vista general de la EDAR de Limiñón (Abegondo, Galicia)

Actividades realizadas

1. Comprobación mediante mediciones *in situ* de las características de la EDAR de Limiñón (Abegondo), y en particular del sistema de biodiscos: longitud de ejes de los biodiscos, diámetro de los biodiscos, número de biodiscos por etapa, calado de agua por etapa, comprobación de la velocidad de giro de los discos, etc.
2. Montaje de estaciones de control en las secciones de entrada y de salida del tratamiento secundario, es decir, a la entrada a los biodiscos y a la salida del decantador secundario. Las estaciones contaban con equipos automáticos para la toma de muestra y varios medidores en continuo (por ejemplo: pH, Conductividad). En la sección de entrada se instaló también un medidor de caudal afluente.
3. Instalación de sondas de medición en continuo. En la primera etapa de los biodiscos: OD y UVAS-254. En la segunda etapa: amonio.
4. Campañas de caracterización físico-química de las aguas mediante perfiles bihorarios y muestra compuesta, en varios puntos del sistema: afluente al reactor de biodiscos; afluente a la etapa 2 y efluente final del decantador.

Resultados

La EDAR evaluada fue la del núcleo de Limiñón (Abegondo), de aproximadamente 400 habitantes. Los caudales diarios variaron de 125.4 a 394.9 m³/d (promedio = 224.8 m³/d, 60 días de mediciones).

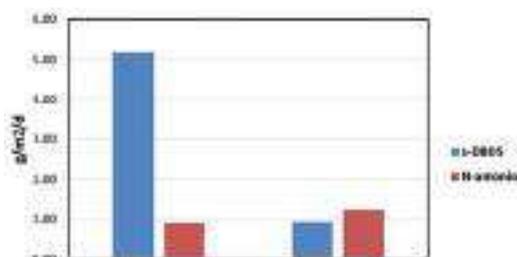
En régimen horario el caudal medio fue 9.4 m³/h, y el máximo 19.9 m³/h (coeficiente punta = 2.1). El caudal diario medio representa una dotación de saneamiento de 562 L/h-e/d. Esta dotación resulta ficticia, y sugiere un elevado grado de infiltración de aguas freáticas.

El territorio se caracteriza por tener una pertinaz pluviosidad, sobre todo en invierno-primavera. La lluvia caída durante el periodo de estudio fue de 197.9 mm (Estación "Mabegondo" de MeteoGalicia).

Conclusiones

El sistema de biodiscos alcanzó rendimientos de 79, 83, 61, 80 y 84% de DBO₅ soluble (s-DBO), DBO₅ (DBO), DQO soluble (s-DQO), DQO, y nitrógeno amoniacal. Bajo las condiciones estudiadas el sistema funcionó adecuadamente para la eliminación de DBO, DQO y SS.

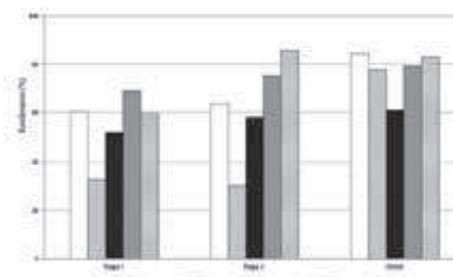
Los valores promedio (en mg/L) de estos parámetros, 21/63/21, están muy por debajo de los límites exigidos en la autorización de vertido (25/125/35 mg/L; ver tabla).



Cargas oxidadas de s-DBO5 y amonio por etapa de biodiscos

Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente	Límite ^(a)	Rendimiento
pH		7.39 ± 0.41	7.00 ± 0.37		
Conductividad	µS/cm	483 ± 97	403 ± 104		
Alcalinidad	mg/L	147 ± 33	55 ± 33		
SS	mg/L	142 ± 123	21 ± 9	35	85.2%
SSV	mg/L	94 ± 71	15 ± 6		
DBO ₅	mg/L	128 ± 51	21 ± 7	25	83.5%
DBO ₅ -soluble	mg/L	48 ± 26	10 ± 4		
DQO	mg/L	314 ± 240	63 ± 25	125	79.9%
DQO-soluble	mg/L	92 ± 49	36 ± 16		
NT	mg/L	25.0 ± 8.0	16.3 ± 4.6		
NT-soluble	mg/L	17.1 ± 6.0	15.2 ± 3.7		
NTK	mg/L	23.6 ± 7.8	5.8 ± 2.9		
Amonio	mg N/L	14.5 ± 4.9	2.3 ± 1.6	15 ^(b)	84.1%
Nitrato	mg N/L	1.20 ± 0.83	10.4 ± 2.4		
Nitrito	mg N/L	0.17 ± 0.10	0.44 ± 0.12		
(a)	Establecido para el efluente de un tratamiento secundario (Directiva 91/271/CEE)				
(b)	Efluente de un tratamiento secundario con nitrificación parcial (Aguas de Galicia, 2007)				

Resumen global de valores promedio ± desviación estándar (número de muestras, n = 17; excepto DBO₅-soluble y DQO-soluble, donde n = 8). Tipo muestras: simples y compuestas. Temperatura agua: 14.4 a 18.7 °C



Rendimientos observados por etapa en el sistema de biodiscos

El afluente resultó ser un agua residual de concentración débil porque se produce una gran infiltración de aguas freáticas a la red de saneamiento durante el tiempo húmedo. Así, en la etapa 1 de los biodiscos ya se produjo nitrificación a una tasa promedio de 0.96 g N/m²/d, mientras que la correspondiente velocidad de oxidación orgánica fue de 5.17 g s-DBO/m²/d. En la etapa 2, la tasa de nitrificación alcanzó un valor promedio de 1.23 g N/m²/d, mientras que la de oxidación orgánica apenas fue de 0.91 g s-DBO/m²/d.

Autores

A. Jácome Burgos (UDC) J. Molina Burgos (GEAMA)
J. Suárez López (UDC) S. Vieito Raña (GEAMA)
D. Torres Sánchez (GEAMA) P. Ures Rodríguez (GEAMA)

Objetivos científico-técnicos

La EDAR de Dormeá, concello de Boimorto (A Coruña), se diseñó siguiendo las Directrices de Saneamiento en el Medio Rural de Galicia (DSMRG). La EDAR se dimensionó para servir a una aglomeración rural de 200 habitantes, y su línea se compone de fosa séptica (tratamiento primario) más humedal artificial de flujo horizontal sub-superficial (tratamiento secundario).

La red de saneamiento de la aglomeración es de tipo separativo. El principal objetivo de este estudio fue la validación a escala real de los criterios de diseño del humedal artificial.

Los objetivos específicos comprendían:

- Evaluar el cumplimiento de los límites de vertidos establecidos al efluente de la EDAR.
- Evaluar el rendimiento de cada etapa de la línea de depuración, y en particular del humedal.
- Establecer buenas prácticas de explotación y mantenimiento para estos sistemas.



Planta general del sistema de tratamiento de EDAR de Dormeá



Aspecto del humedal en mayo de 2012



Aspecto del humedal en mayo de 2014

Actividades realizadas

Instalación de secciones de control: se definieron 3 secciones de control (ver figura). En cada una de ellas se instalaron equipos automáticos de toma de muestra para la realización de perfiles horarios de contaminación, así como para la toma y análisis de muestras compuestas.

Adicionalmente, en el punto 2 se instaló un sistema de medición de caudal de aguas residuales que trata la EDAR.

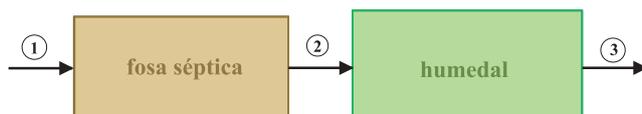


Diagrama de EDAR : (1) entrada; (2) salida de fosa séptica; y (3) efluente final

Medición de caudal: se midió el caudal con registro cada cinco minutos durante un periodo de seis meses, incluyendo tiempo seco y húmedo. Con los registros se elaboraron "fichas de caudales", en las que se representaron gráficamente los datos y se presentaron los principales parámetros descriptores de los caudales medidos. Con los registros de caudal y las mediciones de concentración contaminante se evaluó la carga o flujo másico diario de contaminación aplicado al humedal artificial.

Medida de contaminación: se midió la concentración de varios contaminantes en tres puntos: entrada a la EDAR, salida de la fosa séptica y efluente final: conductividad, pH, Turbidez, OD, Alcalinidad, DQO (total y soluble), DBO₅ (total y soluble), sólidos en suspensión (fijos y volátiles), sólidos sedimentables, Nitrógeno (total, amonio, nitrato, nitrito), Fósforo total y Coliformes Fecales.

Parámetro	Unidad	Muestras compuestas (n=8)			Todas las muestras (n=25)		
		AF	EF-1	EF-2	AF	EF-1	EF-2
pH		7.1 ± 0.1	7.0 ± 0.1	7.2 ± 0.2	7.2 ± 2.0	7.0 ± 0.2	7.1 ± 0.3
Conductividad	µS/cm	420 ± 109	454 ± 140	385 ± 124	646 ± 456	470 ± 255	397 ± 158
Turbidez	UFT	52 ± 31	49 ± 26	17 ± 19	121 ± 159	49 ± 36	16 ± 13
SS	mg/L	55 ± 28	48 ± 33	14 ± 13	163 ± 228	45 ± 35	13 ± 13
SSV	mg/L	53 ± 23	41 ± 19	8 ± 4	116 ± 141	34 ± 22	8 ± 6
DBO	mg/L	151 ± 71	127 ± 65	22 ± 16	275 ± 251	105 ± 76	17 ± 12
s-DBO	mg/L	63 ± 33	68 ± 41	14 ± 9	113 ± 116	69 ± 51	16 ± 13
DQO	mg/L	270 ± 102	245 ± 97	44 ± 24	483 ± 444	203 ± 130	42 ± 25
s-DQO	mg/L	124 ± 72	123 ± 79	31 ± 16	235 ± 204	123 ± 95	34 ± 20
Alcalinidad	mg/L	124 ± 34	142 ± 52	144 ± 48	199 ± 149	159 ± 101	144 ± 74
Amonio	mg N/L	16 ± 7	19 ± 9	13 ± 4	24 ± 21	21 ± 16	12 ± 7
Nitrato	mg N/L	0.21±0.15	0.17±0.20	0.05±0.04	0.85±0.73	0.34±0.41	0.09±0.09
Nitrito	mg N/L	0.11±0.14	0.02±0.01	0.02±0.01	0.16±0.17	0.0±0.04	0.02±0.01
NT	mg/L	24 ± 10	26 ± 11	15 ± 5	41 ± 34	29 ± 22	14 ± 8
s-NT	mg/L	20 ± 8	22 ± 10	15 ± 4	29 ± 23	25 ± 19	15 ± 8
PT	mg/L	3.2 ± 1.5	3.3 ± 1.6	2.2 ± 1.0	5.6 ± 5.1	3.5 ± 2.5	1.8 ± 1.1
C. Fecales	ufc/100 mL	2.1E+07	N.M.	9.9E+04	3.5E+07	1.6E+07	2.4E+05

Resumen global de valores promedio ± desviación estándar

La composición media del efluente de la EDAR en DBO₅/DQO/SS fue de 17/42/13 mg/L, respectivamente. Los resultados sugieren que el sistema puede cumplir con seguridad los límites de DBO, DQO y SS establecidos como Objetivo de Vertido 2 (OV-2) por las DSMRG.

Los resultados sugieren que el control de esta tipología de EDAR basada en sistemas de humedales se debería hacer mediante la toma de muestras simples del vertido final. No es recomendable exigir la evaluación del rendimiento de la EDAR, porque esto obligaría a tomar muestra compuesta del afluente debido a la gran variabilidad horaria de su composición.

El rendimiento tanto de la EDAR (global) como del humedal (en particular) respecto a DBO y DQO fue muy estable e independiente de los diferentes parámetros que afectan al diseño y funcionamiento, como son, principalmente: la carga orgánica, la carga hidráulica y el TRH.

Autores

A. Jácome Burgos (UDC)
J. Suárez López (UDC)
D. Torres Sánchez (GEAMA)
J. Molina Burgos (GEAMA)

S. Vieito Raña (GEAMA)
P. Ures Rodríguez (GEAMA)
M. Recarey Pérez (GEAMA)

Objetivos científico-técnicos

La historia de explotación de la EDAR actual de Lagares ha puesto de manifiesto la llegada de abundantes flujos sólidos a través del alcantarillado unitario. En su desarenador-desengrasador aireado se ha constatado una extracción abundante de arenas, sobre todo en época de lluvias.

También se cita como problema histórico, asociado a la presencia de arenas en exceso, el sufrido en los digestores anaerobios de la línea de fangos por la acumulación excesiva de arenas, que llegó a bloquear los sistemas de agitación y mezcla de los mismos, además de anular parte del reactor, con lo que los procesos quedaron afectados.

El objetivo principal de este proyecto de investigación era aportar la información técnica suficiente para determinar el grado de afección de los flujos sólidos, y más en concreto las arenas, al correcto funcionamiento de la línea de lodos de la EDAR provisional y de la EDAR futura.

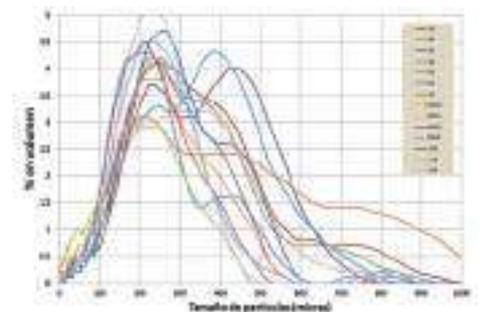


Actividades realizadas

- **Revisión de criterios técnicos, experiencias y recopilación de información sobre el desarenador y decantación primaria actuales.**
Conocimiento pormenorizado de los parámetros de diseño de las infraestructuras de desarenado (actual y futura) y de la decantación primaria actual, y características de funcionamiento actual del desarenador y de la decantación primaria en diferentes condiciones meteorológicas (tiempo seco y de lluvia).
- **Valoración de la suficiencia y déficits de información disponible.**
En base al análisis de la información disponible, se determinó la fiabilidad y suficiencia de la misma. Teniendo en cuenta los déficits de información detectados, se planificó una campaña de campo para conocer los rendimientos de eliminaciones de granulometrías del desarenador y la caracterización del fango primario para diferentes condiciones de funcionamiento de caudales y cargas de la EDAR.
- **Planificación de la campaña de campo.**
Se definió una campaña de campo a realizar para solventar los déficits de información detectados.
- **Recopilación de información sobre criterios técnicos y de diseño del desarenador futuro.**
Se buscó conocimiento pormenorizado de la configuración, objetivos iniciales y justificación de diseño de proyecto, parámetros ingenieriles de diseño, geometrías y sistemas, capacidad y régimen de introducción de aire para poder predecir su comportamiento a partir de los resultados de rendimientos de eliminación de granulometrías de "arenas" del desarenador actual.



- **Análisis de los rendimientos del desarenador actual.**
Se buscó determinar la distribución granulométrica de los sólidos en suspensión que alcanzan la decantación primaria tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia, para poder correlacionar rendimientos del desarenador con los diferentes caudales y cargas afluentes al mismo.
Se buscó la distribución granulométrica de las arenas extraídas del desarenador en diferentes condiciones meteorológicas.
- **Caracterización de fangos primarios.**
Se buscó determinar la distribución granulométrica y las concentraciones de los fangos primarios en diferentes condiciones meteorológicas, para ver la influencia en las unidades de la línea de fangos (hidrólisis térmica, digestor anaerobio y deshidratación).



Conclusiones

Se determinó la necesidad de instalar un equipo desarenador de fangos con el fin de limitar la llegada de "arenas" a la nueva línea de fangos (hidrólisis térmica, digestores anaerobios y deshidratación). Este equipo se consideró necesario tanto en la fase de "línea de agua provisional" como en la línea de agua definitiva.

Autores

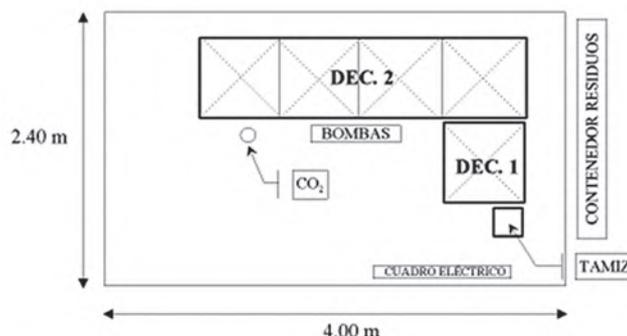
J. Suárez López (UDC) J. M. Álvarez-Campana (UDC)
A. Jácome Burgos (UDC) M. Recarey Pérez (GEAMA)

Objetivos científico-técnicos

Establecer los criterios de diseño de una planta móvil para el tratamiento *in situ* de las aguas de lavado de hormigoneras, para obtener un efluente con la calidad adecuada para que cumpla con objetivos de reutilización o, en su caso, de vertido a medio receptor.

Actividades realizadas

- Análisis de la relación entre el sector de la construcción, el agua y el medio ambiente.
- Problemática de las aguas de lavado de hormigoneras.
- Análisis de la normativa sobre vertidos de aguas residuales, nacional e internacional.
- Descripción de las alternativas de gestión y/o tratamiento de aguas de lavado en obra de camiones hormigonera.
- Campaña de caracterización de las aguas de lavado producidas en tres obras civiles de distinta categoría: paso soterrado de vía (Narón), tercera ronda (A Coruña) y edificación (Mesoiro).
- Ensayos de tratabilidad físico-química.
- Establecimiento de criterios de diseño de un sistema de tratamiento *in situ*.
- Dimensionamiento de una planta modular (prototipo).



Esquemática de la línea de agua: caso 2 (4 camiones por hora)

Muestra A: Con limpieza en seco previa
Muestra B: Sin limpieza en seco

	Unidad	Muestra A	Muestra B
pH		12,5	12,6
Turbidez	UFT	11	85
Conductividad	mS/cm	9,39	17,12
Alcalinidad "p"	mg CaCO ₃ /L	2120	3840
Alcalinidad "m"	mg CaCO ₃ /L	2160	3960
Sólidos Totales	g/L	26,4	412,3
STV	g/L	2,2	38,3
Sólidos en suspensión	g/L	18,8	404,3
SSV	g/L	1	26,3
DQO	mg O ₂ /L	32	130
Aceites y grasas	mg/L	N.M.	N.M.
Cromo VI	mg/L	0,042	0,141
Cromo total	mg/L	0,077	0,228

Aguas de lavado de camión-hormigonera. Obra: 3ª ronda. (14 mayo 2008)

Conclusiones

Los análisis también confirman que el otro parámetro contaminante significativo es el pH y la alcalinidad asociada. Igual que los sólidos en suspensión, las muestras tomadas después de un lavado con limpieza en seco previa presentan una alcalinidad más baja.

Nuevamente hay que destacar el doble efecto beneficioso de recuperar todo el hormigón posible de las canaletas antes de lavarlas: menos consumo de agua y menos contaminación.

Además de repercutir positivamente sobre el ambiente, tendría el mérito de reducir significativamente los costes de explotación de una planta de tratamiento.

En cuanto a tratabilidad, se demostró que con limpieza en seco la producción de lodos puede reducirse drásticamente de 685 mL/L generados en un lavado sin limpieza en seco, se pasaría a un volumen de 125 mL/L si se procediera a la limpieza en seco previa.

La secuencia de procesos u operaciones podrá comprender: Desbaste, Decantación, Neutralización y Filtración (opcional).

Resultados

Los datos destacan que los sólidos en suspensión constituyen el contaminante más significativo de las aguas de lavado de hormigonera.

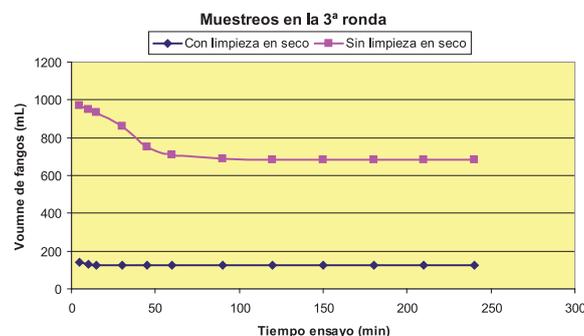
La diferencia observada en concentración de sólidos en suspensión (puede ir de 20 a 400 g/L) obedece fundamentalmente a dos factores:

- El volumen de agua utilizado en el lavado.
- La recuperación que haga el operario del hormigón remanente en las paredes de las canaletas del camión-hormigonera.

La producción de lodos podría reducirse un 95 %, dependiendo de lo exhaustiva que sea la limpieza previa en seco.

Los volúmenes de agua para lavado no son constantes. Sin limpieza previa en seco se produce un promedio de 30 litros de aguas de lavado, mientras que con limpieza en seco menos de 12 litros.

Por lo tanto, una buena recuperación de los restos de hormigón de las paredes de las canaletas redundará en un menor consumo de agua, así como en una menor producción de residuos.



Efecto de la limpieza en seco previo al lavado de las hormigoneras sobre la producción de fangos de depuración. Muestras tomadas en la obra de la 3.ª ronda

Autores

A. Jácome Burgos (UDC) S. Vieito Raña (GEAMA)
J. Suárez López (UDC) H. Del Río Cambeses (GEAMA)
J. Molina Burgos (GEAMA) P. Ures Rodríguez (GEAMA)

Objetivos científico-técnicos

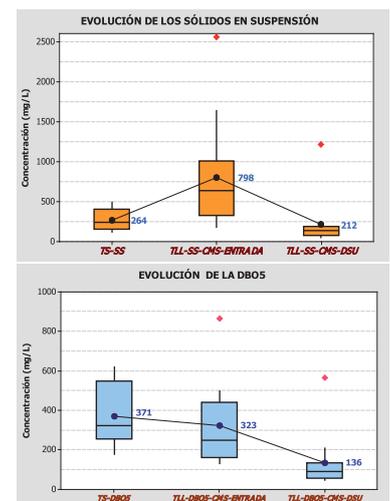
El destinatario final de los resultados del contrato era el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). Dentro del ámbito de competencias del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, la Dirección General del Agua tiene por objetivos, entre otros, el estudio, planificación y control generales de los sistemas de saneamiento, incluida la contaminación producida por los mismos a los medios receptores en tiempo de lluvia.

En este sentido, los desbordamientos de los sistemas unitarios (DSU) son una de sus principales fuentes de contaminación y, para reducirla, se ha ido acometiendo en los últimos años la construcción de tanques de tormenta en toda España. Sin embargo, los criterios y objetivos utilizados para su dimensionamiento y diseño han sido muy dispares, y a veces confusos.

La Subdirección General de Infraestructuras y Tecnología del MAGRAMA consideró necesario desarrollar un estudio que permitiese caracterizar los flujos en tiempo de lluvia en varias cuencas piloto dotadas de tanques de tormenta anti-DSU.

Esta voluntad se materializó con el desarrollo de la "Asistencia Técnica para la identificación, evaluación y seguimiento de los tanques de tormenta, y redacción de un manual de recomendaciones para su diseño", llevado a cabo por la empresa AQUALOGY con la colaboración del GEAMA de la Universidade da Coruña.

En esta asistencia técnica, entre otras actividades, se realizó un inventario de los tanques de tormenta existentes en España y, después de analizar sus características y bondades, fueron seleccionados cinco para realizar en ellos campañas de caracterización de flujos en tiempo de lluvia. Finalmente se seleccionaron dos tanques de tormenta en la ciudad del Lugo, uno en Barcelona, uno en Alicante y uno en Madrid, todos con características de diseño diferentes y en regiones con régimen de lluvias también diferentes. Los cinco depósitos fueron dotados de instrumentación que permitía medir las variables hidráulicas (caudales y niveles) y la toma de muestras (mediante tomamuestras automáticos) en diferentes puntos de interés en cada infraestructura.



Actividades realizadas

- Asesoramiento durante las tareas de recopilación de información. Marco Legislativo y Normativo de las DSU.
- Asesoramiento durante las tareas de inventario de los tanques de tormenta.
- Colaboración durante las tareas de diagnóstico de la situación actual.
- Responsable de las tareas de análisis y valoración crítica de los criterios de diseño de los tanques de tormenta.
- Durante el análisis de los tanques de referencia:
- Responsable de las tareas de elaboración de protocolos generales, diagnóstico preliminar de cada tanque, análisis de la información obtenida y valoración final.
- Responsable único de la adecuación, así como de la campaña de toma de datos, en dos depósitos de tormenta.
- Responsable de las tareas de establecimiento de criterios para las normas técnicas de tanques y aliviaderos.
- Colaboración en la redacción de un manual de recomendaciones para el diseño de tanques de tormenta y aliviaderos.
- Colaboración en la divulgación de los resultados de estudio.
- Colaboración en la elaboración del informe final.



Autores

J. Suárez López (UDC)	M. Regueiro Picallo (GEAMA)
J. Puertas Agudo (UDC)	P. Ures Rodríguez (GEAMA)
J. Anta Álvarez (UDC)	M. Recarey Pérez (GEAMA)
A. Jácome Burgos (UDC)	J. Abella Jané (GEAMA)
J. M. Álvarez-Campana (UDC)	

Objetivos científico-técnicos

El objetivo general fue la evaluación del funcionamiento y calibración del diseño de un lecho aireado sumergido aplicado al tratamiento de agua residual urbana para la reducción de materia orgánica (DBO, DQO) y nitrógeno total (NT). Para esto, en el 2010 se construyó e implantó un sistema a escala real en la Planta Municipal de Tratamiento de Aguas Residuales de Abegondo (Galicia, España).

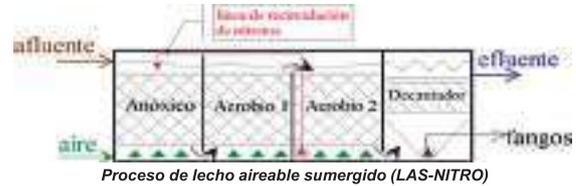
Este municipio posee una red unitaria de saneamiento.

La planta experimental fue diseñada para servir a una población de 200 habitantes-equivalentes (h-e), siendo 1 h-e = 60 g DBO₅/día, tal como señala la Directiva 91/271/CEE.

Otros objetivos del proyecto fueron evaluar el consumo energético y la producción de lodos del proceso.

Principales actividades desarrolladas

1. Diseño de la planta experimental a escala real.
2. Proyecto y construcción de la planta en hormigón prefabricado.
3. Transporte, instalación y puesta en marcha de la planta experimental.
4. Explotación y control del funcionamiento de la planta durante 15 meses. La planta fue sometida a variaciones de carga contaminante mediante cambios en el caudal alimentado.



Proceso de lecho aireado sumergido (LAS-NITRO)

Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente
DBO ₅	mg/L	370 (250)	11 (7)
DQO	mg/L	1015 (686)	58 (28)
NTK	mg/L	59 (40)	10 (7)
NT	mg/L	60 (39)	15 (6)
N-NO _x ^a	mg/L	1.3 (1.2)	5.0 (3.0)
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	162 (156)	75 (44)
pH		7.10 (0.21)	7.26 (0.21)

^a N-NO_x⁻ = N-NO₂⁻ + N-NO₃⁻
Concentraciones promedio ± desviación estándar del afluente y efluente del proceso LAS/LAnS en estado estacionario (muestras compuestas 24-h y n° 26)



Planta experimental instalada



Relleno Bionet



Relleno Bionet instalado



Relleno cubierto de biopelícula

Resultados y Conclusiones

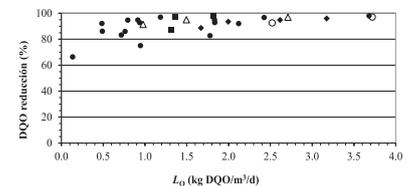
Los valores promedio de las concentraciones de DBO₅, DQO y NT en el afluente fueron 370, 1015 y 60 mg/L, respectivamente. La planta piloto produjo un efluente de muy buena calidad durante su funcionamiento en estado estacionario. Las concentraciones promedio de DBO₅, DQO y NT en el efluente final fueron 11, 58 y 15 mg/L, respectivamente.

La planta piloto fue diseñada para tratar las aguas residuales de una aglomeración de 200 h-e (12 kg DBO₅/d, Q = 0.46 L/s). Sin embargo, debido a la elevada concentración del afluente, el reactor consiguió tratar con gran eficacia una carga correspondiente a 480 h-e (28.8 kg DBO₅/d, Q = 1.2 L/s). Con carga orgánica correspondiente a 480 h-e, los porcentajes de eliminación alcanzados para DBO₅, DQO y NT fueron 98, 97 y 78%, respectivamente. Esta es una constatación de la capacidad de este proceso para absorber sobrecargas hidráulicas y de contaminación mientras mantiene un rendimiento estable.

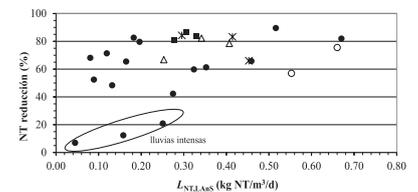
La desnitrificación fue realizada usando la propia materia orgánica del agua residual doméstica. En la celda o etapa anóxica se utilizó aireación intermitente para mejorar la tasa de desnitrificación. En este proyecto, la pre-desnitrificación con un lecho aireado sumergido ha demostrado ser un proceso muy eficaz para la eliminación avanzada de NT. La aireación intermitente y controlada de la etapa de pre-desnitrificación resultó adecuada para obtener una elevada eficacia en la eliminación de NT, sin que se produzca inhibición debido a la concentración de oxígeno disuelto en el seno líquido. La desnitrificación funcionó adecuadamente con un rango de caudal de recirculación de nitrato de entre 2Q y 4Q.

Por otra parte, la aireación intermitente y controlada de las etapas aerobias resultó en una reducción significativa del consumo energético. Sin embargo, es necesario ampliar esta parte del estudio para optimizar los ciclos de aireación.

La explotación y mantenimiento de la planta fue muy simple, y básicamente consistió en la purga periódica de los lodos en exceso. Esta característica hace que este proceso sea aconsejable para su aplicación en la depuración de aguas residuales de pequeños núcleos.



• Q=0.3 L/s; R=10 ■ Q=0.3 L/s; R=4 Δ Q=0.3 L/s; R=2 ○ Q=0.6 L/s; R=4 ◆ Q=0.6 L/s; R=2.7
Efecto de la carga orgánica (como DQO) sobre el rendimiento del proceso



× Q=0.3 L/s; R=10 ■ Q=0.3 L/s; R=4 Δ Q=0.3 L/s; R=2 ○ Q=0.6 L/s; R=4 ◆ Q=0.6 L/s; R=2.7
Efecto de la carga aplicada de NT a la etapa LAnS sobre la velocidad de eliminación de NT

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Consellería de Economía e Industria, Tecnologías del Medio Natural y Desarrollo Sostenible (MDS). Programas Sectoriales de Investigación Aplicada: PEME I+D e I+D suma del Plan Gallego de Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica (INCITE) (Ref. 09MDS035E). INDES.

Autores

A. Jácome Burgos (UDC)
R. Novoa (Russula)
J. Molina Burgos (GEAMA)

J. Suárez López (UDC)
D. Torres Sánchez (GEAMA)
P. Ures Rodríguez (GEAMA)

Objetivos científico-técnicos



Balsa que recoge los lixiviados que escurren del vertedero de Ourense

Actividades realizadas

1. Revisión del estado del conocimiento en cuanto a producción y tratamiento de lixiviados de vertedero de residuos sólidos urbanos.
2. Reconocimiento *in situ* del vertedero de Ourense para la implantación y diseño de las estaciones de control de caudales y calidad de los lixiviados.
3. Campaña de muestreo y caracterización física, química y biológica de los lixiviados.
4. Estudio comparado de las características de los lixiviados del vertedero de Ourense con otros lixiviados en España y en el extranjero.
5. Pruebas de tratabilidad físico-química de los lixiviados mediante coagulación, floculación, sedimentación y adsorción con carbón activo.
6. Valoración de los resultados de los ensayos de tratabilidad, y propuesta de línea de tratamiento para los lixiviados del vertedero de Ourense.

Se procedió a la realización de una serie de ensayos en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidade da Coruña, consistente en:

- Precipitación química y coagulación (PQ): con el objetivo de subir el pH y precipitar los metales.
- Adsorción con carbón activo en polvo (PQ+PAC): para reducir el contenido de compuestos orgánicos refractarios (hidrocarburos, fenoles).

Se analizaron dos muestras efluentes de las pruebas de tratabilidad: una corresponde al sobrenadante clarificado de la PQ, y la otra al agua clarificada fruto de la tratabilidad completa (PQ + PAC):

Conclusiones

En general, se observa una mejora notable de la calidad del agua problema, sobre todo con el tratamiento combinado PQ + PAC. Sin embargo, el amonio requiere un proceso adicional, por ejemplo un arrastre con aire (*stripping*).

La conductividad del agua problema no se reduce con la tratabilidad realizada; se requiere de un proceso de desmineralización para conseguir un efluente aceptable para un vertido directo a aguas superficiales.

Parámetro	Eliminación en %	
	PQ	PQ + PAC
Turbidez	97.4	98.7
Sólidos en suspensión	35.2	97.7
Amonio	9.9	23
Fosfatos	95.9	97.8
DBO5	89.5	94.7
DQO total	36	76

Comparación agua bruta y tratada

Caracterizar la producción de lixiviados del vertedero de residuos de Ourense mediante la medición de caudal y cargas, y practicarle pruebas de tratabilidad físico-química.

Parámetros	Unidades	MINIMO	MAXIMO	MEDIA
pH		6.61	8.1	7.22
pRedox	mV	-52.8	119.8	58.0
Conductividad	mS/cm	4.60	4.81	4.69
Turbidez	UNT	39	84	65
Sólidos Totales	mg/L	1940	2186	2052
STF	mg/L	1536	1678	1621
STV	mg/L	368	508	432
Sólidos Disueltos	mg/L	1652	1988	1851
SDF	mg/L	1352	1592	1490
SDV	mg/L	300	382	340
Sólidos Suspensión	mg/L	66	438	202
SSF	mg/L	20	264	130
SSV	mg/L	22	174	71
TA	mg CaCO ₃ /L	0	0	0
TAC	mg CaCO ₃ /L	1700	2012	1886
Amonio	mg N/L	185	253	223
Nitrato	mg N/L	0.03	0.07	0.05
Nitrato	mg N/L	3.5	4.9	4.05
Fosfato total	mg P/L	1.55	2.85	2.15
DBO ₅	mg O ₂ /L	80	115	94
DQO total	mg O ₂ /L	244	336	280
DQO soluble	mg O ₂ /L	180	306	242

Composición media y rango de valores de corriente de lixiviados



Frente del vertedero de Ourense

Resultados

En la tabla se aprecia la composición media de los lixiviados del vertedero de RSU de Ourense.

Comparada con un agua residual urbana típica, los parámetros que se salen de rango son: conductividad, sólidos totales y disueltos, alcalinidad y amonio.

Por el contrario, es deficitaria en fósforo. El déficit de fósforo es típico de lixiviados de vertederos de RSU.

La biodegradabilidad de los lixiviados expresada mediante la relación DBO₅/DQO es de 0.34, mientras que la de un agua residual urbana es de 0.5, lo cual indica que el contenido orgánico de los lixiviados está más oxidado, al menos aquel contenido orgánico que se puede medir con ensayos normalizados de demanda de oxígeno como son la DBO y DQO.

Parámetro	Nombre: Tratabilidad Unidad	BRUTA	TRATADA	TRATADA
		—	PQ con cal	PQ + PAC
Conductividad	uS/cm	4730	7240	6700
Turbidez	UNT	77	2	1
Sólidos Totales	mg/L	2066	3618	3164
STV	mg/L	404	758	462
Sólidos Disueltos	mg/L	1890	3504	3160
SDV	mg/L	378	758	462
Sólidos Suspensión	mg/L	176	114	4
SSV	mg/L	26	0	0
Amonio	mg N/L	243	219	187
Nitrato	mg N/L	0.05	0.04	0.05
Nitrato	mg N/L	3.54	7.9	13.4
Fosfato total	mg P/L	1.85	0.075	0.04
DBO5	mg O ₂ /L	95	10	5
DQO total	mg O ₂ /L	274	175	65

Resultados tratabilidad de la corriente de lixiviados



Izq. a der.: Lixiviado bruto, tras precipitación con cal y tras precipitación con cal más adsorción con carbón activo en polvo

Autores

J. Suárez López (UDC)
A. Jácome Burgos (UDC)
J. Molina Burgos (GEAMA)

C. García (UDC)
P. Ures Rodríguez (GEAMA)
H. Del Río Cambeses (GEAMA)

Objetivos científico-técnicos

La Empresa Pública de Obras y Servicios Hidráulicos (EPOSH) de Galicia (Xunta de Galicia) adjudicó la construcción del sistema de colectores y E.D.A.R. de Ares-Mugarbos a la U.T.E. formada por dos empresas.

La solución de saneamiento y drenaje incorpora estructuras de detención-aliviadero, conectadas a las redes unitarias.

En la zona de San Valentín (ayuntamiento de Fene) se constató que también se producían vertidos de aguas de escorrentía de los viales de la zona a la ría de Ferrol. Estos viales, con un eje principal de cuatro carriles con una significativa densidad de tráfico (18000 de IMD), generan escorrentías de aguas pluviales con cargas importantes de contaminación.



Zona de San Valentín (Fene).

Actividades realizadas

1. Revisión de la bibliografía sobre la contaminación de la escorrentía de autopistas y carreteras.
2. Revisión de las Técnicas de Drenaje Sostenible de Escorrentías de Autopistas (TDSEA); revisión de criterios de dimensionamiento y de selección en función de las características de la cuenca de drenaje; revisión de rendimientos de eliminación de contaminación.
3. Instalación de una sección de control (caudalímetro área-velocidad, tomamuestras automático, sistema de comunicaciones GPRS, pluviómetro).
4. Reconocimiento y levantamiento de la red de alcantarillado.
5. Captura de sucesos de lluvia (hietogramas, hidrogramas y polutogramas). Se han caracterizado 7 sucesos de lluvia. Durante los sucesos de vertido (mediante toma de muestras a diferentes intervalos de tiempo) se caracterizaron contaminantes convencionales (DBO5, DQO, SS, SD, ST, formas de nitrógeno, formas de fósforo...), metales pesados (forma particulada y forma disuelta), hidrocarburos y contaminación bacteriológica (CF, CT, E. coli).
6. Se ha realizado una valoración de la contaminación movilizada.
7. Después de un análisis de alternativas se ha tomado la decisión de dimensionar un filtro de arena (depósito de regulación más filtro de arena).
8. Se ha modelizado hidráulicamente (mediante calibración y validación) la cuenca con el SWMM, pudiendo realizar un análisis del comportamiento de diferentes volúmenes de depósitos y tiempos de vaciado, para series de lluvias de 4 años.
9. Se ha dimensionado la infraestructura con varios criterios de diseño, y se ha valorado su comportamiento en cuanto volumen de agua tratada y retención de contaminantes.

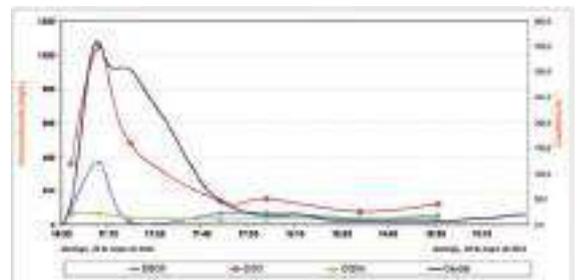


La Dirección de Obra de la actuación consideró de interés el analizar la contaminación que es movilizada por este tipo de viales y diseñar un sistema de tratamiento adecuado, basado en Técnicas de Drenaje Sostenible de Escorrentías de Autopistas (TDSEA).



El estudio se centró en la caracterización de la contaminación aportada por las escorrentías de viales mediante la medida de hidrogramas y polutogramas.

En la actualidad, según la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000) y la "Instrucción de la Planificación Hidrológica", las aguas de escorrentía de calles, carreteras y autopistas deben ser consideradas como "presiones" a valorar, por lo que es preciso su análisis con el fin de analizar si generan impactos sobre las masas de agua.



Autores

J. Suárez López (UDC)
A. Jácome Burgos (UDC)
V. Jiménez Fernández

P. Ures Rodríguez (GEAMA)
M. Recarey Pérez (GEAMA)
D. Torres Sánchez (GEAMA)

Objetivos científico-técnicos

El Convenio firmado entre SOGAMA S.A. y la Fundación de la Ingeniería Civil de Galicia tuvo como objetivo general la realización de un estudio para minimizar la contaminación que es movilizada y arrastrada por las aguas pluviales en el Complejo Medioambiental de Cerceda (CMC), de forma que se redujese la presión sobre los medios acuáticos receptores tanto desde un punto de vista físico-químico como hidromorfológico.

Actividades realizadas

A1. Análisis de la problemática ambiental:

- A1.1. Revisión de los valores obtenidos de los flujos caracterizados tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia durante el Proyecto CENIT OTERSU (2007-2010), en el que se había colaborado. Valoración de los resultados y análisis de posibles causas u origen.
- A1.2. Análisis de los objetivos ambientales fijados en las autorizaciones de vertido y establecimiento de objetivos internos.



Vista aérea de la planta de Sogama

A2. Actividades orientadas al “control en origen”:

- A2.1. Realización de un inventario y caracterización de las fuentes de contaminación difusa que posteriormente es lavada y arrastrada por las aguas pluviales. Conocimiento de las líneas de proceso y de los protocolos de operación que permitieron identificar las actividades que generan contaminación difusa.
- A2.2. Se propusieron estrategias de minimización de la acumulación de contaminación y de separación de flujos hacia red de alcantarillado de aguas residuales.
- A2.3. Conocimiento de las líneas de proceso así como de los protocolos de operación, gracias a lo cual se pudieron identificar las actividades que generaban vertidos ocasionales o accidentales a la red de drenaje de aguas pluviales. Se valoraron los riesgos y se analizaron alternativas.
- A2.4. Se propusieron secciones de caracterización de flujos (medida de caudales y de contaminación).

A3. Actividades orientadas al “control aguas abajo”:

- A3.1. Para mejorar el conocimiento de las infraestructuras existentes se realizó:
 - Un inventario, y se diagnosticó la red de alcantarillado de aguas residuales.
 - Revisión de las dimensiones y el funcionamiento de las balsas de aguas pluviales.
 - Análisis de la capacidad de la balsa de homogeneización de aguas residuales y su régimen de funcionamiento.
 - Análisis de la capacidad y el régimen de funcionamiento de la planta de tratamiento físico-químico de aguas residuales.
- A3.2. Se realizó una propuesta de estrategia de gestión de flujos.
- A3.3. Se diseñó una propuesta de estrategia de tratamiento (nuevos tratamientos y propuestas de mejora de instalaciones existentes).
- A3.4. Se analizó el cumplimiento de los objetivos ambientales y se realizó una valoración aproximada de los costes de cada solución.
- A3.5. Se realizó un pre-dimensionamiento de soluciones.

A4. Elaboración de informes parciales e informe final.

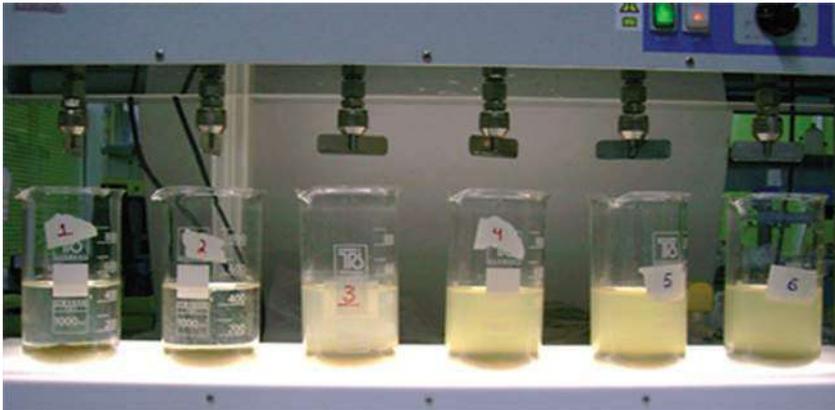


Autores

J. Suárez López (UDC) D. Torres Sánchez (GEAMA)
A. Jácome Burgos (UDC) P. Ures Rodríguez (GEAMA)
H. Del Río Cambeses (GEAMA) S. Vieito Raña (GEAMA)

Objetivos científico-técnicos

Este contrato se enmarcó dentro de las actuaciones conducentes a la modernización del sistema de depuración de la EDAR de la aglomeración de Vigo, con el fin de cumplir las Directivas Europeas. En septiembre de 2011 fue adjudicada a la "U.T.E. OHL MEDIO AMBIENTE INIMA, S.A. – OBRASCÓN HUARTE LAIN, S.A – CORSÁN CORVIÁN CONSTRUCCIÓN, S.A. – ISOLUX INGENIERÍA, S.A.", por parte de ACUANORTE, la "Redacción del proyecto constructivo, ejecución de las obras y puesta en marcha de la Ampliación y modernización de la EDAR de Lagares (Vigo)".



Actividades realizadas

La construcción y puesta en marcha de la nueva EDAR implicaba la eliminación y modificación de algunas de las actuales etapas de tratamiento. Con el fin de minimizar las presiones, y posibles impactos, que dichas actuaciones pudiesen generar sobre el medio acuático receptor durante la fase de construcción de las nuevas infraestructuras, se tomó la decisión de poner en marcha una línea de depuración temporal, basada en un tratamiento primario más desinfección (mediante UV) que permitiese alcanzar los objetivos establecidos en la autorización de vertido.

Con el fin de completar la oferta presentada por LIT ELEKTRO GMBH, el Área de Ingeniería Sanitaria y Ambiental del Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA) realizó las siguientes actividades conducentes a la caracterización de la tratabilidad de las aguas residuales de la aglomeración de Vigo, y a optimizar la línea de tratamiento temporal que se desea construir. Los principales esfuerzos se centraron en la optimización de los procesos de desinfección basados en radiación UV.

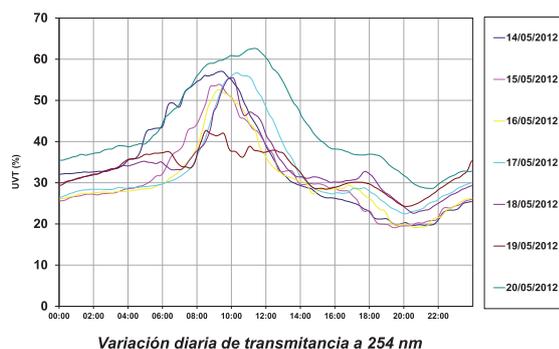
Estudio de tratabilidad mediante ensayos discretos

- Tarea a1-t1. Realización de ensayos jar-test, y selección de reactivos y dosis adecuadas a diferentes tipos de aguas de aguas residuales representativas de la aglomeración.
- Tarea a1-t2. Realización de ensayos de desinfección mediante haz colimado de radiación ultravioleta sobre agua tratada mediante coagulación-floculación-decantación.

Seguimiento mediante sondas de medida en continuo de ensayos.

Análisis de tiempos de retención hidráulica en los decantadores primarios actuales.

Integración de informes parciales y elaboración de informe final.



Autores

J. Suárez López (UDC)
A. Jácome Burgos (UDC)
H. Del Río Cambeses (GEAMA)

D. Torres Sánchez (GEAMA)
P. Ures Rodríguez (GEAMA)
S. Vieito Raña (GEAMA)

Objetivos científico-técnicos

Determinar experimentalmente las fracciones degradable e inerte, así como coeficientes biocinéticos del agua residual decantada de la aglomeración urbana constituida por la ciudad de A Coruña y concellos limítrofes.

La parametrización biocinética servirá de datos de entrada para la modelación dinámica del proceso biológico de la EDAR de Bens.

Actividades realizadas

1. Puesta en marcha de reactor de fangos activos a escala de laboratorio.
2. Campaña de caracterización del agua residual decantada. Análisis de muestras compuestas. Alícuotas tomadas cada hora con equipo automático de muestreo.
3. Ensayos batch para la determinación de los diferentes parámetros cinéticos y estequiométricos, para alimentar el modelo n.º 1 de fangos activos (ASM-1).

Resultados

Las aguas residuales de A Coruña y su área de influencia se recogen y transportan hacia la Estación Depuradora de Bens, donde se les realizan operaciones de desbaste, desarenado-desengrasado (pretratamiento), para posteriormente ser vertidas al mar. En el futuro las aguas residuales serán sometidas a una línea de tratamiento más compleja que comprenderá: pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario biológico.

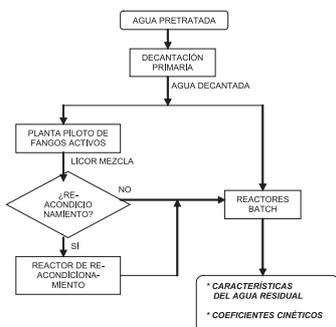
En consecuencia, el objetivo fundamental de este estudio es proporcionar criterios sobre la tratabilidad del agua problema, para el diseño del proceso biológico de eliminación de materia orgánica que constituirá el núcleo de la futura depuradora.



Instalación del toma muestras automático EDAR-Bens.



Reactor de fangos activos a escala de laboratorio



Para determinar las fracciones orgánicas con diferentes niveles de degradación y los coeficientes cinéticos del agua residual, se explotó una planta piloto de fangos activos y se realizaron ensayos batch a escala de laboratorio. Las características de degradación y los coeficientes cinéticos del agua problema fueron determinados en los ensayos batch. La planta de fangos activos se explotó y controló para suministrar la biomasa necesaria para los ensayos batch. La estructura de la experimentación se refleja en el siguiente diagrama.

El agua residual urbana decantada de A Coruña tiene un buen índice de biodegradación de materia orgánica: DBOC/DQOT = 0.84.

Tiene también un contenido de nitrógeno y fósforo adecuado para un tratamiento biológico.

DBOC ₋	DQOT	DQOS	NTK	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P _{total}	SST	SSV	Alcalinidad	pH	Conductividad
(mg/L)-	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg N/L)	(mg/L)	(mg P/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L CaCO ₃)		(μS/cm)
250-	298	168	43	33	1,5	9,8	103	75	211	7,1	2931

Composición media del agua residual decantada de A Coruña

Comparando estos valores con otras fuentes, la composición del agua residual decantada de A Coruña corresponde a la de un agua medianamente cargada en cuanto a su contenido de materia orgánica (DQOT) y nitrógeno Kjeldahl.

Los ensayos batch de laboratorio se realizaron por cuadruplicado, excepto el caso de la determinación de $\mu_{A, max}$ que se hizo por triplicado.

El agua residual decantada presenta buenas características de biodegradación y cinéticas típicas de su origen. El valor de su fracción rápidamente degradable, f_{SS} , es algo mayor que la observada en otros estudios.

Parámetro	Descripción	Valor medio
f_{XI}	Fracción inerte en suspensión	0.03
f_{SI}	Fracción inerte soluble	0.13
f_{SS}	Fracción rápida degradación	0.47
f_{XS}	Fracción lenta degradación	0.37

Fracciones orgánicas del agua residual decantada de A Coruña

Parámetro	Descripción	Valor medio	Rango
Y_H (g DQO/g DQO)	Producción heterótrofa	0.73	0.5 – 0.84
$\mu_{H, max}$ (d ⁻¹)	Crecimiento específico máximo de heterótrofas	5.9	4.5 – 7.1
b_H (d ⁻¹)	Respiración endógena de heterótrofas	0.29	0.22 – 0.35
$\mu_{A, max}$ (d ⁻¹)	Crecimiento específico máximo de nitrificantes	0.42	0.31 – 0.53

Coefficientes cinéticos y estequiométrico a 20 °C del agua residual decantada de A Coruña

Autores

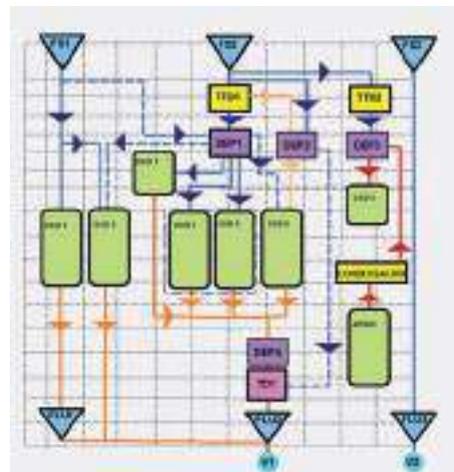
A. Jácome Burgos (UDC) M. Recarey Pérez (GEAMA)
J. Suárez López (UDC) P. Ures Rodríguez (GEAMA)
J. Molina Burgos (GEAMA) H. Del Río Cambeses (GEAMA)

Objetivos científico-técnicos

- Diseño e implementación de un *microsite* sobre la gestión del agua en la corporación INDITEX y su cadena de proveedores.
- Control, análisis crítico y valoración de las campañas de control de la calidad y contaminación de las aguas, y de la buena gestión de las mismas en las factorías de los proveedores a nivel internacional.



- Elaboración de documentos sobre el uso del agua en los procesos, sobre el estado de la cuestión o de la técnica en actividades o procesos relacionados con el agua y las actividades de INDITEX, sobre buenas prácticas, en términos cuantitativos y cualitativos, a nivel sectorial (algodón, calzado, por ejemplo) o regional (países o regiones específicas).



- Colaboración en campañas de formación, educación ambiental y fortalecimiento institucional.
- Contacto con *stakeholders*. Difusión y discusión de las campañas de gestión del agua de INDITEX con organizaciones implicadas en la protección ambiental o la sostenibilidad del crecimiento de regiones en vías de desarrollo.

El equipamiento del CITEEC se utiliza en la medición de las características de flujos de abastecimiento o de flujos de aguas residuales de distintas factorías en las que se realizan auditorías en detalle.



Autores

J. Suárez Lóez (UDC)
J. Puertas Agudo (UDC)
A. Jácome Burgos (UDC)
M. C. Veiga Barbazán (UDC)

H. Del Río Cambeses (GEAMA)
P. Ures Rodríguez (GEAMA)
M. Recarey Pérez (GEAMA)



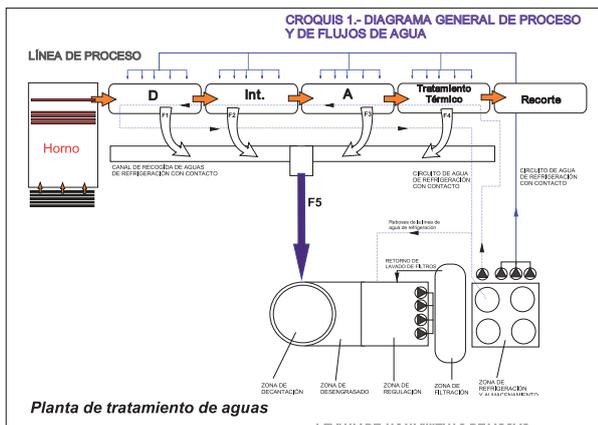
Introducción

Las líneas de laminación en caliente de acero precisan de agua a lo largo de todo el proceso de fabricación, sobre todo para refrigeración, siendo preciso el suministro de elevados caudales. Los circuitos de refrigeración pueden ser de dos tipos: con contacto directo con el acero que se procesa y sin contacto.

Unas aguas y otras presentan diferentes problemáticas, pero tanto en uno como en otro caso se reutilizan, y fluyen en circuitos cerrados. Para conseguir que el agua sea reciclable necesitan de una calidad mínima, por lo que es necesario realizar un tratamiento de estas aguas "residuales".

Objetivos

Las aguas más complejas de tratar son las que han tenido contacto directo con el acero. En los procesos de laminación del acero, y durante su enfriamiento, se va formando una "casquilla". La casquilla, formada fundamentalmente por óxidos de hierro, es arrastrada por las aguas de refrigeración o limpieza, y forma suspensiones con muy variadas concentraciones y granulometrías. Las partículas finas son muy difíciles de eliminar en los tratamientos y pueden ir quedándose en el flujo recirculado, aumentando las concentraciones y provocando problemas en los procesos (obtención de conductos, formación de "precipitados", erosión y atascamiento de rodamientos, desgaste de piezas, etc.). El objetivo principal del estudio era optimizar los procesos de tratamiento de las aguas de proceso, de forma que fuese totalmente viable su reciclaje.



Para conseguir alcanzar el objetivo general formulado fue necesario realizar las siguientes etapas o alcanzar los objetivos parciales:

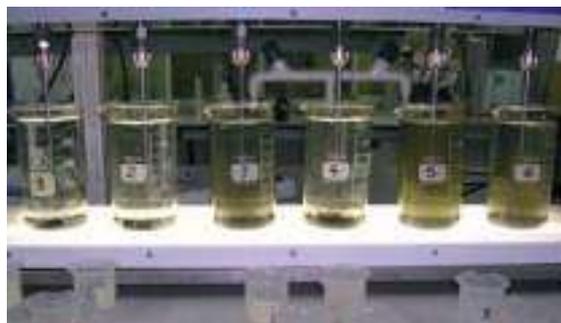
- Conocimiento de los flujos y los balances de agua y sólidos en la factoría.
- Conocimiento de las características específicas de las suspensiones.
- Análisis de la tratabilidad de las suspensiones: coagulación-floculación, sedimentación, filtración, precipitación, otros.
- Elaboración de un diagnóstico de la situación actual.
- Propuesta de mejoras sobre las instalaciones existentes.
- Definición de unas directrices y unos parámetros de diseño de buena práctica en la gestión de los flujos de agua, en una factoría y en las diferentes unidades de tratamiento.
- Definición de unos protocolos de control del funcionamiento de los procesos y de la calidad del agua.

Metodología

- 1) Análisis de la bibliografía y de referencias técnicas a nivel internacional que acotasen o hicieran referencia tanto a necesidades de aguas como a su calidad, y a los procesos habituales de tratamiento.
- 2) Análisis de toda la información disponible en la factoría (analíticas antiguas en cualquier tipo de aguas, análisis de los productos que actualmente se dosifican y en qué concentraciones, balances o estimaciones de generación de residuos, etc.).
- 3) Análisis de geometrías y dimensionamiento de las diferentes unidades de proceso. Análisis de los parámetros de diseño.
- 4) Definición y desarrollo de una campaña de medida de flujos en la factoría de Laracha.



- Medida de caudales en secciones de interés mediante la instalación de caudalímetros para flujos en presión y para flujos en lámina libre.
- Estudio de contaminación / calidad de aguas:
 - Medición de parámetros mediante muestras discretas.
 - Medición de parámetros en continuo (sondas de sólidos en suspensión en continuo, sonda multiparamétrica: pH, conductividad, temperatura, turbidez).



- 5) Realización de ensayos de tratabilidad de las "aguas con contacto":
 - Columna de sedimentación.
 - Ensayo de Kynch para suspensiones con altas concentraciones.
 - Coagulación-floculación (se probaron diferentes energías de mezcla y diferentes coagulantes o floculantes).
 - Análisis granulométricos (en tamiz y en coulter-laser).

Autores

J. Suárez López (UDC)
A. Jácome Burgos (UDC)
J. Anta Álvarez (UDC)

H. del Río Cambeses (GEAMA)
P. Ures Rodríguez (GEAMA)
S. Vieito Raña (GEAMA)

Objetivos científico-técnicos

El estudio tenía como objetivo analizar la influencia que el efluente de la nueva depuradora de aguas residuales, que se construirá para el sistema de saneamiento de la aglomeración urbana de Santiago de Compostela, tendrá sobre el río Sar.

Para poder alcanzar dicho objetivo se elaboró y calibró un modelo numérico de simulación de la calidad físico-química de las aguas del río Sar, desde el actual emplazamiento de la EDAR hasta Padrón.

El río Sar es un afluente del río Ulla por su ribera derecha; nace en la parroquia de Bando (Santiago de Compostela) y desemboca en Padrón. Es habitual que en estiaje, a la altura en que recibe el vertido de la actual EDAR, a solo unos 11 Km de su nacimiento, el río presente caudales inferiores a los de la propia EDAR.

La escasa capacidad del río para recibir contaminación sin que la calidad del sistema acuático se vea alterada, fue el motivo por el que la Confederación Hidrográfica del Norte consideró necesario un análisis más detallado de la influencia de efluentes con diferentes grados de calidad sobre el río. Solo se estudió la influencia de la nueva EDAR (con diferentes líneas de tratamiento) para escenarios de tiempo seco.

La aplicación de un modelo matemático a un sistema acuático permite, ante todo, profundizar en el conocimiento de este. Se avanza en la comprensión de cada uno de los elementos que lo forman y en las relaciones que se establecen entre ellos.



Metodología

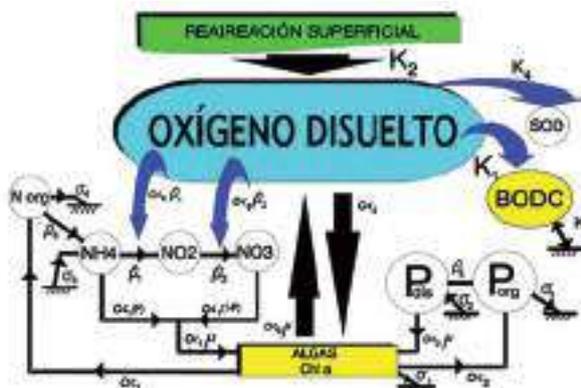


A. FASE PRELIMINAR

1. Análisis de información histórica del río Sar; información tanto de caudales como de campañas de calidad del agua.
2. Puesta a punto de la información cartográfica y topográfica de la cuenca y del cauce.
3. Inventario de los principales afluentes del río y de los vertidos más significativos.
4. Toma de muestras discretas de agua residual bruta en EDAR y de agua de efluente (análisis preliminar de constantes cinéticas de carbono y de nitrógeno).

B. FASE DE MODELIZACIÓN

1. Conceptualización. Definición de tramos con constantes cinéticas.
2. Establecimiento de un modelo geométrico-hidráulico.
3. Construcción de un pre-modelo y análisis de sensibilidad.
4. Construcción de un modelo mediante calibración-validación basado en las campañas de campo.



Esquema general del balance de oxígeno en el modelo QUAL2E con sus diferentes variables y parámetros

MODELO DE SIMULACIÓN NUMÉRICA UTILIZADO:

En hidráulica: HEC-RAS; y en calidad de aguas: QUAL2E.

CAMPAÑAS DE CAMPO REALIZADAS:

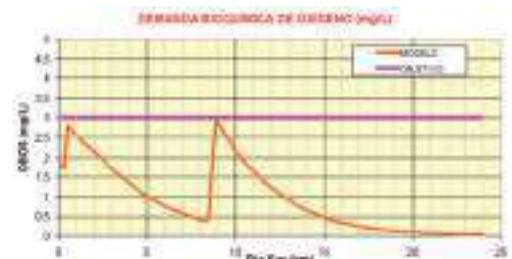
- Campañas iniciales de aforo.
- Campañas iniciales de calidad de aguas.
- 2 Campañas de trazadores (junto con campañas de aforo).
- 2 Campañas de calidad de aguas (junto con campañas de aforo y caracterización de los principales vertidos).

C. FASE ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA NUEVA EDAR

1. Generación de escenarios simulados de análisis. Diferentes situaciones en río y diferentes hendimientos desde la EDAR.
2. Valoración de resultados.



Ajuste del modelo calibrado a los datos de campo.



Ejemplo de resultados del análisis de escenarios en los que se consideraban diferentes efluentes de la nueva EDAR, en función de la línea de tratamiento

Autores

J. Suárez López (UDC) R. García de las Heras (GEAMA)
J. Puertas Agudo (UDC) M. Álvarez Enjo (GEAMA)
A. Jácome Burgos (UDC) J. Anta Álvarez (UDC)
L. Cea Gómez (UDC) H. del Río Cambeses (GEAMA)
F. Sánchez-Templeque (GEAMA) S. Vieito Raña (GEAMA)

Objetivos científico-técnicos

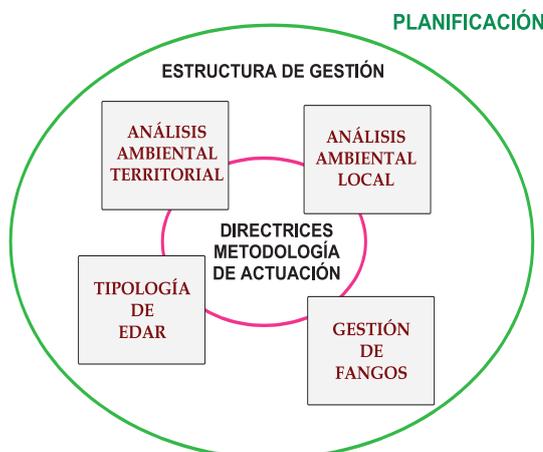
Elaboración de unas directrices de saneamiento en el medio rural que sirvan de orientación para la búsqueda de la mejor solución posible a la variada y compleja casuística que se presenta en Galicia.

Metodología

El estudio implicó un detallado análisis de la situación del saneamiento en el medio rural, partiendo de los trabajos y estudios contenidos en el Plan de Saneamiento de Galicia 2000-2015.

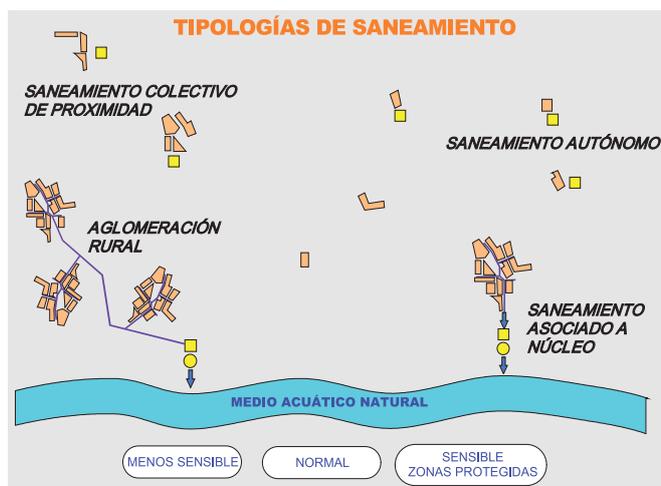
Los datos utilizados pusieron de manifiesto que el problema era amplio, por el número de actuaciones necesarias a realizar, y complejo, por la gran variedad de situaciones, medios naturales y usos afectados por los efluentes de las depuradoras de aguas residuales.

Como segunda parte del estudio se realizó una propuesta de límites de contaminación en el vertido de los efluentes de los sistemas de depuración entre 50 y 1000 habitantes equivalentes. La propuesta se justificó a partir del análisis de la legislación y normativa vigente (de calidad de aguas del medio natural y de limitaciones en la emisión), siempre sin perder el objetivo de minimizar las presiones sobre el medio natural, pero teniendo en cuenta el contexto socio-económico en el cual deben implantarse las soluciones de depuración.



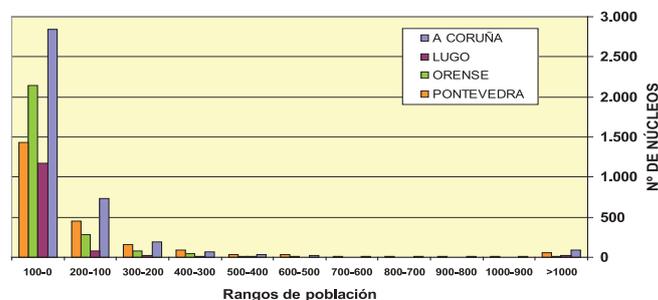
Estrategia global de elaboración de directrices de saneamiento en el medio rural

En una tercera parte se elaboró el ÍNDICE DE RIESGO DE IMPACTO (IRI), que es una metodología que tiene en cuenta los factores ambientales que pueden quedar afectados por los efluentes de una depuradora. Se sigue una metodología de elaboración de un valor representativo del problema que se quiere estudiar a partir del análisis de magnitudes e importancias. El índice elaborado es aplicado a las aglomeraciones menores de 1000 habitantes en las que están pendientes actuaciones, considerando los factores ambientales de los que se posee información.



Tipologías de saneamiento en el medio rural en función de la forma de aglomeración

NÚMERO DE NÚCLEOS EN FUNCIÓN DEL RANGO DE POBLACIÓN



Núcleos de población en cada provincia de Galicia en función del número de habitantes

	OV 1	OV 2	OV 3	OV 4	OV 5	OV 6
Tratamiento primario	Tratamiento primario	Tratamiento secundario de bajo rendimiento	Tratamiento secundario convencional	Tratamiento secundario con nitrificación parcial	Tratamiento secundario con nitrificación y desnitrificación	Tratamientos avanzados para eliminación de nitrógeno y de fósforo
DBO ₅	Rdto ≥ 30%	≤ 40 mg/L	Rdto > 70-90 % ≤ 25 mg/L	Rdto > 70-90 % ≤ 25 mg/L	Rdto > 70-90 % ≤ 25 mg/L	Rdto > 70-90 % ≤ 25 mg/L
DQO		≤ 160 mg/L	Rdto > 75 % ≤ 125 mg/L	Rdto > 75 % ≤ 125 mg/L	Rdto > 75 % ≤ 125 mg/L	Rdto > 75 % ≤ 125 mg/L
SS	Rdto ≥ 50%	≤ 80 mg/L	Rdto > 90 % ≤ 35 mg/L	Rdto > 90 % ≤ 35 mg/L	Rdto > 90 % ≤ 35 mg/L	Rdto > 90 % ≤ 35 mg/L
N-total	----	----	----	----	Rdto > 70-80 % < 15 mg/L	Rdto > 70-80 % < 15 mg/L zonas sensible
N-NH ₄ ⁺	----	----	----	< 15 mg/L	----	----
P-total	----	----	----	----	----	Rdto > 80 % < 2 mg/L zonas sensible
CT	----	----	Sistema de desinfección necesario en función del medio receptor			
CF	----	----	Rendimiento ≥ 99.99 %			

Objetivos de vertido y niveles de tratamiento para aglomeraciones menores de 2.000 h-e propuestos en las Directrices. CT: Coliformes totales; CF: Coliformes fecales

Finalmente, se presentó una metodología de selección de las mejores soluciones de depuración para cada aglomeración, tomando como fundamento la elaboración del ÍNDICE DE CAPACIDAD DE ACOGIDA (ICA).

El ICA se construye a partir del análisis de los factores ambientales locales y del impacto que genera en ellos la construcción de un determinado tipo de depuradora.

La solución tecnológica óptima será aquella que, además de cumplir los requerimientos de calidad en el efluente, se integre mejor en el ámbito local: es decir, la que menos impacto ambiental genere (estético, ruidos, olores, etc.).

Autores

J. Suárez López (UDC)
A. Jócome Burgos (UDC)
H. del Río Cambeses (GEAMA)

D. Torres Sánchez (GEAMA)
P. Ures Rodríguez (GEAMA)
S. Vieito Raña (GEAMA)

Introducción

El embalse de Rosadoiro, o embalse de Sabón, es una masa de agua artificial altamente modificada. El embalse ha recibido históricamente vertidos de aguas residuales urbanas en tiempo de lluvia, ha recibido también aguas de escorrentías de zonas industriales altamente contaminadas y, además, han llegado a él algunos escapes accidentales.

Estos vertidos han provocado sucesos de contaminación aguda en la masa de agua y han contaminado los sedimentos. En el momento de realizar el estudio, el agua que regula el embalse era captada y tratada por la Deputación da Coruña, con el fin de suministrar agua con calidad suficiente para usos industriales en el Polígono Industrial de Sabón. Con el fin de preservar este suministro, optimizar la planta de tratamiento y analizar otros potenciales usos (como puede ser el abastecimiento con agua apta para consumo público), la diputación consideró conveniente la realización de un estudio de caracterización del estado de la calidad de las aguas y sedimentos del embalse de Rosadoiro.



Toma de muestras en columna de agua mediante muestreador de Botella Niskin.



Sonda multiparamétrica YSI 6920 y Data Logger YSI 650 MDS

Objetivos

El objetivo general del estudio, tal como indicaba el título del pliego contratado por la Deputación da Coruña, era caracterizar la calidad de las aguas y sedimentos en el embalse de Rosadoiro. El análisis de la calidad de las aguas de una masa de agua se puede realizar bien mediante indicadores físico-químicos, bien mediante indicadores biológicos.

El enfoque que se adoptó en este estudio, siguiendo las especificaciones del Pliego, fue el realizar una amplísima batería de parámetros físico-químicos sobre muestras tomadas en diferentes puntos de la masa de agua embalsada y en los sedimentos.

Metodología

El Pliego elaborado por la Deputación da Coruña contemplaba el análisis de casi 110 parámetros físico-químicos y sustancias peligrosas. Esta larga lista de parámetros de calidad/contaminación de aguas permitió comparar los valores obtenidos con los valores de los estándares de la legislación vigente, y analizar su cumplimiento. Esta comparación permitió realizar una valoración de los posibles usos a los que se podría destinar el agua del embalse.

El análisis de la contaminación presente en los sedimentos, al contrario que la encontrada en la masa de agua, es indicadora de la contaminación crónica que ha sufrido tal masa.

El embalse de Rosadoiro ha recibido históricamente todo tipo de vertidos de aguas residuales industriales y de aguas residuales urbanas. Además recibe las escorrentías de la cuenca, con cierta actividad agrícola, las escorrentías de viales y calles del polígono y carreteras cercanas, y las escorrentías de algunos parques de almacenamiento de industrias del entorno. Estas presiones, actuando a lo largo de décadas, han dejado su huella, en los sedimentos del embalse.

La Deputación Provincial da Coruña deseaba, en definitiva, conocer con un alto grado de detalle el estado de la calidad de las aguas y de los sedimentos del embalse de Rosadoiro, para poder valorar las actuaciones que sean necesarias a fin de garantizar la calidad de las aguas para los usos a los que se destinan en la actualidad, y valorar otros usos potenciales futuros.

Con el fin de seguir las indicaciones de la Directiva Marco, y teniendo en cuenta un marco presupuestario limitado, las campañas de caracterización de indicadores que se realizaron, tal como indicaba el pliego, fueron las tres que se citan a continuación:

- Calidad físico-químicos en columna de agua.
- Calidad bacteriológica en columna de agua.
- Calidad físico-químicos en sedimento.

Un aspecto singular de los muestreos realizados es que fueron de carácter puntual. Por las características de este tipo de muestreo, no se pueden elaborar conclusiones sobre el estado trófico del embalse (grado de eutrofización), ni analizar fenómenos de carácter transitorio, como por ejemplo problemas de oscilaciones de los niveles de oxígeno.



Aguja de toma de columna de sedimento: esta se desmontaba del dispositivo de hincia, y se confinaban el sedimento y el agua mediante tapones en ambos extremos



Puntos de toma de muestras de sedimentos



Puntos de toma de muestras en columna de agua

El estudio se centró en realizar una "fotografía" de la masa de agua, buscando analizar la presencia de niveles anómalos de sustancias o contaminantes, tanto en la columna de agua como en los sedimentos. En algunas estaciones de muestreo ha sido posible realizar una toma en superficie y otra en profundidad; en el resto del embalse, con profundidades menores de cinco metros, solo se ha tomado una muestra en superficie.

Autores

J. Suárez López (UDC)
A. Jácome Burgos (UDC)
J. Molina Burgos (GEAMA)

R. García de las Heras (GEAMA)
M. Alonso Noval (GEAMA)

Introducción

El proyecto de investigación tenía como objetivo la realización de un modelo de simulación numérica de la red de abastecimiento de la ciudad. Con el fin de dar calidad al modelo, se realizaron campañas de campo con el fin de caracterizar algunas secciones reseñables y disponer de datos reales para realizar la posterior calibración y validación del modelo hidráulico.

Actividades y Metodología

El trabajo se estructuró en los siguientes bloques de actividades:

• Bloque 1. Análisis de la red

Seccionamiento y esqueletización. Supervisión del premodelo de red. Determinación de los puntos más idóneos para la calibración.

• Bloque 2. Calibración de la red

Mediciones en campo de caudales en los puntos idóneos (en un máximo de 30 secciones).

• Bloque 3. Elaboración del informe

Presentación de los resultados a los técnicos de EMALCSA. Entrega definitiva del modelo.

En cada sección de control del estudio se realizó una medición del caudal empleando caudalímetros PANAMETRICS PT 868. La principal característica de este aparato es que realiza la medición del flujo gracias a un par de transductores ultrasónicos que se colocan en el perímetro exterior de la tubería, siendo, por tanto, una técnica de medida no intrusiva, por lo que se eliminaba el peligro de contaminar el fluido que circula por la red o de dañar la conducción.



Caudalímetros Panametrics PT 868 instalados en tubería y TinyTag para almacenamiento datos



Para almacenar los datos del caudalímetro se empleaba una unidad TINY-TAG. Esta unidad registra una señal de 0 a 20 mA, proporcionada por el caudalímetro, que se transforma en un registro de caudal.

Además, en las secciones en las que la obtención del registro de presiones podía servir para comprender y modelizar el comportamiento de la red, se disponía también un transductor de presiones DRUCK PTX 600, que emite una señal de 4 a 20 mA registrada por otro TINY-TAG, que se podía convertir en un registro de presiones.



Una vez registrados los datos, estos se filtraban y procesaban introduciéndolos en unas fichas tipo: de este modo se ordenaba toda la información disponible y se obtenían los parámetros más significativos de cada sección.

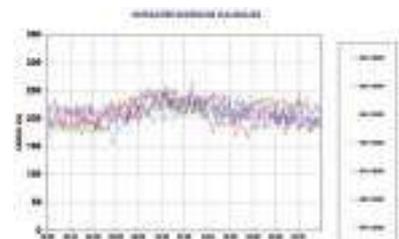
Autores

J. Suárez López (UDC)
J. Puertas Agudo (UDC)
A. Jácome Burgos (UDC)

J. Anta Álvarez (UDC)
H. del Río Cambeses (GEAMA)



Se realizaron dos tipos de ficha; la ficha general contenía los datos registrados durante una semana natural, y la ficha resumen presentaba los parámetros más reseñables de la sección.



La información recogida en la ficha general era:

Información general de la sección: emplazamiento, características de la conducción y del equipo de media, fotografías y datos sobre el período de registro.

Datos sobre el caudal: registro semanal, análisis de variación diaria, caudales máximos, mínimos y medios diarios.

Datos sobre el volumen suministrado: registros diarios y acumulados.



En aquellas secciones en las que existía un registro de presiones se incluían los datos diarios y los valores máximos, mínimos y medios de presión. La ficha resumen constaba de:

Información general de la sección: emplazamiento, características de la conducción y del equipo de media, fotografías y datos sobre el período de registro.

Datos de caudal: registro semanal y análisis de variación diaria de todos los datos registrados, valores máximos, mínimos y medios diarios de todos los registros válidos.

Curva de consumo media: caudal medio de día laborable y caudal medio de fin de semana.

Datos sobre el volumen suministrado: volumen medio diario.

Se realizaron medidas en 11 secciones de control.

Antecedentes



Las actividades extractivas en el sector del granito son una de las fuentes de riqueza de Porriño y su comarca. El granito de Porriño es mundialmente conocido y sus explotaciones se cuentan entre las mayores y las más avanzadas del mundo. Al tratarse de explotaciones a cielo abierto, existe un impacto sobre el medio ambiente: así, el medio natural, al entrar en contacto con la zona de trabajo, sufre ciertas afecciones que en este informe se evalúan en lo que respecta a la contaminación del agua de escorrentía. Las explotaciones graniteras se extienden en varias pequeñas cuencas hidrográficas que acaban desagando al río Louro, afluente del Miño. El río Louro ha tenido desde antiguo una alta presión antrópica por ser una zona de fuerte implantación industrial. La calidad de sus aguas en los últimos tiempos llegó a ser muy deficiente.

La afección que sobre el río Louro tienen las explotaciones graniteras deriva fundamentalmente del lavado de finos que producen las aguas de escorrentía pluvial. Las explotaciones, por sus propias características, generan una cierta cantidad de finos que no son retenidos por una cubierta vegetal, como sucedería en una cuenca natural. Estos finos, sin cohesión, son lavados por las aguas de lluvia y transportados, bien por suspensión bien por saltación, desde las zonas altas de las cuencas hasta un cierto número de puntos de drenaje. El área tributaria depende en cierta medida de la evolución de las explotaciones, por lo que el concepto de cuenca en la zona es un poco difuso. Los requerimientos en materia de calidad del agua del río Louro hacen inviable el vertido de estas aguas cargadas de finos al río.

En este estudio se realizó una evaluación de los volúmenes de aguas y de las cargas de contaminación que se generan a lo largo del año, una caracterización de las mismas, y una propuesta de soluciones (almacenamiento, decantación, tratamiento, reutilización) que garantizaran que la gestión de las aguas que se generaban en el entorno estudiado tenía una gestión óptima desde el punto de vista ambiental.



Probeta con agua bruta decantada durante 5 días

En este trabajo se midieron la pluviometría, los caudales y las cargas de contaminación a lo largo de un período de 10 meses, lo que permitió extraer conclusiones sobre cuáles eran los volúmenes de agua por cada milímetro de lluvia caído, las masas de contaminación movilizadas y las concentraciones máximas de contaminantes que se generaban.

Actividades y Metodología

Para cada objetivo se articuló una metodología de estudio o análisis:

- Con objeto de determinar los volúmenes de agua por milímetro de lluvia, se instalaron en la zona **seis caudalímetros y un pluviómetro**, que registraron medidas con un intervalo máximo de 5 minutos.
- Con objeto de determinar el tipo de contaminación, se tomaron muestras discretas de forma aleatoria en todas las secciones, las cuales fueron sometidas a baterías amplias de determinaciones analíticas, incluyendo **series de sólidos, metales, contaminación orgánica**, nutrientes, etc.
- La carga asociada al flujo subsuperficial se ha obtenido de muestras obtenidas en períodos que no se corresponden con días de lluvia.
- Con objeto de evaluar las diferencias de carga entre la época seca y la época de lluvia, se mantuvieron los **equipos a lo largo de 10 meses**, cubriendo una temporada invernal y una estival. Durante ese período se recogieron "sucesos" mediante el uso de tomamuestras automáticos. Se denomina "suceso" a variaciones importantes del caudal en las secciones de control, que bien pueden tener origen en una lluvia, bien en un vertido ocasional. Los tomamuestras permitieron recoger hasta **24 muestras simples**. A estas muestras simples se las sometió una completa batería de determinaciones analíticas.



Muestra de material residual de la perforación sobre roca sana

Objetivos

Los objetivos que se perseguían eran los siguientes:

- Evaluar el **volumen de agua evacuado** por cada mm de lluvia caído, en distintas épocas de año (otoño-invierno y primavera-verano).
- Determinar la **naturaleza y origen** de la contaminación vertida.
- Evaluar las **concentraciones máximas** generadas de los diferentes contaminantes.
- Evaluar la **carga asociada a la escorrentía** en época seca y en época húmeda.
- Evaluar la **carga asociada al flujo** subsuperficial.
- Evaluar la **tratabilidad del agua bruta**, es decir, su respuesta a distintos tipos de tratamiento (decantación, floculación, filtración, etc.).
- Definir **indicadores o parámetros de control** de contaminación que permitan la automatización de control de flujos de aguas en una posible instalación de tratamiento.



- La tratabilidad de las muestras se estudió en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la ETS de Ingenieros de Caminos de A Coruña. Se sometió el agua problema a varios ensayos: **columnas de sedimentación, ensayo jar-test, ensayo de filtración**. De forma complementaria a los ensayos de tratabilidad, se realizó el estudio de las granulometrías de los sólidos transportados por los flujos de agua.

Autores

J. Suárez López (UDC)
J. Puertas Agudo (UDC)
A. Jácome Burgos (UDC)

J. Delgado Martín (UDC)
E. Peña González (UDC)
F. Sánchez-Tembleque (GEAMA)

POCASA

INGEMIGA



Fundación
UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Introducción

SOSTAQUA es la denominación de un proyecto de I+D+i liderado por Aguas de Barcelona que obtuvo el apoyo del Programa CENIT, impulsado por el Ministerio de Industria. La iniciativa, dedicada a desarrollos tecnológicos para un ciclo urbano del agua autosostenible, recibió una subvención del 50% de su importe total, valorado en 25 millones de euros.

El proyecto se estructuró en 10 líneas de actividad: 4 de agua (por un valor de 11,95 millones de euros), 3 de residuos (por 5,76 millones de euros), 2 de energía (por 3,26 millones de euros), y 1 transversal de control sanitario y ambiental (por 3,31 millones de euros).

En el proyecto participaron 16 empresas consorciadas: 5 empresas del Grupo Agbar (Aguas de Barcelona, Clabsa, Emuasa, Labaqua y Canaragua), por un valor total de 12,07 millones de euros; 5 grandes empresas (Degrémont, Dow, Ciments Molins, Solvay y Sener), por un valor conjunto de 10,05 millones de euros; y 6 pymes (Cric, Remosa, Sineria, Enviros, Auma y STC), por 2,96 millones de euros.

El proyecto SOSTAQUA fue el único, entre los 15 seleccionados por el CDTI, que estaba dedicado al sector Agua, y fue uno de los 7 proyectos con contenido medioambiental.

Objetivos

- Obtener recomendaciones sobre las mejores prácticas y tecnología necesarias para la valorización de las aguas pluviales recogidas en las redes de saneamiento y drenaje.
- Definir las herramientas y metodología de caracterización de las aguas pluviales, en cuanto a cantidad y calidad, en función de su distribución en el espacio y en el tiempo.
- Establecer los mecanismos de recogida y almacenamiento de las aguas pluviales de cara a su posterior valorización.
- Determinar los posibles usos y establecer los tratamientos necesarios para la adecuación de las aguas pluviales a cada uno de ellos.

Actividades

- Estado de la cuestión o *benchmarking*.
- Caracterización de las aguas pluviales:
 - Análisis de las fuentes de contaminación de las aguas pluviales y caracterización de las mismas.
 - Análisis de la evolución espacio-temporal de la calidad de las aguas pluviales.
 - Análisis de las herramientas y metodologías necesarias para el seguimiento y control de la calidad de las aguas pluviales.
- Estudio de técnicas de minimización de la contaminación de las aguas pluviales.
- Estudio de técnicas de captación y almacenamiento de las aguas pluviales.
- Estudio de técnicas de tratamiento y adecuación de las aguas pluviales según su uso/destino posterior.
- Elaboración de recomendaciones sobre las mejores prácticas y tecnología necesarias para la valorización de aguas pluviales.

Para el desarrollo las actividades del apartado 2 se planificaron y desarrollaron campañas de caracterización de los flujos en tiempo de lluvia de dos cuencas situadas en Galicia. Una de ellas, unitaria, se encontraba en Santiago de Compostela, de nombre "Ensanche"; la otra, separativa, en la ciudad de A Coruña, denominada "Los Rosales".

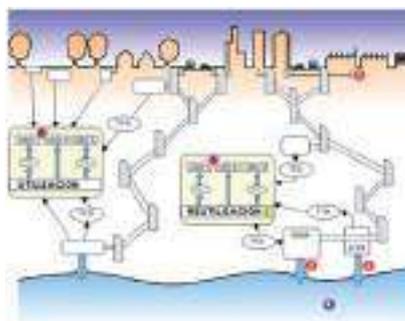


Proyecto SOSTAQUA: Actividades y empresas			
AGUA	1. CARACTERIZACIÓN DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN, DISTRIBUCIÓN EN TIEMPO Y ESPACIO, CALIDAD DE LAS AGUAS PLUVIALES RECOGIDAS EN LAS REDES DE SANEAMIENTO Y DRENAJE	AGUAS DE BARCELONA, CLABSA, EMUASA, LABAQUA Y CANARAGUA	1,3 millones de euros
AGUA	2. ESTUDIO DE TÉCNICAS DE MINIMIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES	AGUAS DE BARCELONA, CLABSA, EMUASA, LABAQUA Y CANARAGUA	1,3 millones de euros
AGUA	3. ESTUDIO DE TÉCNICAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LAS AGUAS PLUVIALES	AGUAS DE BARCELONA, CLABSA, EMUASA, LABAQUA Y CANARAGUA	1,3 millones de euros
AGUA	4. ESTUDIO DE TÉCNICAS DE TRATAMIENTO Y ADECUACIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES SEGÚN SU USO/DESTINO POSTERIOR	AGUAS DE BARCELONA, CLABSA, EMUASA, LABAQUA Y CANARAGUA	1,3 millones de euros
RESIDUOS	5. ESTUDIO DE TÉCNICAS DE TRATAMIENTO Y ADECUACIÓN DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS	AGUAS DE BARCELONA, CLABSA, EMUASA, LABAQUA Y CANARAGUA	1,3 millones de euros
RESIDUOS	6. ESTUDIO DE TÉCNICAS DE TRATAMIENTO Y ADECUACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	AGUAS DE BARCELONA, CLABSA, EMUASA, LABAQUA Y CANARAGUA	1,3 millones de euros
ENERGÍA	7. ESTUDIO DE TÉCNICAS DE TRATAMIENTO Y ADECUACIÓN DE LA ENERGÍA	AGUAS DE BARCELONA, CLABSA, EMUASA, LABAQUA Y CANARAGUA	1,3 millones de euros
ENERGÍA	8. ESTUDIO DE TÉCNICAS DE TRATAMIENTO Y ADECUACIÓN DE LA ENERGÍA	AGUAS DE BARCELONA, CLABSA, EMUASA, LABAQUA Y CANARAGUA	1,3 millones de euros
TRANSVERSAL	9. ESTUDIO DE TÉCNICAS DE TRATAMIENTO Y ADECUACIÓN DE LA TRANSVERSAL	AGUAS DE BARCELONA, CLABSA, EMUASA, LABAQUA Y CANARAGUA	1,3 millones de euros
TRANSVERSAL	10. ESTUDIO DE TÉCNICAS DE TRATAMIENTO Y ADECUACIÓN DE LA TRANSVERSAL	AGUAS DE BARCELONA, CLABSA, EMUASA, LABAQUA Y CANARAGUA	1,3 millones de euros

El GEAMA de la UDC participó en la Línea 3. Valorización de las aguas pluviales (1,3 millones de euros)

Antecedentes

La necesidad de obtener recursos hídricos alternativos plantea la posibilidad de valorización de las aguas pluviales en el medio urbano para algunos usos determinados. Este tipo de aguas representan un recurso muy valioso, dado el gran volumen de agua que suponen. Esta característica, en cambio, también dificulta su recogida y tratamiento posterior. En este sentido, cabe aún realizar un importante trabajo de investigación y desarrollo de cara a posibilitar el uso de este recurso.



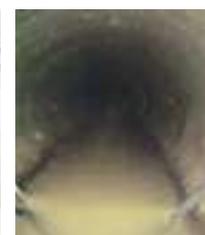
Croquis básico de la problemática y de alternativas valoradas en la Línea 3-SOSTAQUA

Adicionalmente, hay que tener en cuenta que, tanto el Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Saneamiento y Depuración, como la Directiva Marco del Agua, hacen énfasis en la visión cada vez más amplia del ciclo del agua, dado que, dentro de los objetivos ambientales para el año 2015, se pretende que todas las masas de agua alcancen un buen estado ecológico.

En este sentido, los vertidos de aguas pluviales procedentes de las redes de saneamiento son unos de los principales causantes de la contaminación de las aguas superficiales, que a su vez son la fuente principal de obtención de agua potable.



Montaje de la sección de control en la cuenca del "Ensanche" en Santiago de Compostela (2008).



Montaje de la sección de control en la cuenca de "Los Rosales" en A Coruña (2008)



En la actualidad, las administraciones fomentan la reutilización de aguas pluviales e impulsan la investigación en este tema.

En las Agendas 21 ya se han empezado a incorporar estos conceptos en el ámbito de la edificación. Falta, pues, el análisis de las oportunidades de valorización a nivel de sistemas de saneamiento y drenaje.

Autores

J. Suárez López (UDC) J. Molina Burgos (GEAMA)
 J. Puertas Agudo (UDC) H. Del Río Cambeses (GEAMA)
 A. Jácome Burgos (UDC) P. Ures Rodríguez (GEAMA)
 J. Anta Álvarez (UDC) A. Vieito Raña (GEAMA)



Introducción

Con el fin de mejorar la planificación, el proyecto y la construcción de las infraestructuras de abastecimiento y saneamiento, la Administración Hidráulica de Galicia, integrada por Aguas de Galicia y la Empresa Pública de Obras y Servicios Hidráulicos, consideró de gran interés el elaborar una serie de textos técnicos que sirviesen de guía y referencia. Se tomó la decisión de desarrollar las "Instrucciones Técnicas de Obras Hidráulicas de Galicia" (ITOHG).

Con el fin de llevar adelante el proyecto, se estableció un convenio de colaboración con el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA) de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidade da Coruña.

Las ITOHG están publicadas en la página web del ente Augas de Galicia:

<http://augas.cmati.xunta.es/portada>

Objetivos

Las Instrucciones Técnicas para Obras Hidráulicas en Galicia (ITOHG) se crearon con el objetivo de mejorar el nivel de los proyectos que gestiona la Administración Hidráulica de Galicia, aportando:

- Introducir unos criterios de cálculo unificados.
- Indicar los criterios para el diseño y la elección de materiales.
- Establecer las principales consideraciones constructivas.

Contenido de las ITOHG

La distribución de contenidos de las ITOHG es el siguiente:

ITOHG – IND. ÍNDICE

ITOHG – 0/0. ESTRUCTURA Y CONTENIDO MÍNIMO DE LOS PROYECTOS DE ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO.

La ITOHG 0/0 indica la estructura y los contenidos mínimos de los proyectos de abastecimiento y saneamiento, haciendo referencia a los diferentes Anejos y a su alcance para las diferentes tipologías de proyecto.

ITOHG – ABA. SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO

La serie de Abastecimiento está formada por dos volúmenes relacionados con el diseño de la red y las consideraciones constructivas de los sistemas de abastecimiento a poblaciones.

VOLUMEN 1. DISEÑO DE LA RED

ABA – 1/0. Introducción a los sistemas de abastecimiento a poblaciones.

ABA – 1/1. Dotaciones y caudales en sistemas de abastecimiento a poblaciones.

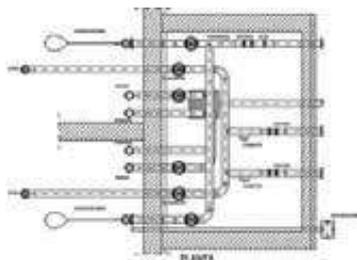
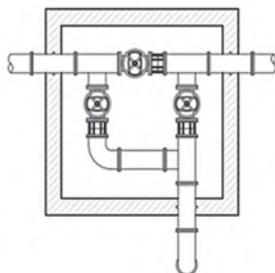
ABA – 1/2. Criterios de diseño de sistemas de abastecimiento a poblaciones.

ABA – 1/3. Cálculo de conducciones.

ABA – 1/4. Cálculo de estaciones de bombeo.

ABA – 1/5. Depósitos en sistemas de conducciones.

ABA – 1/6. Captaciones. Estudios hidrológicos.



ITOHG – SAN. SISTEMAS DE SANEAMIENTO

La serie de Saneamiento está formada por dos volúmenes relacionados con el diseño y las consideraciones constructivas de los sistemas de saneamiento.

VOLUMEN 1. DISEÑO DE LA RED

SAN – 1/0. Sistemas de saneamiento

SAN – 1/1. Cálculo de caudales

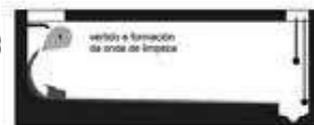
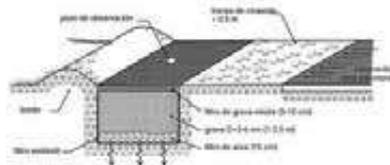
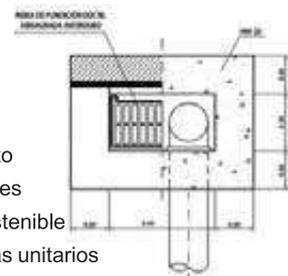
SAN – 1/2. Trazado de redes de saneamiento

SAN – 1/3. Cálculo hidráulico de conducciones

SAN – 1/4. Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible

SAN – 1/5. Cálculo de depósitos en sistemas unitarios

SAN – 1/6. Cálculo de estaciones de bombeo.



VOLUMEN 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO

SAN – 2/1. Consideraciones generales. Elementos complementarios de las redes de saneamiento.

SAN – 2/2. Diseño de depósitos en sistemas unitarios.

SAN – 2/3. Diseño de estaciones de bombeo.

SAN – 2.4. Instrumentación, telecontrol y telesupervisión.

ITOHG – MAT. MATERIALES PARA LAS CONDUCCIONES DE ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO

La serie de Materiales es una serie común para los sistemas de Abastecimiento y Saneamiento, en la que se indican los requisitos de las conducciones y los procedimientos de cálculo mecánico de las mismas.

MAT – 1/0. Consideraciones generales

MAT – 1/1. Acero

MAT – 1/2. Hormigón

MAT – 1/3. Fundición

MAT – 1/4. Poliéster reforzado con fibra de vidrio

MAT – 1/5. Polietileno y Polipropileno

MAT – 1/6. PVC

VOLUMEN 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO

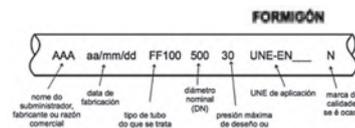
ABA – 2/1. Elementos singulares en sistemas de abastecimiento.

Autores

J. Suárez López (UDC)
J. Puertas Agudo (UDC)
J. Anta Álvarez (UDC)

D. Hernández
J.P. Blanco
R. Arias
M.E. Sánchez

J.L. Romero
N. Mouriño
M.S. Santiadrán





Metodología

El sistema de saneamiento de Lugo está formado por dos grandes cuencas vertientes que drenan sus aguas hacia el río Miño y sus afluentes Chanca-Rato-Fervedoira.

En paralelo a los cauces fluviales discurren dos colectores interceptores que llevan las aguas residuales de la aglomeración urbana hacia la EDAR de la ciudad. En total, el sistema de saneamiento de Lugo cuenta con 19 tanques de tormenta. Doce de ellos, los de menor volumen, vierten los DSU a los ríos Rato-Chanca-Fervedoira. Los siete restantes, de un volumen que oscila entre 20 y 60 m³/ha neta, al río Miño.

Con el objetivo de analizar el impacto de los vertidos en tiempo de lluvia de la ciudad de Lugo en las aguas receptoras del río Miño, se ha desarrollado un modelo integrado del sistema de saneamiento y el río utilizando dos submodelos:

- Un modelo de la red de saneamiento y drenaje
- Un modelo hidrodinámico y de calidad del río

Los indicadores de calidad analizados en este estudio han sido estándares de emisión (frecuencia y volumen de DSU) y estándares de calidad de agua, analizando los indicadores OD y amonio siguiendo los estándares del Urban Pollution Management del Reino Unido.

La red de saneamiento se ha modelizado con el Storm Water Management Model (SWMM) de la US-EPA. La evolución de los indicadores de calidad del agua a lo largo del tramo fluvial se calcula con el modelo Iber. El modelo incluye un módulo hidrodinámico bidimensional y un módulo de calidad de aguas.

Para alimentar a los modelos, se ha desarrollado una campaña de campo en la subcuenca de Casás, determinando los caudales de entrada al tanque de tormentas de dicha cuenca y los hidrogramas y polutogramas de los vertidos por DSU.

Los datos recogidos se han empleado para calibrar el modelo de la red de saneamiento, asignar las cargas de contaminación a los vertidos por DSU, y para estimar las cinéticas de los indicadores de calidad en el modelo fluvial.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado con ayuda de la Confederación Hidrográfica Miño-Sil y PROYFE. Daniel Torres colaboró en el desarrollo de la campaña de caracterización de DSU. Por último, los autores quieren agradecer los comentarios de José Piñeiro, Fran Aguirre y Juan Vidal.

Introducción

La problemática de los vertidos de los Desbordamientos de Sistemas de Saneamiento (DSS) en tiempo de lluvia sobre las masas de agua es un tema de vigente actualidad a nivel legislativo, ambiental y social.

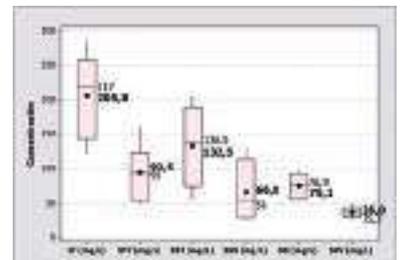
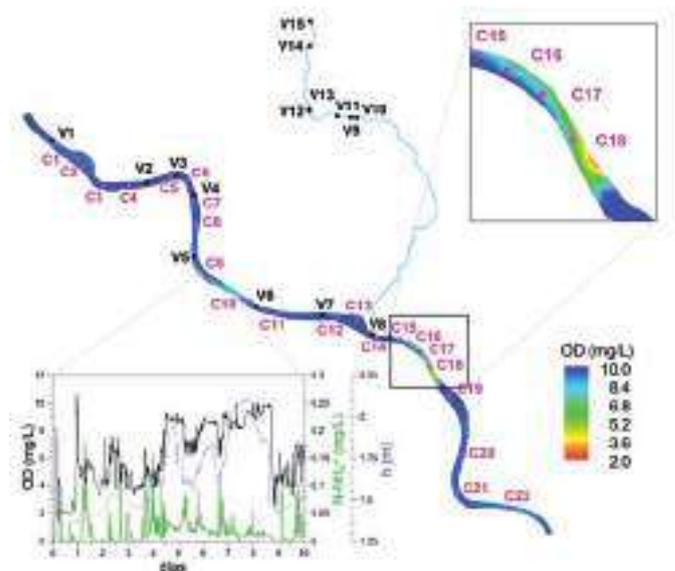
Con objeto de avanzar en el conocimiento de esta problemática, en este proyecto se realizó la caracterización de los Desbordamientos del Sistema Unitario (DSU) de la ciudad de Lugo, y una modelización integrada del sistema de saneamiento y del río Miño a su paso por dicha ciudad. Esta modelización ha permitido conocer el impacto producido por los DSU en la evolución de los indicadores de calidad del medio acuático natural.



Resultados

Con respecto al análisis de los Estándares de Emisión, se ha encontrado una gran dispersión en los resultados, sin una relación clara entre el volumen de almacenamiento de los tanques y los indicadores analizados.

El análisis de los Estándares de Inmisión indica que los indicadores de OD para salmónidos no se cumplen en todo el tramo estudiado. Sin embargo, los indicadores de amonio sí son aptos para la vida piscícola en el ámbito analizado.



Autores

J. Suárez López (UDC)
J. Puertas Agudo (UDC)
J. Anta Álvarez (UDC)

P. Ures Rodríguez (GEAMA)
L. Cea Gómez (UDC)
M. Bermúdez Piña (UDC)



CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL MIÑO-SIL

Introducción



Dentro de las actuaciones de la mejora del sistema de saneamiento de la aglomeración urbana de A Coruña, se planteó la construcción de un colector interceptor en las subcuencas Meicende-A Grela.

Con el fin de conocer los caudales circulantes por la red para poder elaborar un modelo numérico de simulación, se establecieron 3 secciones de control en diferentes puntos críticos del sistema.

Además, se desarrolló un modelo numérico de la cuenca urbana del Polígono de A Grela, que ha permitido realizar la comprobación hidráulica de los colectores.



Campaña de campo

Se han instrumentado 3 secciones de control durante 3 meses, empleando cuadralímetros área-velocidad SIGMA 950 y sensores de nivel por ultrasonidos. Las secciones donde se realizaron los registros son las siguientes:

TÚNEL DE ELVIÑA-BENS

Este es uno de los principales ejes interceptores de la ciudad de A Coruña. Es una túnel de 2.5 m. El caudal medio de tiempo seco es de unos 650 L/s.



POLÍGONO DE LA GRELA

Se han instrumentado dos conducciones de 1000 mm de diámetro con dos cuadralímetros SIGMA 950. El caudal medio en tiempo seco es de unos 30 L/s.



COLECTOR DE MEICENDE (ALCOA)

Este es uno de los colectores que se ha modificado con el proyecto de los nuevos interceptores del polígono de A Grela. Se trata de un ovoide de 1000 mm de ancho y 1500 mm de altura, que termina en el túnel de Elviña-Bens. El caudal medio en tiempo seco es de unos 50 L/s. En esta sección también se colocó un pluviómetro ARG100, para disponer de datos de precipitación en el modelo numérico.



Modelización numérica

Con objeto de comprobar el funcionamiento hidráulico de los nuevos colectores interceptores del polígono urbano de A Grela, se desarrolló un modelo con el programa Storm Water Management Model de la US-EPA. El modelo consta de 90 subcuencas y 99 tuberías, y fue calibrado a partir de los registros de la sección de control, el colector de Meicende (Alcoa).



Con el modelo calibrado se analizó el funcionamiento del sistema para la lluvia de 10 años de periodo de retorno, comprobando que no se producan inundaciones en el ámbito de estudio.



Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado para Aguas de Galicia y ha sido financiado por las empresas COPASA SL y CIISA, SL

Autores

J. Suárez López (UDC) H. Del Río Cambeses (GEAMA)
J. Puertas Agudo (UDC) W. A. Linares (GEAMA)
J. Anta Álvarez (UDC) R. A. García (GEAMA)

Introducción

A finales de los años 90 se empezó a plantear dentro de la AEAS, Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento, la necesidad de desarrollar un programa de caracterización de los vertidos en tiempo de lluvia en cuencas urbanas. La propuesta fue transmitida al Ministerio de Medio Ambiente y este puso en marcha el Programa de Medidas de Descargas desde Sistema Unitarios, origen del acrónimo PROMEDSU.

Objetivos

El PROMEDSU se basó en la medida de los parámetros hidráulicos y de contaminación necesarios para caracterizar los vertidos desde el alcantarillado unitario en las cuencas urbanas de España en tiempo de lluvia.

El proyecto PROMEDSU contó con la empresa Infraestructura y Ecología, S.L. como asistencia técnica, y con el actual GEAMA de la Universidade da Coruña como asesoría técnico-científica, además de la colaboración de las entidades gestoras de los distintos saneamientos implicados.

Los estudios de caracterización se enmarcaron en cinco ciudades y, dentro de ellas, en cinco cuencas con características conocidas.

CIUDAD	BARCELONA	MADRID	SEVILLA	VITORIA	VALENCIA
CUENCA	Bac de Roda	Arroyo del Fresno	Los Remedios	Almendra	Malvarrosa
AREA (HA)	170	3800	135	132	89
DENSIDAD (hab/ha)	235	60	380	140	200
CLIMA	Mediterráneo	Continental	Semi-árido	Continental	Mediterráneo

Cuencas estudiadas

A ESCALA DE CUENCA

- Conocimiento detallado del funcionamiento de una cuenca genérica en cinco ciudades españolas.
- Correlaciones pluviales – hidrológicas – ambientales.
- Apoyo a los Ayuntamientos.

A ESCALA LOCAL

- Extrapolación a otras cuencas de la misma ciudad.
- Estimación de cargas anuales vertidas en relación con las características singulares del entorno urbano.

A ESCALA NACIONAL

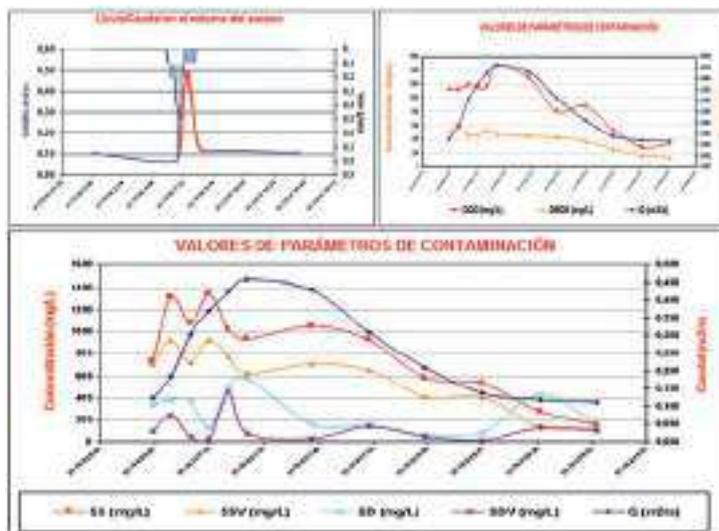
- Conocimiento de la situación de partida.
- Comparaciones con otros países.

Actividades del estudio

Se instrumentaron cinco secciones de control en las redes de alcantarillado. Parámetros que se registraron en las secciones control:

- Parámetros hidrológicos: Precipitación / Caudal.
- Sonda multiparamétrica: pH / Temperatura / Conductividad.
- Contaminación orgánica: DQO / DBO5 / COT
- Contenido en sólidos: SST / SSV / SSF / SDT / SDV / SDF
- Nutrientes: NTK / Amonio / Fósforo total.
- Hidrocarburos totales.
- Metales pesados disueltos: Zinc, Plomo y Cobre.
- Contaminación bacteriológica:
 - Vertido en zona de baño (Barcelona y Valencia), coliformes totales y fecales.

Resultados



SUCESO 03 – Sevilla 31 de octubre de 2000

De los datos que se obtuvieron en las cuencas se realizó un análisis, cuyas bases y metodología se describen brevemente a continuación:

- Organización de la información recogida y de los sucesos caracterizados.
 - Elaboración de las Fichas de Suceso.
 - Parametrización de los sucesos (CMS, coeficientes de primer lavado, masas movilizadas, etc.).
 - Comparación con modelos y valores de otros estudios internacionales.
- Tratamiento y análisis de la información:
 - Modelos estadísticos (análisis correlacionales, histogramas de distribuciones, etc.).
 - Modelos deterministas (modelo SWMM, calibración, etc.).
- Elaboración de conclusiones. Difusión.

CMS (mg/L)	Madrid	Barcelona	Valencia	Sevilla	Vitoria - EROSKI	MÁXIMO	MEDIA
DQO	679,8	455,8	293,2	833,7	1003,6	1003,6	702,6
DBO ₅	384,3		166,2	388,8	344,1	388,8	320,9
COT	53,2	37,0	34,9	35,0	29,3	53,2	38,7
NTK	38,0	20,1	40,5	48,4	22,5	46,4	36,9
NH ₄ ⁺	19,0	7,4	13,8	22,0	8,6	22	15,9
P-total	7,5	9,7	6,2	4,9	9,1	9,7	6,9
SS	597,3	579,8	229,4	733,4	562,2	733,4	530,6
SSV	363,3		134,3	486,7	300,5	486,7	318,7
SD	381,7	2249,9	864,4	324,9	489,4	864,4	537,6
SDV	173,0		279,1	131,6	326,0	326	227,4
ST	959,0	2829,7	1193,8	1058,3	1061,6	1193,8	1068,7
Turbidez (NTU)	209,6		125,0	222,0	135,5	222	173,0
Cond. (mS/cm)	0,7	3,8	1,3	0,5	0,5	3,8	1,4
Temp (°C)	16,4	22,7	19,5	18,9	18,1	22,7	18,7
pH	8,0	7,3	7,6	7,4	7,3	8	7,5
Cu (d/s)	0,05		0,02	0,03	0,02	0,05	0,03
Zn (d/s)	0,32		0,16	0,38	0,83	0,83	0,42
Pb (d/s)	0,10		0,04	0,38	0,08	0,38	0,15
HC (d/s)	6,7	6,8	1,4	6,1	3,1	6,7	3,8

Análisis de valores medios de los CMS obtenidos en todas las cuencas piloto

Se elaboraron curvas de probabilidad acumulada. El mejor ajuste se obtuvo con la log-normal.

Autores

J. Suárez López (UDC)
J. Puertas Agudo (UDC)
A. Jácome Burgos (UDC)

Introducción

El proyecto tenía como objetivo principal el caracterizar la contaminación vertida a los sistemas acuáticos desde los sistemas de saneamiento y drenaje, ya procediesen de sistemas separativos o unitarios, en tiempo de lluvia. Desde los sistemas separativos el vertido principal de contaminación asociada a sucesos de lluvia se produce de forma directa desde la red de pluviales, mientras que desde los sistemas unitarios el vertido se produce fundamentalmente desde los aliviaderos del sistema de alcantarillado o desde el *by-pass* de la EDAR.

Actividades desarrolladas

En este proyecto se definieron y acotaron las concentraciones y las masas, que son vertidos de materia orgánica, de sólidos, nutrientes, metales pesados e hidrocarburos, y que son movilizados en los sistemas de saneamiento por fenómenos asociados a la escorrentía urbana.

Se habla de "fenómenos asociados a la escorrentía urbana" porque la contaminación puede proceder tanto de la atmósfera, de la superficie de las cuencas urbanas (tejados, calles, etc.), como de la propia red de alcantarillado, de los sedimentos fundamentalmente.

Se definieron tres subcuencas piloto en la ciudad de Santiago de Compostela, en las cuales se midieron y caracterizaron "sucesos de lluvia" (hietogramas, hidrogramas y polutogramas). Cada suceso fue parametrizado, es decir, se calcularon parámetros o indicadores representativos de los mismos tanto en aspectos hidráulicos como de contaminación.

Entre los aspectos hidráulicos se pueden citar: mm de lluvia, intensidades máximas, volumen de escorrentía, periodo de tiempo seco precedente, etc.

Entre los aspectos de contaminación se pueden citar: concentraciones máximas, concentraciones medias de suceso (CMS), curvas de movilización de masa, masa total movilizada, masa movilizada asociada a escorrentía, carga específica movilizada en la cuenca, etc.

Todos estos parámetros permitieron realizar un completo tratamiento estadístico. Toda la información de los sucesos registrados en las diferentes subcuencas piloto se han estructurado en las denominadas "fichas de suceso".

El registro en continuo (normalmente cada 5 minutos) de parámetros hidrológico-hidráulicos y de contaminación durante largos periodos de tiempo permitió la calibración y validación de modelos numéricos de simulación basados en el SWMM, de la EPA.



Sección de control "Fontiñas". Colector 1500 mm e instrumentación de medición de caudal

En Cancelón se analizó el funcionamiento de un sistema de control y tratamiento de desbordamientos (tanque de tormentas). El análisis de esta infraestructura precisó de más de un año de intensos trabajos de campo, con más de 14 dispositivos de medida simultánea (3 caudalímetros, 4 ultrasonidos para medir niveles, 4 tomamuestras, 1 sonda multiparamétrica y 1 pluviómetro), que debían funcionar para registrar de forma adecuada cada suceso.

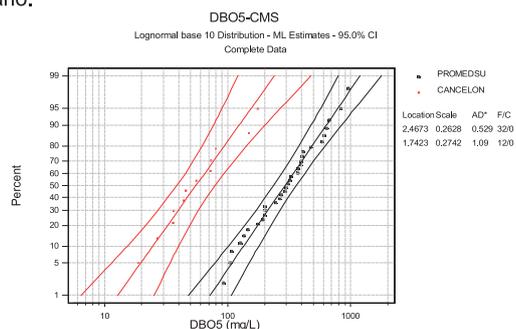
Resultados

Los resultados obtenidos son de gran interés a nivel internacional, sobre todo los referentes a la movilización de metales pesados, tanto en redes separativas como unitarias, como los obtenidos de la caracterización de funcionamiento del depósito de detención-aliviadero.

Objetivos científico-técnicos



- Se caracterizó con fiabilidad la contaminación de las escorrentías urbanas en relación con los usos del suelo en la ciudad de Santiago de Compostela.
- Se pudo diferenciar la contaminación aportada en tiempo de lluvia al medio receptor por una cuenca urbana con red de alcantarillado separativo y con una red de alcantarillado unitaria.
- Se evaluaron las concentraciones y las cargas de metales pesados movilizados en los sucesos de lluvia, y se diferenció entre la fracción disuelta y la fracción particulada.
- Se analizó la existencia del fenómeno del "primer lavado".
- Se evaluó el efecto de los diferentes parámetros que caracterizan las subcuencas y se relacionaron con las cargas movilizadas.
- Se propuso un método para elaborar polutogramas sintéticos asociados a hietogramas-hidrogramas sintéticos.
- Se elaboró un modelo de simulación del depósito-aliviadero que fue calibrado y validado.
- Se propusieron criterios de diseño tanto para sistemas de tratamiento de la contaminación de redes separativas como para el control y tratamiento de desbordamientos de alcantarillado unitario.



Distribución log-normal concentración media

En el marco de este proyecto de investigación se desarrollaron tres Tesis de Doctorado y un Proyecto Técnico de Investigación.

Autores

J. Suárez López (UDC) V. Jiménez Fernández (GEAMA)
A. Jácome Burgos (UDC) H. Del Río Cambeses (GEAMA)
J. Anta Álvarez (UDC) S. Vieito Raña (GEAMA)

Objetivos científicos - técnicos

La empresa ha desarrollado una tecnología basada en un ciclón para eliminar la mayor parte posible de arenas de los fangos primarios de una EDAR, antes de su procesado en la línea de fangos.

Se ha elaborado un prototipo industrial, y deseaba probarlo en condiciones reales de funcionamiento.



Croquis general de dispositivos, flujos y puntos de toma de muestras en los ensayos realizados

Actividades realizadas

Se colabora caracterizando el fango antes y después de ser procesado por el dispositivo piloto, además de medir los caudales.

Para la caracterización granulométrica se utiliza una técnica desarrollada por el equipo de trabajo, y se analizan los tamaños de las partículas inertes mediante granulometría láser.

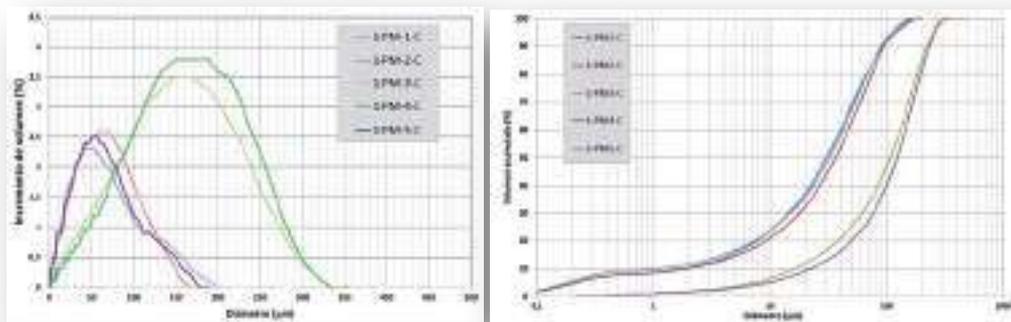


Estado inicial de las muestras al comienzo del proceso de secado en la estufa a 105 °C



Imagen del material final listo para realizar las granulometrías

Resultados



Ejemplos de las granulometrías realizadas mediante granulómetro láser

Autores

A. Jácome Burgos (UDC)
J. Suárez López (UDC)
M. Recarey Pérez (GEAMA)

Objetivos

El objetivo general consistió en la aplicación y evaluación a escala piloto de un humedal de flujo vertical, cultivado con *I. pseudacorus* (HFV2) como tratamiento terciario para reducir la demanda de oxígeno carbonosa y nitrogenada del efluente de un tratamiento físico-químico de una EDAR urbana. El estudio también incluye una evaluación del funcionamiento del humedal sin cultivo de plantas (HFV4). Un resumen extenso del trabajo se publicó como "Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente físico-químico de una estación depuradora de aguas residuales domésticas" (*Ingeniería, Investigación y Tecnología*, XIV(2): 223-235, 2013).

Metodología



Sistema experimental de humedales artificiales: vista general

Entre los meses de marzo a junio del 2011 los humedales fueron puestos en marcha y explotados. Se realizaron 3 fases experimentales, cada una con carga hidráulica y de contaminación distinta.

El aporte de agua desde el tanque de alimentación se realizó de forma intermitente mediante la aplicación de pulsos. Se utilizó un temporizador eléctrico para encender y apagar la bomba de alimentación a los humedales. La duración de los pulsos fue constante, 3 minutos, a lo largo de la experimentación. Entre pulso y pulso se hacía una pausa de 57 minutos. Es decir, fueron ciclos de 60 min (3 + 57). El número de pulsos se repitió día tras día durante el tiempo que duró cada una de las fases experimentales.

Una vez ejecutado el número de pulsos diarios, los humedales permanecían sin aportación de caudal hasta el día siguiente a la misma hora, momento en el cual empezaba de nuevo el ciclo.

Se ensayaron 3 cargas hidráulicas. Cuando se cambiaba la CH se dejaba un periodo de estabilización de 7 a 10 días para alcanzar el estado estacionario, y después se tomaban 5 muestras en un lapso de 2 semanas para la evaluación.

Material	Espesor (cm)	Diámetro aparente (mm)	Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad (%)	Conductividad hidráulica (cm/d)
Arena gruesa	20	2	1.2	54	10 ⁴
Turba	10	0.8	0.5	81	10 ⁴
Grava media	40	10	1.33	49	10 ⁶
Grava gruesa	10	40	1.35	48	10 ⁷

Tabla 1. Características físicas del sustrato de los HFV

Autores

A. Jácome Burgos (UDC) Michelle Barros (Máster UDC)
 J. Suárez López (UDC) Reyes Rodríguez (Máster UDC)
 Ainhoa Garrote (Máster UDC)

Resultados y Conclusiones

La Tabla 3 presenta la composición promedio del agua problema y de los efluentes de los humedales HFV2 y HFV4 de cada fase experimental. También incluye la carga hidráulica experimental. Cada valor de concentración presentado es el promedio de 5 mediciones realizadas durante el estado estacionario en un lapso de 2 semanas.

Parámetro	Unidad	FASE I			FASE II			FASE III		
		AF	HFV2	HFV4	AF	HFV2	HFV4	AF	HFV2	HFV4
CH	cm/d	n.p.	8.3	8.8	n.p.	4.2	4.4	n.p.	16.6	17.6
pH		7.0	5.6	6.4	7.3	4.4	5.4	7.2	4.0	5.8
DQOT	mg O/L	141	31	43	111	21	42	84	13	22
DQOS	mg O/L	82	20	30	66	12	24	75	14	18
Alcalinidad	mg/L ⁽¹⁾	165	10	26	215	2	24	170	0	14
NH ₄ ⁺	mg N/L	37	7.5	14	42	1.8	7.0	39	10	13
NO ₂ ⁻	mg N/L	0.01	0.09	0.14	0.02	0.05	0.06	0.01	0.03	0.08
NO ₃ ⁻	mg N/L	0.15	32	30	0.26	39	39	0.09	33	30
NT	mg/L	42	47	52	49	57	66	44	48	47
NTK ⁽²⁾	mg/L	42	15	22	49	18	27	44	14	17
N-Org ⁽³⁾	mg/L	5.0	7.5	7.6	7.0	16	20	5.0	4.0	3.6
SS	mg/L	29	37	46	20	23	57	14	11	23
SSV	mg/L	19	13	16	11	6	12	13	9	10

Tabla 3. Composición media del agua problema y de los efluentes de los humedales durante el estado estacionario. (1) como CaCO₃; (2) NTK = NT - NO₃⁻ - NO₂⁻; (3) N-Org = NTK - NH₄⁺. AF = afluente. n.p. = no procede. DQOT = DQO total; DQOS = DQO soluble

Los humedales funcionaron eficazmente como tratamiento de afino de materia orgánica (DQO) y como tratamiento terciario de nitrificación. El humedal plantado elimina un 76-85% de la DQO y del 75 al 96% del amonio. El humedal plantado obtiene una mejora de al menos 10 puntos porcentuales en eliminación de materia orgánica y amonio.

El aumento de la carga hidráulica (CH) produjo una disminución del rendimiento en eliminación de nitrógeno amoniacal. Sin embargo, la cinética de la nitrificación aumentó cuando se incrementó la CH. En cuanto a nitrato, se observa mayor concentración siempre en el humedal con plantas que en el humedal sin plantas. En cambio, la concentración de nitrito efluente es algo mayor en el humedal sin plantas. Esto sugiere que la aireación en el HFV2 es mayor debido a las plantas, y esto hace que la segunda etapa de la nitrificación (NO₂⁻ → NO₃⁻) sea más eficaz.

Los resultados sugieren que la incorporación de una capa de turba como constituyente del sustrato produce un incremento de la superficie específica disponible para el desarrollo de una biocenosis nitrificante, lo cual estimula un elevado grado de nitrificación a pesar de los reducidos tiempos de retención hidráulica del proceso.

VARIABLE:	FASE I		FASE II		FASE III	
	HFV2	HFV4	HFV2	HFV4	HFV2	HFV4
Nº pulsos/día	4	4	2	2	8	8
Duración pulso (min)	3	3	3	3	3	3
Pausa entre pulsos (min)	57	57	57	57	57	57
Q diario (L/d)	108	115.2	54	57.6	216	230.4
Carga hidráulica (cm/d)	8.3	8.8	4.2	4.4	16.6	17.6
Carga orgánica, B _{DQO} (g DQO/m ² /d)	11.7	12.4	4.7	4.9	14.0	14.8
Carga de NTK, B _{NTK} (g N/m ² /d)	3.5	3.7	2.0	2.1	7.3	7.7

Tabla 2. Resumen de condiciones operacionales de cada fase experimental

Objetivos científico-técnicos

Evaluación del funcionamiento y diseño de un lecho aireable sumergido, aplicado al tratamiento de agua residual urbana para la reducción de materia orgánica y nitrógeno total. Para esto, en el 2010 se construyó un sistema a escala real y se instaló en la Planta Municipal de Tratamiento de Aguas Residuales de Abegondo (Galicia, España). Abegondo posee una red unitaria de saneamiento.

La planta experimental fue diseñada para servir a una población de 200 habitantes-equivalentes (h-e). Otros objetivos del proyecto fueron evaluar el consumo energético y la producción de lodos del proceso.

Principales actividades desarrolladas

1. Diseño de la planta experimental a escala real.
2. Proyecto y construcción de la planta en hormigón prefabricado.
3. Transporte, instalación y puesta en marcha de la planta experimental.
4. Explotación y control del funcionamiento de la planta durante 15 meses, sometida a variaciones de carga contaminante mediante cambios en el caudal de alimentación.



Figura 1. Proceso de lecho aireable sumergido (LAS-NITRO)

Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente
DBO ₅	mg/L	370 (250)	11 (7)
DQO	mg/L	1015 (686)	58 (28)
NTK	mg/L	59 (40)	10 (7)
NT	mg/L	60 (39)	15 (6)
N-NO _x ^a	mg/L	1.3 (1.2)	5.0 (3.0)
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	162 (156)	75 (44)
pH		7.10 (0.21)	7.26 (0.21)

Tabla 1. Concentraciones promedio \pm desviación estándar del afluente y efluente del proceso en estado estacionario (26 muestras compuestas 24-h, 15 meses de estudio)

$$^a \text{N-NO}_x = \text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$$



Planta experimental instalada



Relleno Bionet



Relleno Bionet instalado



Relleno cubierto de biopelícula

Resultados y Conclusiones

Los valores promedio de DBO₅, DQO y NT en el afluente fueron 370, 1015 y 60 mg/L, respectivamente. La planta piloto produjo un efluente de muy buena calidad en estado estacionario. Las concentraciones promedio de DBO₅, DQO y NT en el efluente final fueron 11, 58 y 15 mg/L, respectivamente (Tabla 1).

La planta piloto fue diseñada para una aglomeración de 200 h-e (12 kg DBO₅/d, Q = 0.46 L/s). Sin embargo, debido a la elevada concentración del afluente, el reactor consiguió tratar con gran eficacia una carga correspondiente a 480 h-e (28.8 kg DBO₅/d, Q = 1.2 L/s). Con carga orgánica correspondiente a 480 h-e, los porcentajes de eliminación alcanzados para DBO₅, DQO y NT fueron 98, 97 y 78%, respectivamente (figura 2). Esto demuestra la capacidad del proceso para tratar sobrecargas hidráulicas y de contaminación con un rendimiento estable.

La pre-desnitrificación con este lecho aireable sumergido demostró ser un proceso muy eficaz para la eliminación avanzada de NT. La aireación intermitente y controlada de la etapa de pre-desnitrificación resultó adecuada para obtener una elevada eficacia en la eliminación de NT, sin que se produzca inhibición debido a la concentración de oxígeno disuelto en el seno líquido. La desnitrificación funcionó adecuadamente con un rango de caudal de recirculación de nitrato de entre 2Q y 4Q. La aireación intermitente y controlada de las etapas aerobias resultó en una reducción significativa del consumo energético (Tabla 2).

La explotación y mantenimiento de la planta fue muy simple y básicamente consistió en la purga periódica de los lodos en exceso. Esta característica hace de este un proceso aconsejable para su aplicación en la depuración de aguas residuales de pequeños núcleos.

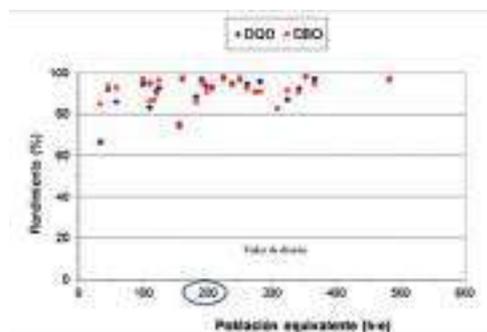


Figura 2. Efecto de la población equivalente servida sobre el rendimiento del proceso

Proceso	kg DBO ₅ eliminado/kwh
Sistema de Biodiscos	1.7 - 4.5
Fangos Activos	0.7 - 1.5
Aireación Prolongada	0.4 - 0.6
Este proceso (LAS-NITRO)	0.6 ^(a) - 2.5 ^(b)

Tabla 2. Rendimiento energético específico de varios procesos biológicos

Agradecimientos

Investigación financiada por el Plan Gallego de Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica (INCITE 09MDS035E) y la empresa INNDES Ltd.

Autores

A. Jácome Burgos (UDC)
R. Novoa (Russulo)
J. Molina Burgos (GEAMA)

J. Suárez López (UDC)
D. Torres Sánchez (GEAMA)
P. Ures Rodríguez (GEAMA)

Objetivos científico-técnicos

Este vertedero de residuos sólidos urbanos (RSU) entró en funcionamiento en el año 1984, y estuvo 17 años acogiendo residuos municipales hasta su clausura y sellado. A la fecha del estudio el vertedero tenía una edad de 22 años. El volumen de residuos acogido en los 17 años de vida útil del vertedero fue superior a los 300000 m³.

Los gases de vertedero se recogen mediante chimeneas y se queman. Para el tratamiento de los lixiviados producidos en el vertedero se instaló una planta con un sistema de depuración físico-químico compuesto de: tamiz rotatorio, coagulación-floculación, decantación, filtración (arena y carbón activo).

Por deficiencias del sellado el caudal de lixiviados es muy superior a la capacidad de tratamiento de la planta. Los objetivos del estudio fueron: evaluar la producción y composición actuales del lixiviado; diagnosticar la idoneidad y funcionamiento de la línea de tratamiento, y evaluar alternativas de tratabilidad del lixiviado.

Metodología

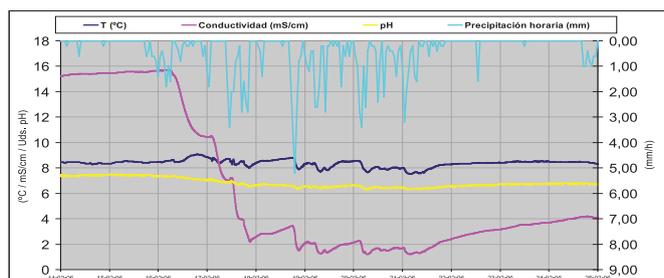
1. Evaluación de la producción de lixiviados: a) a partir de registros históricos; b) a partir de mediciones propias (instalación de sección de control, registro en continuo, pluviómetro, etc.)
2. Caracterización de lixiviados: a) análisis de registros históricos; b) desarrollo de campañas propias (9 muestreos de 20 parámetros).
3. Estación depuradora de lixiviados: inventario de las instalaciones actuales, revisión de los criterios y parámetros de diseño, y diagnóstico de las instalaciones.
4. Establecimiento de objetivos de vertido y de gestión de fangos.
5. Estudio de tratabilidad de lixiviados: verificación de la tratabilidad por físico-químico y análisis de alternativas posibles a partir de la caracterización de lixiviados.



Instalación de bombeo de la EDAR (pozo de llegada) y del sistema de medición en continuo (pH, CE, T°C)



Sistema de medición de caudales compuesto por: vertedero triangular y sonda de nivel



Resultados y Conclusiones

La composición de los lixiviados se basa en el análisis de muestras compuestas: 2 muestras en tiempo seco y 7 en tiempo de lluvia (Tabla 1).

Parámetro	Unidad	T. Seco	T. Lluvia
pH		7,41	7,16
Turbidez	UFT	22	18
Color verdadero	Pt-Co	2100	609
Color aparente	Pt-Co	2100	614
Conductividad	mS/cm	9,04	2,95
Potencial redox (E _H)	mV	399	335
Sólidos sedimentables	mL/L	0	0
Sólidos totales	mg/L	3577	1139
Sólidos totales fijos	"	2541	782
Sólidos totales volátiles	"	1036	355
Sólidos disueltos	"	3517	1106
Sólidos disueltos fijos	"	2520	758
Sólidos disueltos volátiles	"	997	348
Sólidos en suspensión	"	33	20
Sólidos en suspensión fijos	"	16	13
Sólidos en suspensión volátiles	"	18	7
DQO total	mg O ₂ /L	1385	384
DQO soluble	"	1340	368
DBO ₅	"	198	66
Alcalinidad	mg/L CO ₃ Ca	3890	1254
Dureza	mg/L CO ₃ Ca	464	297
Calcio	mg/L	100	79
Magnesio	mg/L	53	24
Cloruros	mg/L	801	219
Sulfatos	mg/L	122	44
Fósforo total	mg/L P-PO ₄	6,71	1,61
Ortofosfato	"	5,09	1,36
N-total	mg/L N	820	275
N-amoniacoal	"	748	247
N-orgánico	"	55	17
N-nitritos	"	0,50	0,20
N-nitratos	"	4,08	8,44

Tabla 1. Composición de lixiviados brutos del vertedero sellado de RSU

La tratabilidad del lixiviado consistió en proceso físico-químico (jar-test) seguido de una adsorción con carbón activo. Este tratamiento reduce significativamente el contenido de materia orgánica y elimina casi por completo el color. Sin embargo, la reducción del amonio requiere una etapa adicional que podría basarse en: proceso biológico tipo biodiscos, humedales artificiales, arrastre con aire y con recuperación de sulfato de amonio, intercambio iónico, etc.

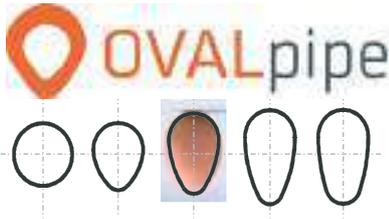


De izquierda a derecha se observa el aspecto del lixiviado: bruto (LB), después del tratamiento físico-químico (FQ), y después de adsorción con carbón activo durante 2 y 4 horas (PAC 2h y PAC 4h)

Autores

A. Jácome Burgos (UDC) H. del Río Cambeses (GEAMA)
J. Suárez López (UDC) J. Molina Burgos (GEAMA)

Introducción



Los libros clásicos de ingeniería sanitaria recogen las formas ovoides como óptimas para el transporte de aguas de saneamiento, y proponen formas geométricas para su definición. Esta tipología ha sido prácticamente abandonada desde hace ya varios años por el sector, no por su bajo rendimiento hidráulico, sino por simplicidad en el proceso de fabricación y puesta en obra. En efecto, es más sencillo construir un tubo circular (por centrifugación, por ejemplo) que un ovoide.

Objetivos

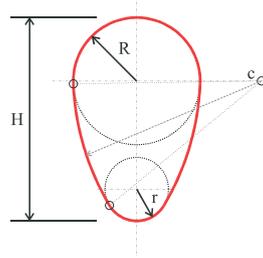
El objeto del presente proyecto es diseñar y desarrollar una solución para tuberías de alcantarillado hidráulica y estructuralmente más eficiente, que aporte mejoras en la eficiencia de las redes tanto desde el punto de vista de su funcionamiento como en su implantación y mantenimiento.

El objetivo general es el de diseñar un tubo cuyo perfil interior se corresponderá con un ovoide, y que pueda ser fabricado con materiales plásticos gracias a la tecnología de *stage molding*.

Resultados

Las actividades desarrolladas por el GEAMA en este proyecto son las siguientes:

- Determinación de la forma óptima del perfil hidráulico optimizado para el ovoide en base a los parámetros de partida más adecuados para su funcionamiento en los sistemas de saneamiento existentes (unitario, separativo o mixto).

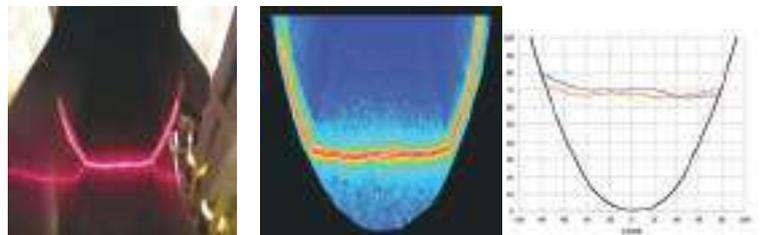
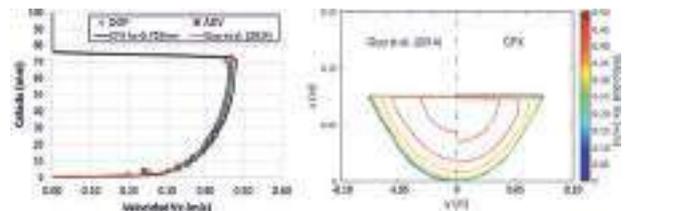


La sección óptima es un ovoide formado por 3 acuerdos circulares con la relación de forma: $r/R=0.5$ y $H/R=3.0$

- Realización de ensayos de laboratorio en el CITEEC y en la EDAR de Bens del perfil hidráulico definido, y comparación con la sección circular. Los ensayos han consistido en la determinación de los campos de velocidades y tensiones en los perfiles ovoides y circulares con ayuda de equipos ADV y el perfilador de velocidades DOP. Además, se han realizado ensayos de transporte de sedimentos aluviales (arenas) y con agua residual bruta, en las instalaciones del CITEEC y Bens respectivamente. En estos ensayos se ha determinado la capacidad de transporte de sedimentos y la evolución de los lechos y formación de biopelículas con ayuda de sensores de nivel por ultrasonidos y con técnicas de imagen digital.
- Validación experimental con el modelo numérico ANSYS CFX de los resultados de caracterización hidráulica desarrollados. Se ha realizado un modelo 3D de flujo bifásico aire-agua para modelizar las tuberías circular y ovoide y comparar su funcionamiento.



Con el desarrollo de nuevas tecnologías de inyección de plástico, se pretende poner en el mercado una serie de tubos ovoides para saneamiento que cubra todas las necesidades que actualmente se esperan de esta línea de productos, y cuya puesta en obra sea competitiva frente a los tubos circulares.



- Validación con un modelo numérico de la eficacia de los tubos ovoides en una cuenca de saneamiento real. En esta actividad se ha empleado el modelo InfoWorks para modelizar los procesos de sedimentación y erosión de los sedimentos depositados en una cuenca empleando tuberías circulares y de sección ovoide.
- Propuesta de una serie normativa de tubos ovoides para su puesta en el mercado, con capacidades hidráulicas equivalentes a los tubos circulares de menor diámetro más habituales en sistemas de saneamiento (315 y 400 mm).

Conclusiones

A partir de los trabajos realizados se ha configurado y validado experimental y numéricamente la sección hidráulica de una nueva tipología de sección ovoide para conducciones de saneamiento de material plástico, competitiva frente a tuberías circulares de pequeño diámetro.

Agradecimientos

Financiado por CDTI – Programa FEDER-INNTERCONECTA. Convocatoria del año 2013 para la Comunidad Autónoma de Galicia (expediente ITC-2013/3052). El consorcio está formado por las empresas ABN Pipe Systems, EMALCSA, M. Blanco SL, Universidad de Valladolid y GEAMA de la UDC.

Autores

J. Suárez López (UDC) A. Jácome Burgos (UDC)
J. Puertas Agudo (UDC) M. Regueiro Picallo (GEAMA)
J. Anta Álvarez (UDC) J. Naves García-Rendueles (GEAMA)



Antecedentes

Esta investigación surge de un proyecto FEDER-INNTERCONECTA anterior llamado OvalPipe (2013). La idea del proyecto inicial se basa en la obtención de soluciones de saneamiento mecánica e hidráulicamente mejoradas y competitivas, mediante el desarrollo de tuberías ovoides.

Este desarrollo fue llevado a cabo por empleo de metodología de inyección. Esta técnica derivó, a pesar de haber obtenido resultados prometedores, en una producción de piezas discontinua y de elevado coste. Desde el punto de vista hidráulico se ha definido y validado experimental y numéricamente una sección ovoide equivalente en área a tuberías circulares de pequeño diámetro (315 y 400 mm).

Objetivos

Desarrollo y optimización de tuberías con perfil ovoide mediante la tecnología de extrusión, lo que permitirá aprovechar todos los resultados del anterior proyecto, y las ventajas adicionales que ofrece el empleo de este sistema de obtención de tuberías: alta producción en continuo, facilidad de fabricación de diferentes diámetros y mejora de propiedades por modificación del espesor.

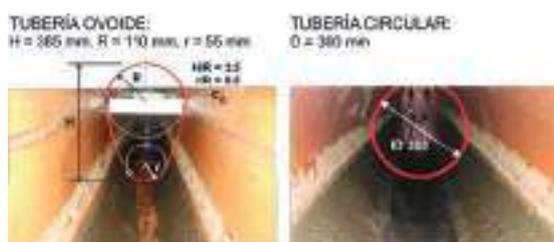
Actividades

Las actividades desarrolladas por el GEAMA en este proyecto se llevan a cabo en la Plataforma de ensayos para conducciones con agua residual urbana en la EDAR de Bens-A Coruña, y en el Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Enxeñaría Civil (CITEEC) de la UDC:

- Comparar el rendimiento hidráulico y de transporte de sólidos de las secciones ovoides. Para ello se ensayaron diferentes prototipos en la plataforma situada en la EDAR de Bens, frente a tuberías circulares con diámetros habituales en sistemas de saneamiento (315 y 400 mm).
- Validar con un modelo numérico los ensayos de acumulación y lavado de sedimentos realizados en las tuberías circulares y ovoides.
- Estudio de una cuenca real y modelización numérica de su red de saneamiento con tuberías ovoides.
- Normalización de series de tubos ovoides y sistemas de unión para su uso en redes de saneamiento, y puesta en mercado.

Elementos innovadores

- Metodología de extrusión apta para la obtención de perfiles ovoides.
- Desarrollo de tubo ovoide estructural, mecánica e hidráulicamente eficiente, y sistemas de unión asociados.
- Desarrollo de sistemas de unión para tubos ovoides, y su unión también con tubos circulares.
- Aplicación de tubos y uniones desarrolladas en sistema de saneamiento.



Agradecimientos

Proyecto financiado por la Agencia Estatal de Investigación (MINECO). Convocatoria Retos del año 2016 (Ref. RTC-2016-4987-5). El consorcio está formado por las empresas ABN Pipe Systems SLU, CETIM y GEAMA de la UDC. Además, como empresas colaboradoras figuran EDAR Bens SA y EMALCSA.

Autores

J. Suárez López (UDC) A. Jácome Burgos (UDC)
J. Puertas Agudo (UDC) M. Regueiro Picallo (GEAMA)
J. Anta Álvarez (UDC) J. Naves García-Rendueles (GEAMA)

Introducción

La acumulación de sedimentos en sistemas de saneamiento unitarios es una fuente de contaminación debida tanto a las velocidades de autolimpieza insuficientes en conducciones que se producen durante periodos de tiempo seco como a los sólidos depositados tras importantes episodios de lluvias. Los principales efectos derivados de la acumulación de materia orgánica en las conducciones son la producción de gases (sulfhídrico y metano), que se generan por procesos anaerobios dentro del manto de sedimentos, y las importantes concentraciones de contaminantes en los Desbordamientos de los Sistemas Unitarios (DSU), en gran parte provocadas por la resuspensión debida al cambio de régimen hidráulico que se produce en las conducciones durante los aguaceros.

Objetivos

El objeto de este proyecto es analizar los procesos de acumulación, erosión y transporte de los lechos de sedimentos cohesivos presentes en las conducciones de los sistemas de saneamiento unitarios. Para lograr este objetivo se desarrollarán ensayos en laboratorio y en una cuenca piloto, empleando sedimentos y flujos de agua residual real, y se emplearán herramientas de simulación numérica para modelizar los escenarios analizados en los trabajos experimentales.

La finalidad del proyecto es poder desarrollar una serie de estrategias que mejoren la gestión de los sedimentos en sistemas unitarios. En especial, se pretende mejorar el conocimiento de los procesos de acumulación de sedimentos en los periodos de tiempo seco del sistema, y mejorar la capacidad predictiva de los modelos de erosión y transporte de sedimentos durante los eventos de lluvia.



Actividades y Metodología

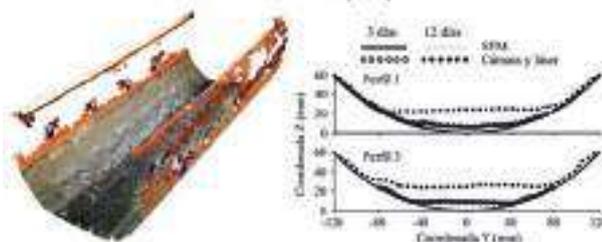
El proyecto contempla una serie de tareas de trabajo en modelo físico en las instalaciones de la EDAR de Bens, el desarrollo de una campaña de caracterización en una cuenca piloto en el área metropolitana de la ciudad de A Coruña, y una fase de modelización numérica en gabinete. La última fase del proyecto consistirá en la integración de los resultados obtenidos y la propuesta de nuevas estrategias para el control de los sedimentos en las redes de saneamiento unitario.



PERFIL DE SEDIMENTOS. CÁMARAS Y LÁSERES



MODELO 3D. STRUCTURE FROM MOTION (SFM)



- Análisis y aplicación de herramientas de modelización numérica para simular los procesos de acumulación y lavado de sedimentos en conducciones de saneamiento unitario.
- Integración de los resultados obtenidos y definición de estrategias para la gestión de los sedimentos en conducciones de saneamiento unitario.

- Estudio de los procesos de acumulación y arrastre de sedimentos en conducciones de saneamiento unitario, en condiciones controladas de laboratorio con agua residual real. Monitorización de los parámetros de entrada en la plataforma de ensayos y caracterización de la evolución de los sedimentos acumulados en el fondo de la tubería y las biopelículas de pared.
- Estudio de los procesos de acumulación y arrastre de sedimentos en conducciones de saneamiento unitario en una cuenca piloto. Caracterización de la cuenca a través de varias secciones de control en puntos con problemas de sedimentación periódicos.



Agradecimientos

Proyecto financiado por la Dirección General de Investigación Científica y Técnica con fondos MINECO-FEDER. Convocatoria Retos del año 2015 (Ref. CGL2015-69094-R).

Autores

J. Suárez López (UDC) A. Jácome Burgos (UDC)
J. Puertas Agudo (UDC) M. Regueiro Picollo (GEAMA)
J. Anta Álvarez (UDC) J. Naves García-Rendueles (GEAMA)



PROYECTOS

Laboratorio de Instrumentación y Sistemas Inteligentes en Ingeniería Civil

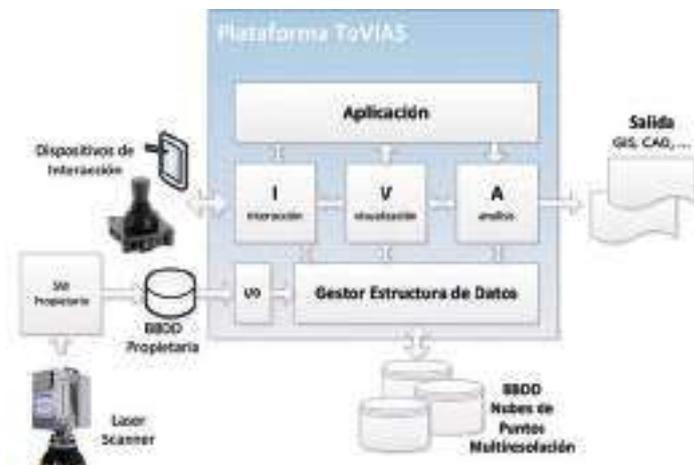
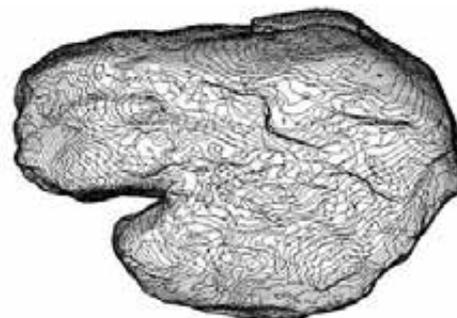
Introducción

Se presenta el proyecto ToVIAS, acrónimo de *Topographic Visualization, Interaction and Analysis System*, o Sistema de Visualización, Interacción y Análisis Topográfico. Desde la empresa Enmacosa, y en colaboración con la Universidade da Coruña, se plantea el desarrollo de este proyecto I+D+i, que tratará de generar el conocimiento y las herramientas necesarias para trabajar con datos topográficos 3D, extraídos con escáner laser, y aplicados al campo de la ingeniería.

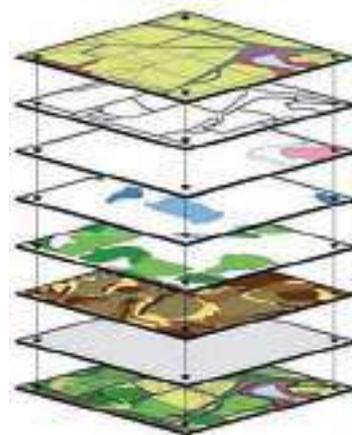
Objetivos específicos

El objetivo principal del proyecto es la investigación en los campos de visualización, interacción y análisis de nubes de puntos de carácter topográfico, y desarrollar una plataforma informática específica para el área de la ingeniería. Esta plataforma constituirá un marco de trabajo flexible e incremental para la asistencia de labores técnicas propias del sector. De esta forma se podrán ofrecer servicios más fiables, completos y complejos, a un coste menor, incrementando enormemente la productividad.

- Desarrollar una metodologías estándar para la "captura de la realidad" en proyectos de ingeniería con tecnología LIDAR terrestre.
- Integrar diferentes dispositivos de captura, para obtener en la bases de datos la mayor cantidad de información posible, y así poder conseguir un mejor análisis.
- Desarrollar una plataforma software de trabajo para la visualización, interacción y análisis de información LIDAR, orientada al ámbito de la ingeniería, aplicando técnicas de visualización avanzada e inteligencia artificial.



- Fomentar nuevas líneas de negocio que aumenten la productividad y la competitividad en el ámbito nacional e internacional.
- Generar una línea de investigación en la aplicación de Inteligencia Artificial a los procesos de tratamiento de datos LIDAR.
- Impulsar la cooperación entre empresa y universidad, así como la comunidad científica internacional.
- La investigación en los campos de visualización, interacción y análisis de nubes de puntos de carácter topográfico utilizando tecnología LIDAR, y desarrollar una plataforma informática específica para el área de la ingeniería en la generación de planos CAD.



Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado para Enmacosa, y financiado por el CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial).

Autores

J. Robuñal Dopico (UDC)
A. Jaspé Villanueva
O. Álvarez Mures
E. Padrón González

Introducción

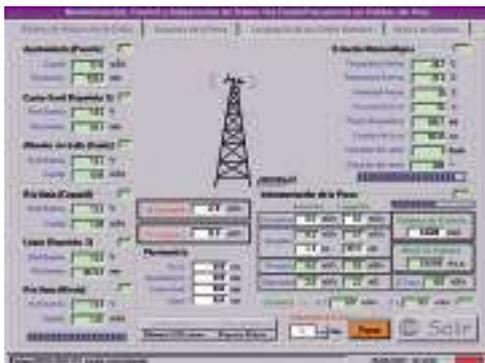
Proyecto para instrumentar la cuenca fluvial del río Umia y la presa de Caldas de Reis, para obtener datos sobre los caudales, pluviometría, nivel de agua del embalse, porcentaje de apertura de compuertas y aliviaderos..., con el fin de actuar en consecuencia ante posibles avenidas.

Actividades realizadas

Aguas arriba se instrumentan diferentes puntos del río Umia y de alguno de sus afluentes. Los puntos de medida cuentan con un sensor de presión –para determinar la altura de agua en un tramo de una sección determinada, y así poder averiguar el caudal–, un pluviómetro y un sensor de temperatura. Para poder enviar los datos recogidos a través de un conversor analógico/digital, cada punto cuenta con un módulo de radiofrecuencia y una antena direccional ajustada para optimizar la comunicación.

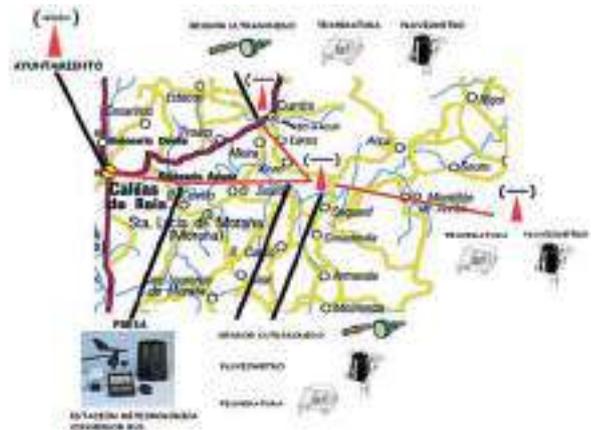
Para un funcionamiento autónomo de estos puntos, se integra un sistema de alimentación mediante paneles solares con reguladores/selectores de carga y baterías.

En los puntos de difícil comunicación directa con la base, debido a la orografía, se intercalan unos puntos repetidores con una configuración similar a los puntos de medida.



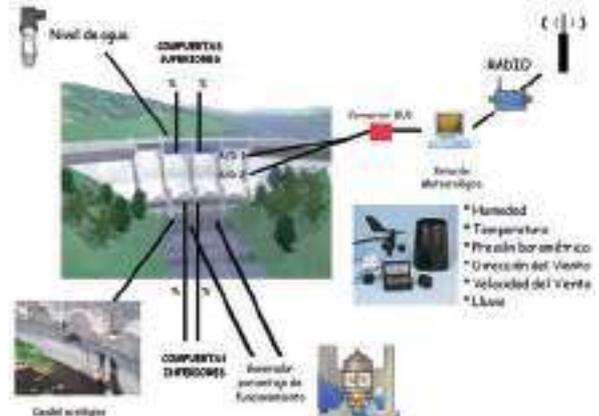
Aguas abajo, se instala otro punto de medida para tener referencia del caudal en el pueblo de Caldas de Reis. En la estación de control de la presa se coloca una estación meteorológica y sensores, para comprobar el estado de los aliviaderos inferiores y superiores; también un sensor de presión para conocer en todo momento el nivel de agua del embalse.

Toda la información de la presa llega a un ordenador mediante una red de comunicaciones RS-485. También se instala fibra óptica para conectar con los sensores de desplazamiento que controlan el grado de apertura de las turbinas (que se encuentran en la zona de generación de energía), y una antena omnidireccional con un módulo de radiofrecuencia, con licencia para obtener los datos enviados desde las estaciones situadas aguas arriba y abajo.



Objetivos

- Adquisición de múltiples datos del comportamiento del río Umia en Caldas de Reis.
- Registro de lluvias a lo largo de la cuenca.
- Registro del nivel de agua del río en diferentes puntos.
- Estudio del embalse y presa situado en el río.
- Registro de datos climatológicos (velocidad y dirección del viento, presión barométrica, temperatura, humedad,...)



Conclusiones

Gracias a los puntos de medida autónomos enlazados con la base mediante una red de radiofrecuencia, es posible obtener información de la cuenca del río Umia y sus afluentes. La fibra óptica y la red RS-485 permiten monitorizar la presa y la planta de generación de energía. Todos los datos son almacenados en un ordenador dentro de la estación de control de la presa para su análisis.



Autores

J. Rabuñal Dopico (UDC)
J. Puertas Agudo (UDC)
E. J. Sixto Martínez (UDC)

G. Álvarez Iglesias (UDC)
D. Villares Budiño (UDC)
M. Pallas Deus (UDC)

Introducción

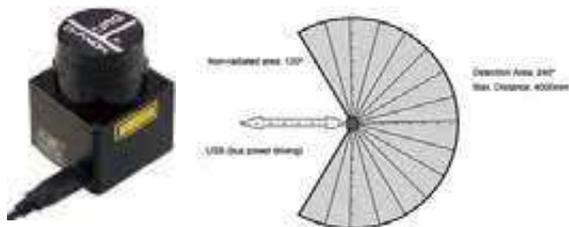


Conocer el número de peces que atraviesan escalas es una tarea compleja, que presenta numerosos inconvenientes para los métodos actuales, como la limitación de visión que tiene la observación directa debido a la turbidez del agua, o los problemas asociados a la colocación de sensores en especímenes. Con este trabajo se pretende realizar un sistema de detección de peces utilizando la tecnología láser.

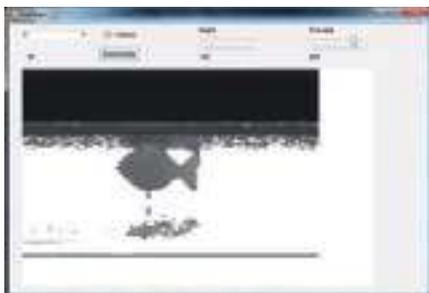


Técnica propuesta

En este artículo se propone una técnica en la que se utiliza un escáner láser conectado a un PC con sistema operativo Windows, que se sumerge en el agua de la escala de peces de hendidura vertical mediante un compartimento estanco transparente. El sensor láser detecta el paso del pez, y esta información es transmitida al PC.



Mediante el desarrollo de un software se pueden registrar los valores medidos de distancia por el láser en el rango de 240 grados de apertura del haz y se registrará el paso del pez permitiendo su detección por el software y poder realizar acciones como el conteo del número de peces que pasan por una sección de la escala.



Para una correcta detección del pez se debe realizar una calibración del sensor, y así obtener las distancias correctas.

Conclusiones

Mediante la técnica propuesta se puede desarrollar un sistema que permite la detección de peces, de modo que se puede conocer su densidad en una determinada zona sin utilizar un método invasivo, y sin necesidad de observación directa. Actualmente se está probando el sistema en entorno real, y con las condiciones bajo las que debe mostrar su eficacia.

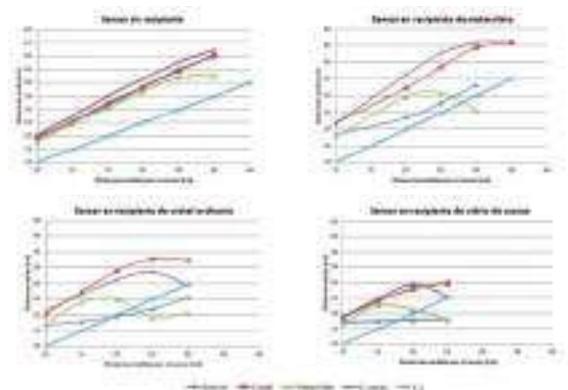
Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (Ref. CGL2012-34688), parcialmente financiado con fondos FEDER, y la Dirección Xeral de Investigación, Desenvolvemento e Innovación de la Xunta de Galicia (Ref. 10MDS014CT). Así mismo, se agradece la colaboración del Centro de estudios Hidrográficos (CEH) del CEDEX.

Ensayos

Para realizar las pruebas con láser se utiliza el sensor Hokuyo modelo URG-04LX-UG01, que tiene una longitud de onda de 758 nm y su área de escaneado es un semicírculo de 240 grados con alcance máximo de 4000 mm. El ángulo de espaciado entre medidas del sensor es de 0.35 grados, y la salida que ofrece es la distancia al objeto en cada punto (683 puntos). Para hacer los ensayos se utilizan dos tipos de piscinas o estructuras hidráulicas: una piscina con 93 litros de agua, y un canal circular con motor que hace mover el agua a una cierta velocidad en circuito cerrado. Se debe tener en cuenta la influencia que la turbidez del agua tiene en las medidas del sensor. La precisión del láser se verá reducida debido a la limitación de penetración del haz láser en agua que reduce la intensidad, y también estará condicionada por su turbidez. En este estudio se realizan pruebas que permitan cuantificar esa diferencia y conocer las limitaciones del sensor laser utilizado para las pruebas.

En las siguientes gráficas se pueden observar varias calibraciones en diferentes condiciones de turbidez y tipo de recipiente protector del laser.



Autores

J. Rabuñal Dopico (UDC)
J. Puertas Agudo (UDC)
D. Villares Budiño (UDC)

A. Rodríguez Tajés (UDC)
A. Rico Díaz (UDC)
L. Pena Mosquera (UDC)



Introducción

Una escala de peces vertical es una estructura hidráulica construida en ríos para preservar la biodiversidad de los peces en los lugares afectados por la construcción de obras de ingeniería, como es el caso de presas. Estos elementos alteran el ecosistema de los ríos, provocando cambios en la fauna y flora y obstaculizando la migración de peces.



Este trabajo analiza la detección automática de peces en aguas turbulentas. Una Red de Neuronas Artificiales SOM se utiliza para detectar peces en imágenes de cámaras submarinas instaladas en una escala de hendidura vertical. Esta técnica permite el estudio del comportamiento real de los peces, y ayuda a comprender las limitaciones de natación de diferentes especies en ambientes de alta velocidad.

Algoritmo propuesto

Las imágenes son normalizadas y preprocesadas para mejorar el contraste de la imagen mediante el uso de una ecualización de histograma adaptativa limitada por contraste (CLAHE). Una vez obtenida la segmentación de la imagen con la Red de Neuronas Artificiales SOM, con una topología de tres capas con 3 elementos de procesamiento en cada capa, el objetivo del sistema de segmentación es determinar la posición de los peces detectados en la imagen.

Debido a las características de la imagen, donde el pez está a menudo parcialmente oculto y donde aparecen sombras, burbujas y reflexiones, el algoritmo debe responder bien a detecciones parciales o anormales.

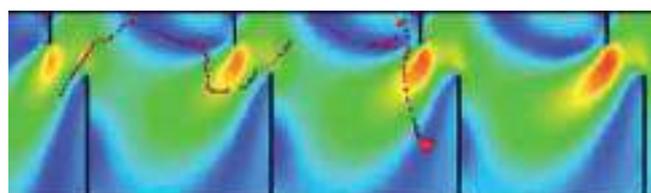
Se basa en la obtención del vector de cuerpo conectado a partir de la imagen segmentada. Cada cuerpo se caracterizará por el vector de píxeles que lo componen y por un conjunto de parámetros descriptivos: su área, su centroide y la elipse mínima que contiene el cuerpo.

El objeto detectado se clasifica como un pez potencial o ruido, de acuerdo con el tamaño del objeto y el eje mínimo y mayor de la elipse.



Conclusiones

En este trabajo se propone una solución para la detección de peces en escalas de hendidura vertical utilizando RNA SOM y un algoritmo para filtrar detecciones anómalas. La precisión y el rendimiento de la técnica propuesta se ha probado, analizando y comparando los resultados obtenidos con diferentes técnicas de segmentación y la ayuda de expertos. Los resultados obtenidos con este sistema han sido muy prometedores, pues permiten obtener la posición de los peces en la imagen con una baja tasa de error.



Resultados

Para medir el rendimiento de las RNA SOM, se realizó un conjunto de experimentos con peces vivos de la especie salmón, trucha en un modelo de escala de hendidura vertical 1:1 ubicado en el CEH-CEDEX en Madrid.

Se definió un conjunto de datos de 1000 imágenes de 10 cámaras diferentes seleccionadas de diversas zonas de la escala. Para establecer una comparativa, se han diseñado dos técnicas clásicas basadas en los enfoques convencionales de segmentación y clasificación, basada en bordes mediante el análisis de las discontinuidades en la imagen, y clasificación basada en la región mediante el análisis de similitud de píxeles.

Resultados	Región	Borde	Propuesta
Detecciones	2126	819	876
Positivos verdaderos	631	716	809
Positivos falsos	1495	103	67
Negativos verdaderos	12	47	50
Negativos falsos	705	270	187
Precisión	0.30	0.87	0.92
Tiempo promedio	404	296	3566

Agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado con el apoyo de la Dirección Xeral de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Xunta de Galicia (Ref. 10MDS014CT), Ministerio de Economía y Competitividad (Ref. CGL2012-34688 PCT-380000-2007-3), y ha sido financiado parcialmente con fondos FEDER y por el Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) del CEDEX.

Autores

A. Rodríguez (UDC)
J. R. Rabuñal Dopico (UDC)
M. Bermúdez Piña (UDC)
J. Puertas Agudo (UDC)



Introducción

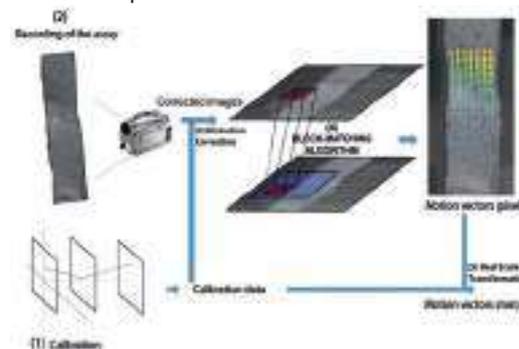
En ensayos de resistencia, se aplican cargas o tensiones a un material. La información sobre el comportamiento del material se obtiene utilizando dispositivos y sensores que solo pueden proporcionar lecturas en una dimensión, y que interfieren con el experimento generando cierta rigidez al desplazamiento.

Para superar estas limitaciones, se propone una nueva forma de analizar las pruebas de resistencia, utilizando una cámara de video para registrar el ensayo, y luego procesar las imágenes para extraer el campo de desplazamiento completo del material.



Algoritmo propuesto

El algoritmo propuesto utiliza la filosofía del procedimiento estándar de concordancia de bloques. Analizar la similitud estadística de los niveles de gris en cada región (bloque) de la imagen. El propósito es resolver el problema de correspondencia para cada región, encontrando en la imagen siguiente la región que representa el desplazamiento más probable. Con el fin de obtener mediciones precisas en una escala real, se utilizó el modelo proyectivo pin-hole junto con un modelo numérico de distorsiones. Para calcular los parámetros del modelo, se utiliza un patrón de calibración estándar.



Resultados

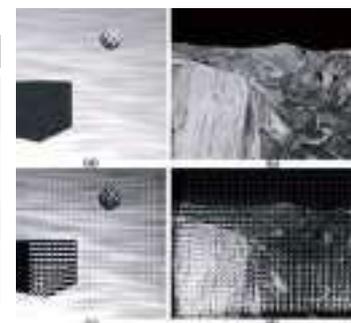
Se llevaron a cabo dos series de experimentos. Los resultados obtenidos se compararon con los obtenidos por las siguientes técnicas basadas en la comparación de bloques:

- Block-Matching del software libre OpenCv.
- El software comercial DaVis de LAVision.

Imágenes sintéticas

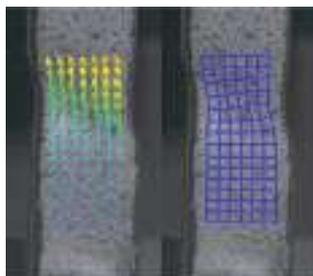
En este experimento, se usaron dos secuencias de prueba para *benchmarking* de algoritmos de flujo óptico: una secuencia sintética del banco de datos de la Universidad de Otago (Nueva Zelanda) y la secuencia de Yosemite.

Algoritmo	Cubo		Yosemite	
	Avg Error	SSD Error	Avg Error	SSD Error
Este trabajo	0.28	0.38	0.14	0.15
DaVis	0.54	0.79	0.16	0.18
Block-Matching	2.14	1.00	0.45	0.45



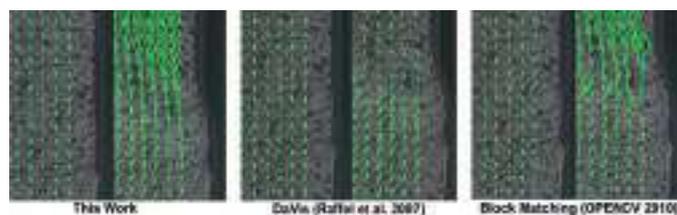
Prueba de carga

Se analizó el comportamiento de una barra de acero clásica utilizada en la industria de la construcción y el hormigón. El material fue sometido a fuerzas de tracción hasta el punto de ruptura. Este ensayo se realizó en el Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC), obteniendo buenos resultados.



Conclusiones

- Los ensayos de resistencia se pueden analizar utilizando técnicas de block-matching, obteniendo mediciones más flexibles que la instrumentación tradicional.
- Se propone una nueva técnica para analizar las imágenes utilizando los principios de block-matching.
- La técnica propuesta recupera el campo de desplazamiento completo de la superficie del material, proporcionando información sobre el comportamiento global del material probado.
- La técnica propuesta ha obtenido los mejores resultados en los ensayos con imágenes sintéticas y con las imágenes de la prueba de resistencia real.



Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado por la Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Xunta de Galicia (Ref. 08TMT005CT).

Autores

A. Rodríguez (UDC)
J. Rabuñal Dopico (UDC)
J. L. Pérez Ordóñez (UDC)
F. Martínez Abella (UDC)

Introducción

En muchos campos de la Ingeniería Civil, la forma más común de diseñar modelos y estructuras es la aplicación de las leyes de la física y la experimentación; los datos resultantes del ensayo, su estudio y la validación de los resultados son los siguientes pasos. Sin embargo, los avances de la Inteligencia Artificial (IA) han tenido una fuerte influencia en diferentes áreas de la Ingeniería Civil, ya que los ingenieros pueden utilizar estas técnicas de varias maneras y en problemas muy diferentes. El presente trabajo muestra la aplicación de la Programación Genética a la Hidrología, y más específicamente al modelado del caudal de agua generado después de un evento lluvia en una cuenca.

Una vez obtenida la predicción del caudal de agua, la siguiente etapa es la predicción del transporte de sólidos y su cantidad a través de la cuenca. Estas predicciones son muy importantes en el campo de la ingeniería civil, ya que sirven para predecir las inundaciones y los tiempos que existen desde que se produce un vertido contaminante hasta que una concentración fija llega a un punto aguas abajo (por ejemplo, una ciudad con habitantes).

Uno de los procesos más importantes en Hidrología es el denominado "proceso de transformación lluvia-escorrentía", que modela el proceso en el que la lluvia que cae sobre un área se concentra y fluye por la superficie. En el campo de la Ingeniería Civil existen actualmente varios métodos basados en ecuaciones matemáticas para modelar el proceso lluvia-escorrentía; Algunas de ellas son las Ecuaciones Hidráulicas y los Hidrogramas Unitarios. En realidad, no hay ningún método que permita obtener con resultados fiables la cantidad de sólidos que se transporta a través del caudal del río, para el caso de predecir el transporte de contaminantes cuando se produce un vertido.

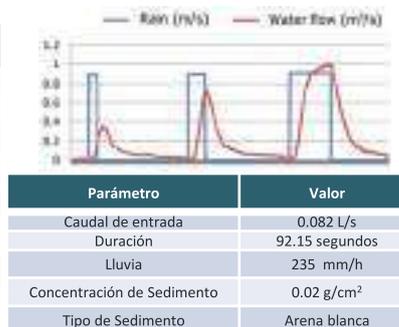


Descripción del problema

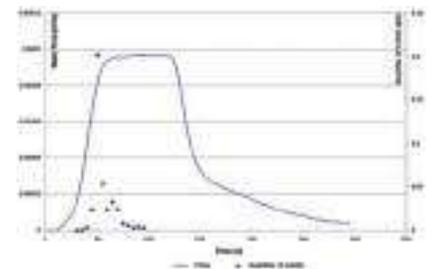
En el Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC) de A Coruña existe un modelo físico (a escala) de una cuenca para poder estudiar el comportamiento de la transformación lluvia-escorrentía, y también para estudiar el comportamiento de transporte de sólidos a diferentes caudales. Este modelo a escala simula una cuenca donde se pueden producir eventos de lluvia y se mide el caudal de agua que se genera. También se puede añadir una cantidad de sólidos en suspensión al modelo, y se puede estudiar su transporte en el caudal de agua que se ha generado. Con los datos obtenidos, y utilizando la Programación Genética, se puede obtener una expresión matemática que predice el comportamiento.

Configuración de la Programación Genética

	Predicción de caudal de agua	Predicción de transporte de sólidos
Tamaño población	1000	1000
Ratio de Cruce	90%	85%
Ratio Mutación	5%	10%
Algoritmo de selección	torneo	torneo
Nivel de parsimonia	0.0001	0.000001
Variables	P(t), P(t-1), P(t-2), P(t-3), P(t-4), P(t-5), P(t-6)	Q(n)
Constantes	10 valores aleatorios entre -3 y 3	10 valores aleatorios entre -1 y 1
Operadores	+, -, *	+, -, *, /

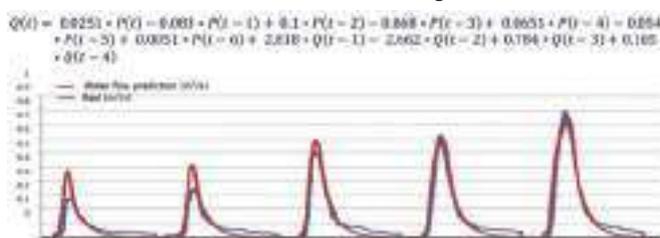


Caudal generado por la lluvia

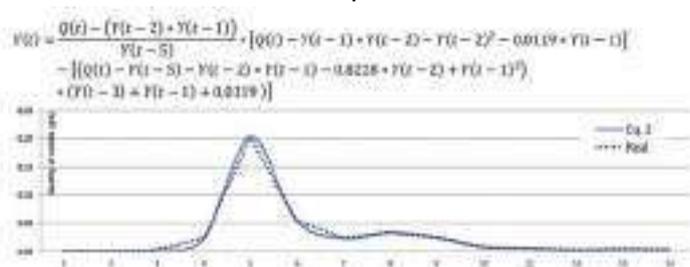


Resultados

Predicción de Caudal de agua



Predicción de transporte de sólidos



Conclusiones

Los resultados obtenidos por PG al modelar el flujo de escorrentía de una cuenca artificial utilizando una expresión matemática demuestran que tienen un rendimiento satisfactorio.

Una vez que se alcanza la predicción del caudal de agua y se conoce la cantidad de contaminante vertido en dicho flujo de agua, también es posible modelar y predecir el transporte de contaminantes a través de la cuenca. La modelación del proceso de transporte de sólidos a través de una expresión matemática obtenida usando la programación genética produce muy buenos resultados.

Esto significa un nuevo avance en el campo de la Ingeniería Civil, porque no existía hasta ahora ningún modelo o sistema que permita obtener este tipo de resultados en términos de una ecuación matemática y de una manera satisfactoria.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Dirección Xeral de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Xunta de Galicia (Ref. 08MDS003CT).

Autores

J. Rabuñal Dopico (UDC)
J. Puertas Agudo (UDC)
D. Rivero (UDC)

I. Fraga Cadórniga (UDC)
L. Cea Gómez (UDC)
M. Garrido Armas (UDC)



PROYECTOS

Laboratorio de Mecánica de Rocas

Introducción

Este estudio se realizó al amparo de un convenio suscrito con la Fundación Ciudad de la Energía, CIUDEN, dentro del contexto del Proyecto Compostilla (OXYCFB 300, del Programa Energético Europeo para la Recuperación, PEER).

El Proyecto Compostilla fue uno de los 6 inicialmente seleccionados en el PEER para llevar a cabo la Estrategia Europea para la Captura y Almacenamiento de CO₂ (CCS), y en el mismo se desarrolló un ciclo completo de los procesos CCS:

- Construcción de una planta piloto de captura de CO₂ de 30 MW con tecnología de oxidación en lecho fluido.
- La construcción de un bucle cerrado de 3 km para la investigación del transporte de los gases capturados.
- Una Planta de Desarrollo Tecnológico para la inyección real de CO₂ en un acuífero salino profundo

Metodología

Las actividades desarrolladas por el LaMeRoc guardan relación con el bloque de trabajo 3 (inyección de CO₂ en la Planta de Desarrollo Tecnológico de Hontomín, Burgos) y, de modo específico, en el estudio en el laboratorio del comportamiento termo-hidro-químico-mecánico de las rocas almacén de CO₂, al ser sometidas a la inyección masiva de este fluido bajo condiciones reales (A).

El trabajo requirió del diseño y construcción de una plataforma experimental (B) que permitiera simular en el laboratorio las condiciones existentes en el almacenamiento seleccionado, para lo que se tuvieron que integrar dispositivos de confinamiento y control de presión triaxial, regulación de temperatura, sistemas para la inyección continua de fluidos, así como una amplia gama de sensores y transductores para el estudio de las variaciones de permeabilidad, deformación, propiedades geofísicas (velocidades de propagación de ondas), composición química de los fluidos circulados, etc., además de los correspondientes sistemas para la adquisición de datos.

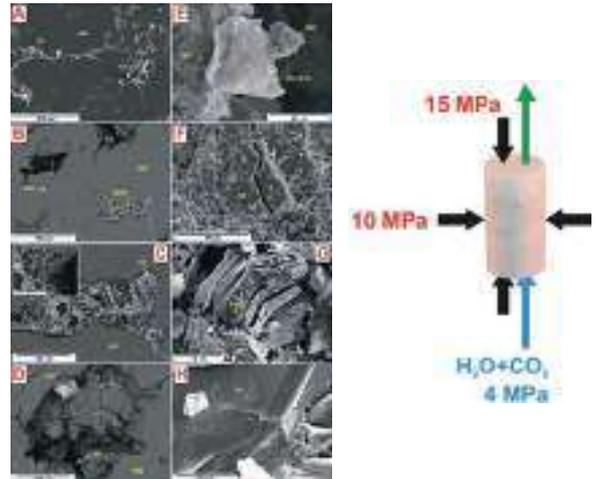
El trabajo se desarrolló empleando rocas tomadas directamente de los almacenes de interés de la PDT de Hontomín (areniscas y carnolitas), las cuales fueron ampliamente caracterizadas. Los experimentos se desarrollaron de forma continua durante periodos de tiempo de varias semanas. Los resultados obtenidos fueron modelizados (C).

Resultados y Conclusiones

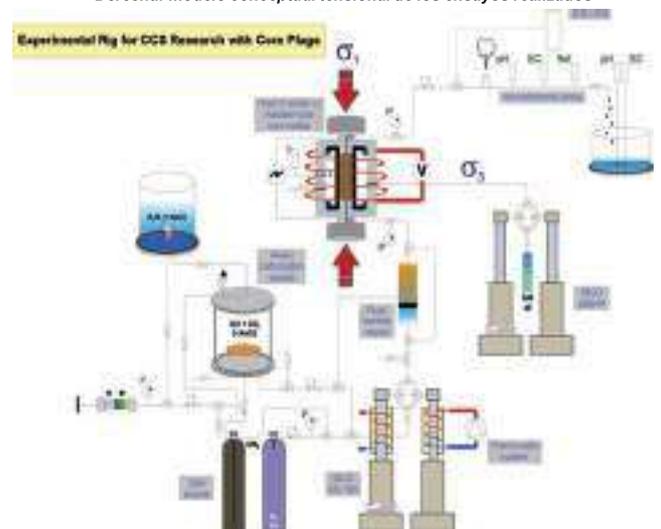
Canal, J.; Delgado, J.; Falcón, I.; Yang, Q.; Juncosa, R.; Barrientos, V. (2013) Injection of CO₂-saturated water through a siliceous sandstone plug from the Hontomín test site (N Spain). Experiment and modeling. Environmental Science and Technology 47, 159-167.

Agradecimientos

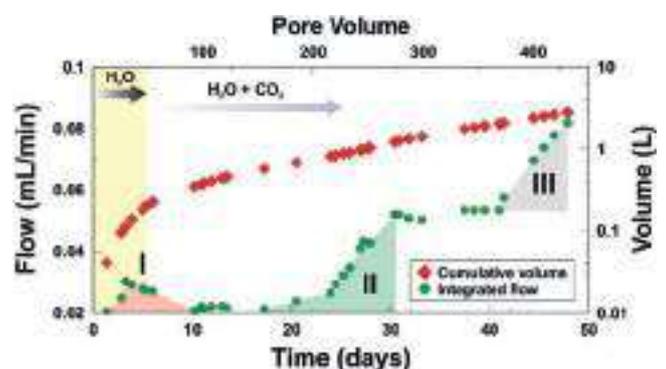
Este trabajo ha sido financiado por la Fundación Ciudad de la Energía y Fondos Europeos de Desarrollo Regional FEDER.



A. Izquierda: imágenes SEM de una de las muestras de arenisca ensayada. Derecha: modelo conceptual tensional de los ensayos realizados



B. Plataforma experimental para los ensayos de inyección de CO₂



C. Variación de la permeabilidad de una arenisca a lo largo de uno de los ensayos

Autores

J. Delgado Martín (UDC) R. Juncosa Rivera (UDC)
J. Canal Vila (UDC) V. Barrientos Rodríguez (UDC)
I. Falcón Suárez (UDC) Q. Yang (UDC)

Introducción

En el contexto del Proyecto Compostilla (OXY CFB 300) del Programa Energético Europeo para la Recuperación, el LaMeRoc desarrolló distintos trabajos, entre ellos la caracterización de materiales de interés (formaciones sello o almacén) de la Planta de Desarrollo Tecnológico de Hontomín (Burgos).

Ello permitió poner a punto una amplia serie de ensayos de caracterización de rocas y otros geomateriales.

Metodología

A la hora de caracterizar el comportamiento de geomateriales para aplicaciones tan complejas como la captura y almacenamiento de CO₂ (CCS) es preciso abordar una gran variedad de aspectos.

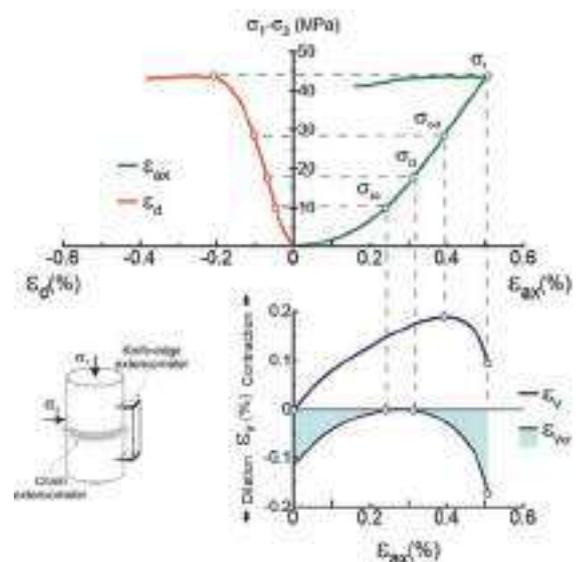
En el contexto de este trabajo hemos realizado una exhaustiva caracterización de una arenisca (Arenisca de Corvio), con el propósito de emplearla como material de referencia para distintos fines.

Por ello, sobre una base de varios cientos de probetas, se estudiaron sus propiedades físico-químicas (composición, superficie específica, densidades,...), mineralógicas (minerales y su abundancia, tamaño de grano, μ CT...), hidrodinámicas (permeabilidad al gas y líquidos), mecánicas (resistencias a compresión, tracción, triaxial, tenacidad de fractura, determinación de módulos estáticos y dinámicos...) y petrofísicas (velocidad de propagación de ondas, resistividad eléctrica, porosimetría,...).

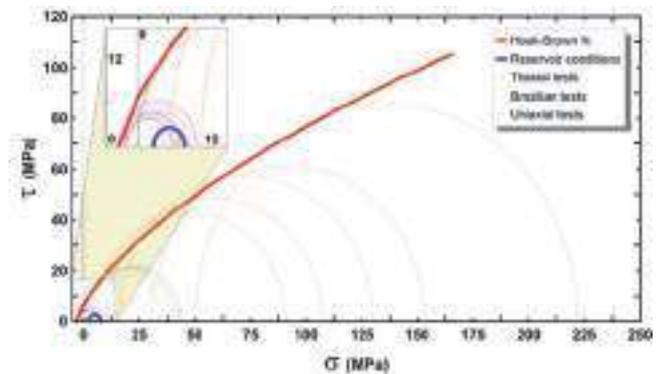
El resultado es una ingente base de datos de propiedades, que determinan que este material constituye un referente para estudios relacionados con el CCS.



C. Algunas de las probetas obtenidas para la caracterización exhaustiva de la Arenisca de Corvio (izquierda y centro). A la derecha, saturación por ascenso capilar de una probeta



A. Comportamiento tenso-deformacional de una de las probetas ensayadas



B. Envoltura de rotura de la Arenisca de Corvio

Resultados y Conclusiones

Falcón, I.; Canal, J.; Delgado, J.; North, L.; Best, A. (2016) Characterization and multifaceted anisotropy assessment of the Corvio sandstone for geological CO₂ storage studies. Geophysical Prospecting. doi 10.1111/1365-2478.12469

Agradecimientos

Algunas de las determinaciones fueron realizadas en las instalaciones de esCO₂-CIUDEN (OXY CFB 300) y la Colorado School of Mines. Fondos adicionales fueron proporcionados por el Proyecto 10REM003CT (XUGA) y FEDER 2007/2013.

Autores

J. Delgado Martín (UDC)
J. Canal Vila (UDC)

I. Falcón Suárez (UDC)
R. Juncosa Rivera (UDC)

Introducción

Desde hace varios años, el LaMeRoc desarrolla actividades de asistencia técnica y consultoría especializada con empresas del sector energético y de la exploración de hidrocarburos.

En el contexto de distintas colaboraciones, nuestro equipo ha desarrollado amplias campañas de ensayo sobre testigos de sondeo intactos, una actividad que entraña retos considerables tanto desde el punto de vista de la preparación y preservación de muestras, como del desarrollo de una metodología sólida para garantizar la obtención de resultados de calidad contrastable, el mantenimiento de una cadena de custodia de las muestras y la más estricta confidencialidad de los resultados.

Metodología

Los trabajos de consultoría y asistencia técnica desarrollados implican la ejecución de ensayos tanto convencionales como no convencionales, adaptándose a las necesidades y disponibilidad de materiales de cada momento.

Los trabajos incluyen aspectos como la determinación de parámetros mecánicos simples (resistencia y deformabilidad bajo condiciones confinadas y no confinadas), así como otros más avanzados como son la determinación de propiedades hidrodinámicas y geofísicas.

En las instalaciones de nuestro laboratorio puede realizarse la preparación de las probetas de ensayo (*subcoring*, corte, rectificación, limpieza Soxhlet,...), así como los ensayos de rutina (*routine core analysis*, RCA) y especiales (*special core analysis*, SCAL) sobre litologías competentes o no.

Asimismo, LaMeRoc cuenta con capacidad para realizar la adaptación de procedimientos experimentales a las necesidades específicas de un proyecto (p. ej., *core flooding* con ácidos).

Las capacidades del LaMeRoc quedan complementadas por la dotación de equipos y recursos humanos de las Servicios Xerais de Investigación de la Universidade da Coruña.

Resultados y Conclusiones

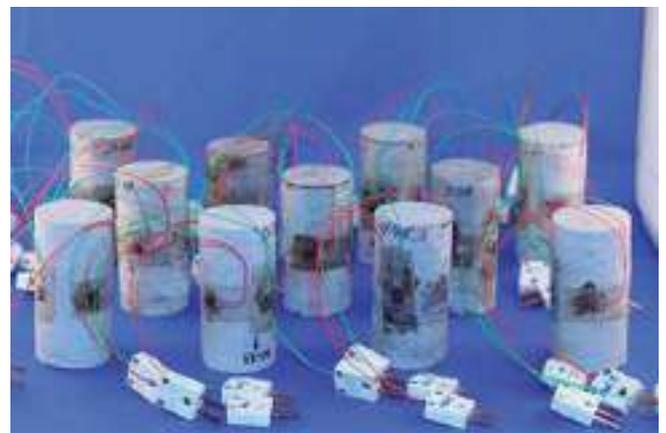
Cada uno de los trabajos realizados en este ámbito ha dado lugar a un informe técnico con la descripción de la metodología, resultados, discusión de los mismos, conclusiones y recomendaciones. Dichos informes están sujetos a cláusulas de confidencialidad.

Agradecimientos

Servizos Xerais de Investigación de la Universidade da Coruña (SAI/UDC). Algunos de los equipos empleados han sido adquiridos en el contexto de diversas ayudas para la adquisición de infraestructura científica FEDER.



A. Obtención de probetas (*subcoring*) a partir de una serie de mitades de testigo de 4" de diámetro (*full cores*)



B. Serie de probetas de 1.5" de diámetro y 2" de longitud instrumentadas con bandas extensométricas, listas para ser ensayadas en un equipo triaxial



C. Secuencia de preparación de una probeta para ser ensayada bajo condiciones de confinamiento triaxial con extensometría in vessel

Autores

J. Delgado Martín (UDC)
J. Canal Vila (UDC)

I. Falcón Suárez (UDC)
R. Juncosa Rivera (UDC)

Introducción

La determinación de las propiedades hidrodinámicas en rocas es crucial en muchos campos de actividad (exploración/explotación de hidrocarburos, aprovechamiento geotérmico, CCS...).

Cuando el medio poroso tiene una baja o muy baja permeabilidad su determinación es muy difícil, y se requieren técnicas elaboradas, así como equipos sensibles, para poder abordar este trabajo con garantías de éxito.

Metodología

A lo largo de los pasados años LaMeRoc ha desarrollado una intensa actividad en el desarrollo y puesta a punto de técnicas y metodologías para la determinación experimental de la permeabilidad en matrices rocosas y otros geomateriales. Ello incluye la medida de la permeabilidad al gas teniendo en cuenta los efectos Klinkenberg y Forchheimer (A), la aplicación de métodos estacionarios (Ley de Darcy), escalonados (*steady state method*, SSM) o métodos transitorios de distinto tipo (B). Entre ellos destacan los basados en la disipación de pulsos de presión únicos (*pulse decay*, PDM, y *pore pressure transmission*, PPTM) o la transmisión de frentes oscilantes de pulsos de presión (*pore pressure oscillation method*, PPOM).

En la puesta a punto de las técnicas anteriores ha sido determinante disponer de equipos sofisticados de entre los que destacan bombas de inyección de alta precisión (nL) con caudal presión regulable. En la figura C se ilustra uno de estos equipos basado en un portatestigos triaxial tipo Hassler (en la imagen introducido en un baño termostático), una bomba GDS ADV 64 para el control de las presiones de confinamiento y axial, y un sistema doble de 4 bombas de jeringa Quizix SP5400 que permiten obtener la información de interés (caudal, presión) aguas abajo y arriba de la probeta estudiada.

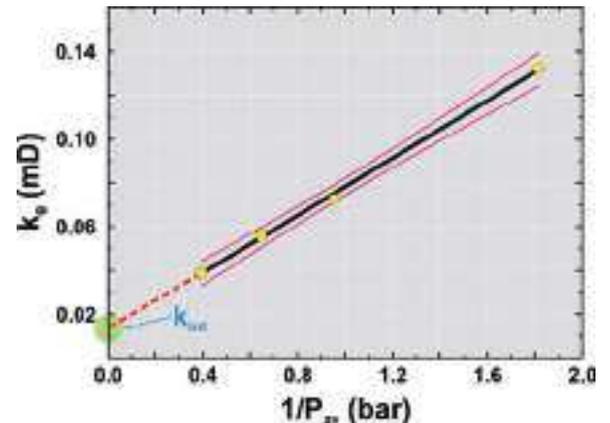
Resultados y Conclusiones

Falcón, I.; Rodríguez-Cedrún, B.; Delgado, J.; Canal, J. (2014) Application of transient methods to the assessment of permeability of well cements. Proceedings of the Eurock 2014. P. 1295-1299. Taylor & Francis.

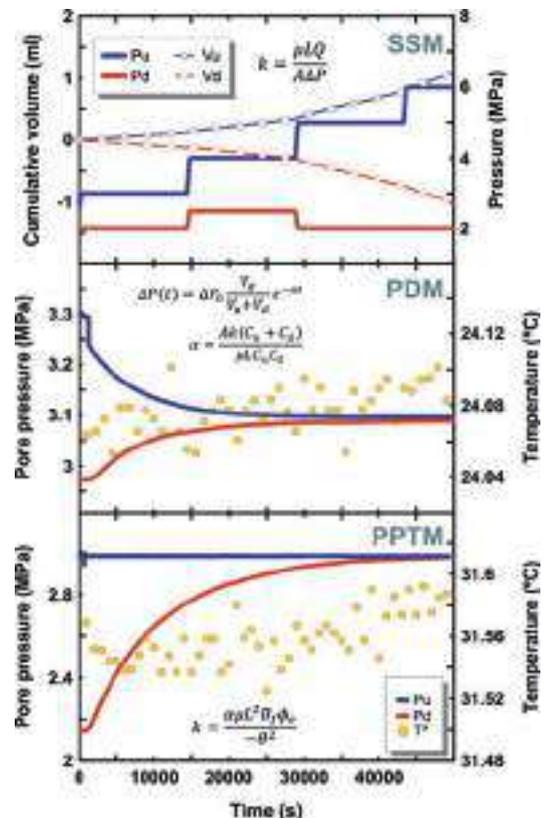
Agradecimientos

Servizos Xerais de Investigación de la Universidade da Coruña (SAI/UDC).

Algunos de los equipos empleados han sido adquiridos en el contexto de diversas ayudas para la adquisición de infraestructura científica FEDER.



A. Variación de la permeabilidad al gas de una probeta de arenisca, y evaluación de su permeabilidad intrínseca a través del efecto Klinkenberg



B. Evaluación de la permeabilidad intrínseca de probetas de muy baja permeabilidad, empleando métodos estacionarios (SSM) o transitorios (PDM y PPTM)



C. Equipo para la medida de la permeabilidad en rocas de baja o muy baja permeabilidad, empleando métodos estacionarios o transitorios

Autores

J. Delgado Martín (UDC)
J. Canal Vila (UDC)

I. Falcón Suárez (UDC)
B. Rodríguez Cedrún (UDC)

Introducción

Ciertos yacimientos no convencionales de hidrocarburos se encuentran asociados a formaciones arenosas localizadas a centenas o miles de metros de profundidad, y para su recuperación es necesaria la aplicación de técnicas como el SAGD (*Steam Assisted Gravity Drainage*).

Bajo esas condiciones (varias decenas de MPa de presión y temperaturas por encima de los 200 °C), el comportamiento geomecánico y reactivo de las arenas es muy relevante, y, para entenderlo mejor es preciso estudiarlo bajo condiciones controladas en el laboratorio.

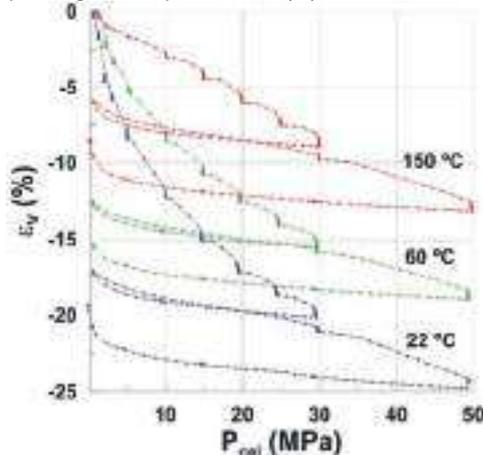
Metodología

Para realizar el estudio fue preciso adaptar algunos de los equipos disponibles en LaMeROC, para hacerlos compatibles con las necesidades del proyecto. Un bastidor de carga convencional fue dotado de un sistema automático para la aplicación de cargas escalonadas (hasta 50 MPa), programadas junto con un controlador de temperatura (hasta 250 °C), extensometría, bombas de alta precisión, sistema de adquisición de datos, etc. Asimismo, se diseñaron y construyeron otros elementos (A).

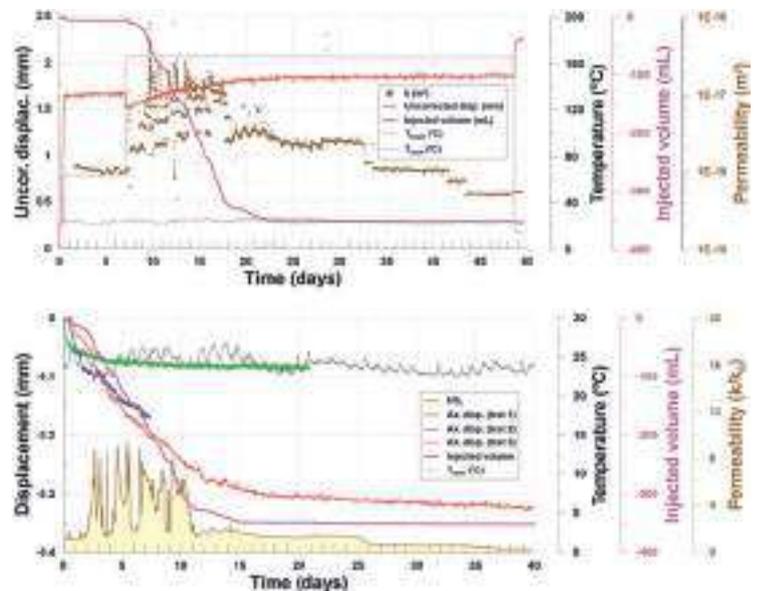
Los ensayos, de diverso tipo (B), se desarrollaron de forma continua durante varias semanas, con un amplio registro experimental (C).



A. Izquierda: dispositivo experimental diseñado para estudiar la consolidación de arenas a altas temperaturas y presiones en presencia o ausencia de fluido intersticial. Derecha: distintos elementos fabricados ex profeso para el estudio de la consolidación de arenas a altas presiones y temperaturas; derecha arriba: cilindro de transferencia de PTFE con pistón flotante; derecha centro: jeringa de PTFE para muestreo de líquidos a alta P; derecha abajo: edómetro de alta presión y porta muestras



B. Resultados de diversos ensayos de consolidación unidimensional de arenas realizados a diversas temperaturas



C. Evolución de distintos parámetros experimentales en función del tiempo en diversos ensayos de consolidación, con inyección simultánea de una salmuera

Resultados y Conclusiones

Los resultados permiten conocer mejor los procesos que operan en estos sistemas, y aportan ideas para mejorar su rendimiento. Diversos trabajos se encuentran en curso de realización.

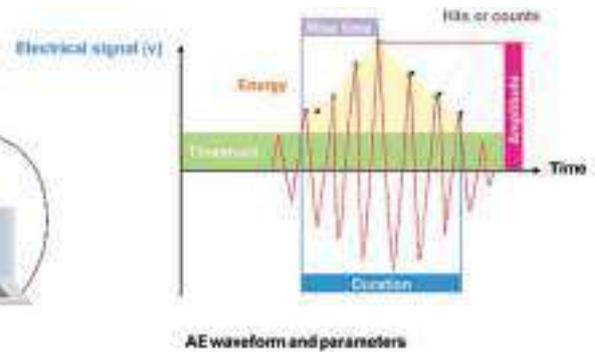
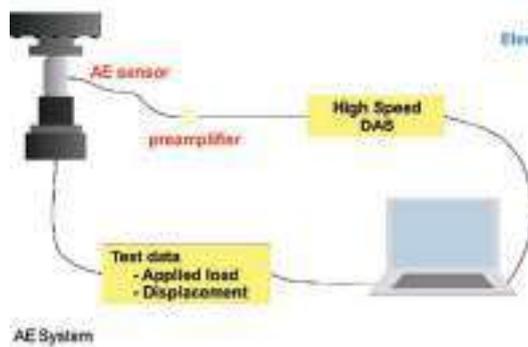
Agradecimientos

Servizos Xerais de Investigación de la Universidade da Coruña (SAI/UDC). Algunos de los equipos empleados han sido adquiridos en el contexto de diversas ayudas para la adquisición de infraestructura científica FEDER.

Autores

J. Delgado Martín (UDC)
A. Muñoz Ibáñez (UDC)

E. Grande García (UDC)
R. Juncosa Rivera (UDC)



A. Esquema general de un equipo para la determinación de emisiones acústicas e identificación de los principales parámetros de trabajo

Introducción

Entre las técnicas de caracterización no destructiva de materiales, aquellas basadas en las emisiones acústicas proporcionan una valiosa información sobre fenómenos de origen mecánico (A).

La tensión umbral de trituración de granos es un parámetro relevante en el estudio del comportamiento mecánico de arenas en yacimientos de hidrocarburos no convencionales, y en el contexto de este proyecto se han aplicado con este fin.

Metodología

El CITEEC dispone de un sistema de 2 canales para la determinación de emisiones acústicas, y próximamente se dotará con otro multicanal (16 canales) que, entre otras características, permitirá la geolocalización de fenómenos.

Los estudios desarrollados hasta la fecha se han centrado en la identificación de los fenómenos acústicos asociados a la interacción entre granos (B), discriminando entre ellos a partir de un análisis de frecuencias en base a experimentos discretos en los que predomina un único fenómeno (rotación de granos, fricción intergranular, rotura, etc.). A partir de esa información es posible identificar qué proceso es dominante en experimentos más complejos, como los ilustrados en la figura C adjunta.

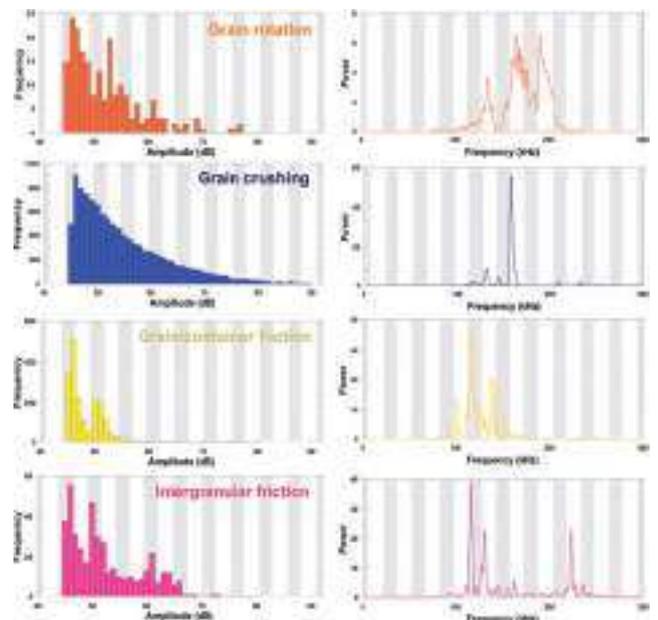
Esos mismos experimentos se han realizado también a distintas temperaturas para poner en evidencia la eventual dependencia térmica.

Resultados y Conclusiones

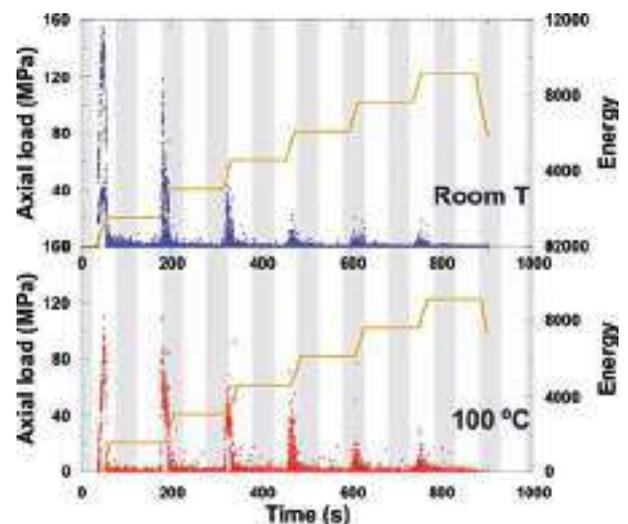
Hasta la fecha, los resultados obtenidos han servido para acotar las frecuencias acústicas a las que distintos fenómenos tienen lugar, así como para establecer el umbral de trituración de granos de arena compactados hasta 50 MPa y 150 °C.

Agradecimientos

Servizos Xerais de Investigación de la Universidade da Coruña (SAI/UDC). Algunos de los equipos empleados han sido adquiridos en el contexto de diversas ayudas para la adquisición de infraestructura científica FEDER.



B. Identificación de frecuencias características asociadas a fenómenos de emisión acústica, observados en experimentos simplificados

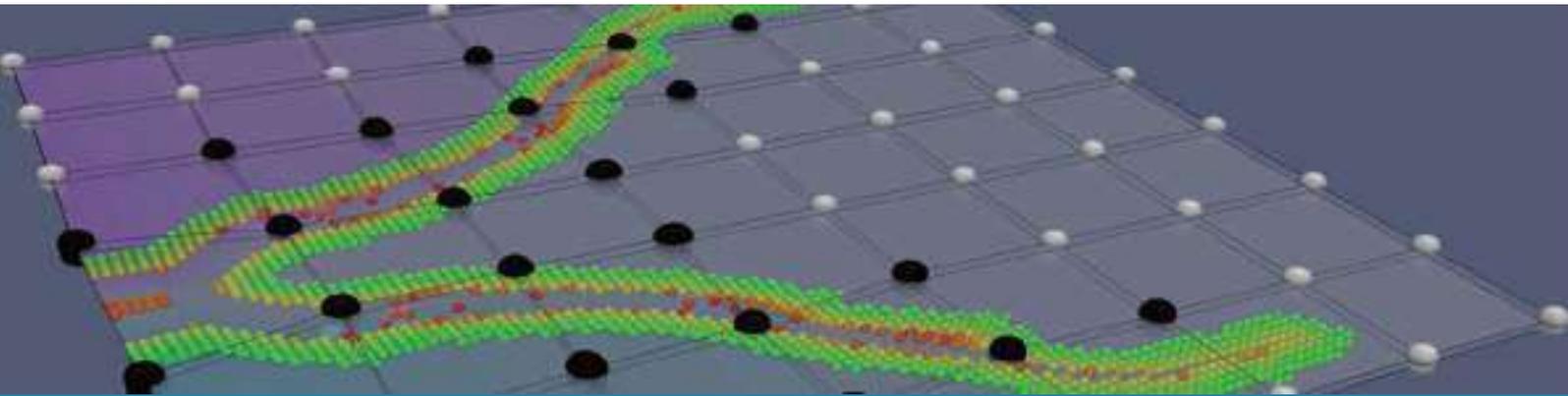


C. Ensayo multietapa de compresión de granos de arena y disminución progresiva de las emisiones acústicas al aumentar la carga. Observar el efecto térmico

Autores

J. Delgado Martín (UDC)
A. Muñoz Ibáñez (UDC)

E. Grande García (UDC)
R. Juncosa Rivera (UDC)



PROYECTOS

Laboratorio de Métodos Numéricos en Ingeniería

Introducción

La resolución de problemas de convección-difusión es habitual en ingeniería, como por ejemplo en: la simulación de los efectos de un vertido de contaminante en el mar, ríos o atmósfera; la modelización de la evolución de las reservas de petróleo, gas natural...; el análisis de la transferencia de masa o calor en ingeniería química o nuclear. Por tanto, el amplio rango de aplicaciones y sus respectivos impactos económicos hacen de este tipo de problemas un tema de investigación de gran interés.



Modelo numérico

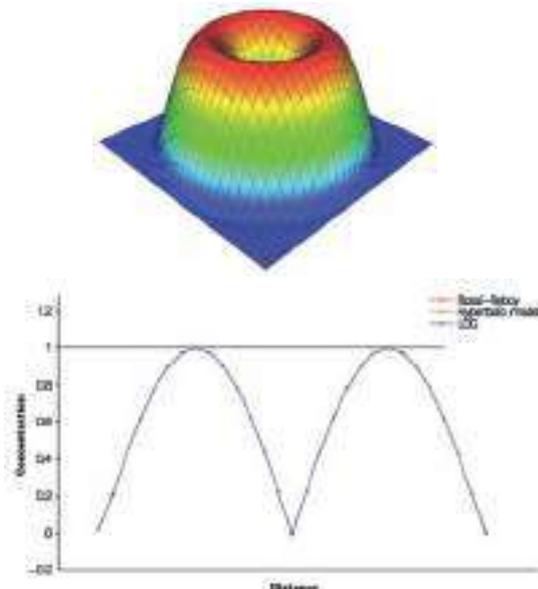
El modelo de convección-difusión presentado elimina los inconvenientes de la formulación basada en la ley de Fick, como por ejemplo, la predicción de transporte a velocidad infinita.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \mathbf{a} \cdot \nabla_{\mathbf{x}}(u) + \nabla_{\mathbf{x}} \cdot (\mathbf{q}) = 0$$

$$\mathbf{q} + \tau \left(\frac{\partial \mathbf{q}}{\partial t} + \nabla_{\mathbf{x}}(\mathbf{q}) \cdot \mathbf{a} \right) = -K \nabla_{\mathbf{x}}(u)$$

El sistema anterior está compuesto por la ecuación de conservación de masa y la ecuación constitutiva. El modelo propuesto se puede expresar como un sistema de leyes de conservación totalmente hiperbólico.

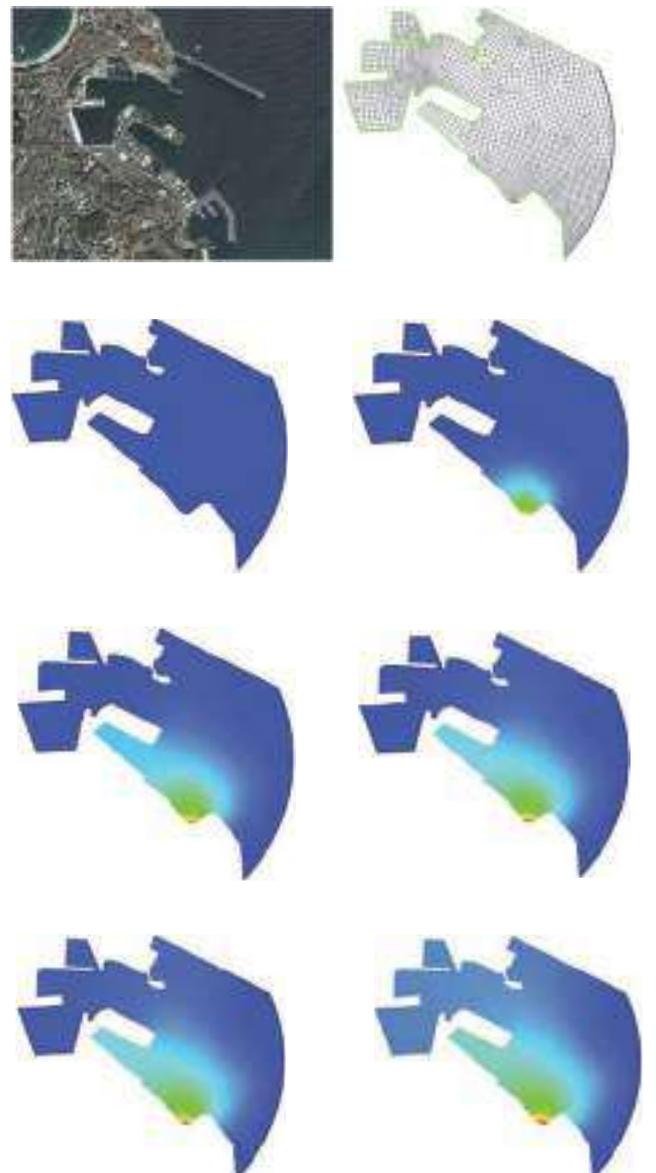
El sistema se ha discretizado mediante un método de Discontinuous Galerkin de alto orden.



Flujo en un dominio irregular bajo rotación pura



Simulación de un vertido en el Puerto de A Coruña



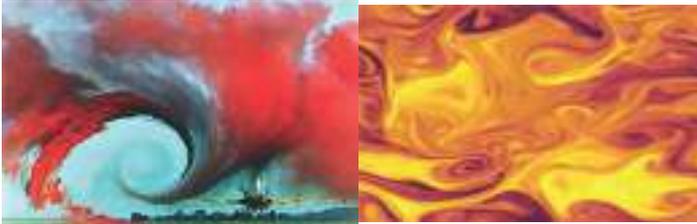
Autores

H. Gómez (UDC)
F. Navarrina (UDC)

I. Colominas (UDC)
M. Castelleiro (UDC)

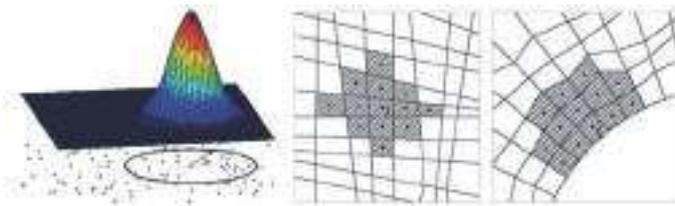
Introducción

El desarrollo de métodos de alto orden es esencial para la simulación numérica en el ámbito de la mecánica de fluidos computacional (CFD). En esta dirección el Grupo de Métodos Numéricos tiene varias líneas de investigación, entre las que destaca el empleo de volúmenes finitos junto a técnicas sin malla (Moving Least Squares, Moving Kriging...)



El método FV-MLS

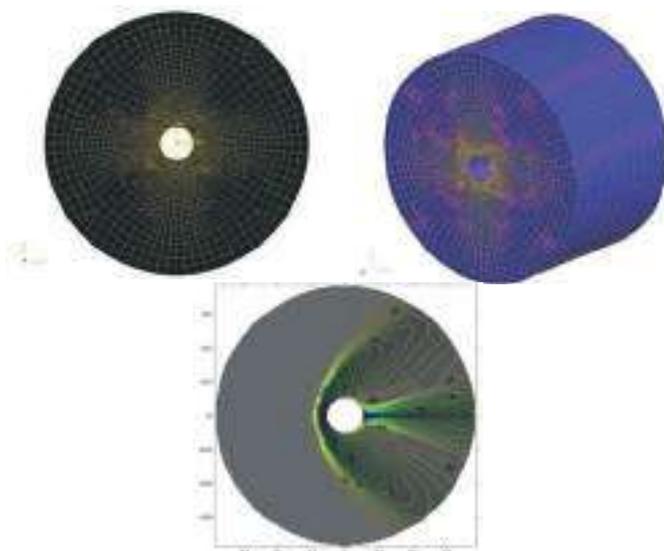
Este método está basado en el empleo de la técnica sin malla Moving Least Squares para el cálculo de las reconstrucciones de alto orden necesarias en un método de volúmenes finitos. Para conseguirlo se emplean los nodos localizados dentro de un dominio compacto denominado stencil, que son ponderados mediante un kernel.



Remarcar que el método es totalmente multidimensional y obtiene unos resultados muy precisos en mallados no estructurados. Además, a diferencia de otros métodos, el alto orden es alcanzado sin aumentar el número de grados de libertad.

Flujo alrededor de un cilindro

En este problema se resuelven las ecuaciones de Euler con Mach=3.



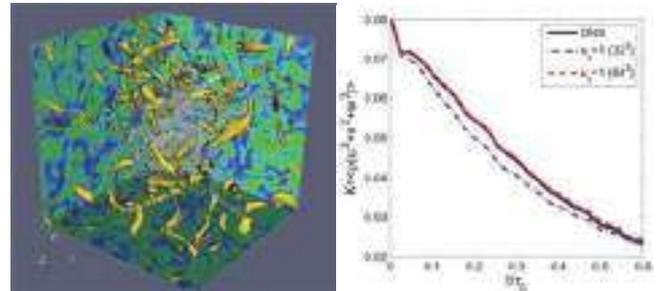
Autores

X. Nogueira (UDC)
I. Colominas (UDC)

L. Ramírez (UDC)
L. Cuelo-Felgueroso (UDC)

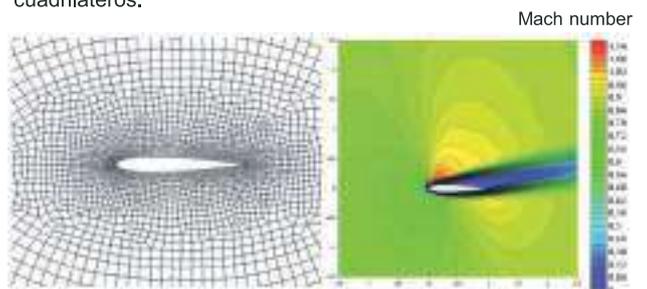
Decaimiento de la turbulencia compresible e isotrópica

Se resuelve mediante el método FV-MLS de tercer orden sin modelo de turbulencia asociado.

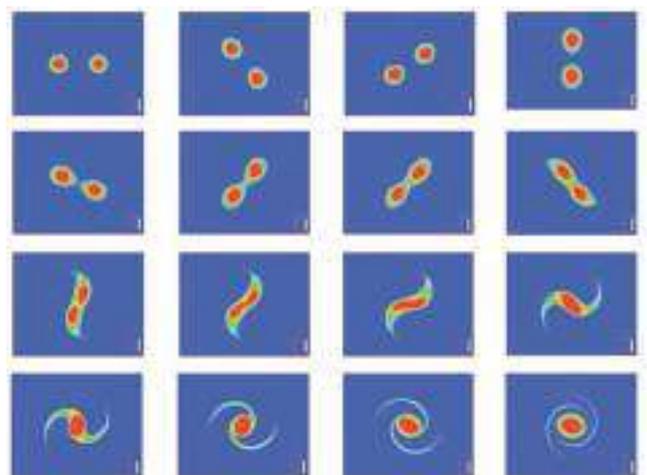


Flujo 2D alrededor de un perfil NACA 0012

Resolvemos las ecuaciones bidimensionales de Navier-Stokes. Las condiciones de flujo son Mach=0.3 con un ángulo de incidencia de 2 grados y un número de Reynolds de 500. La malla es no estructurada y está compuesta por 5322 elementos cuadriláteros.



Rotación de dos vórtices



Introducción

Las turbomáquinas están presentes bajo muchas formas en nuestra vida cotidiana, desde las bombas centrífugas y los ventiladores de uso común hasta las grandes turbinas hidráulicas de las centrales hidroeléctricas, siendo un elemento fundamental en la generación de energía y en numerosos procesos industriales.

La simulación numérica de las turbomáquinas es de gran interés para comprender el complejo comportamiento del flujo en el interior de estas, y así poder modificar el diseño para mejorar la eficiencia.



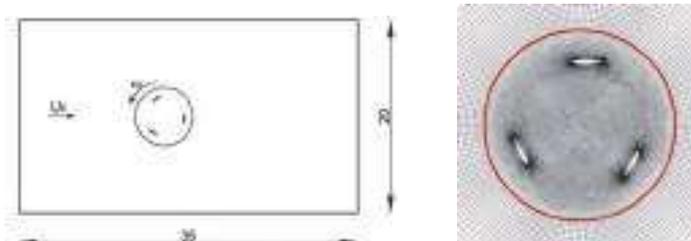
Modelo numérico

Las ecuaciones que rigen los fenómenos físicos son las ecuaciones de Navier Stokes expresadas en un sistema de coordenadas ALE (Arbitrariamente Lagrangiano Euleriano).

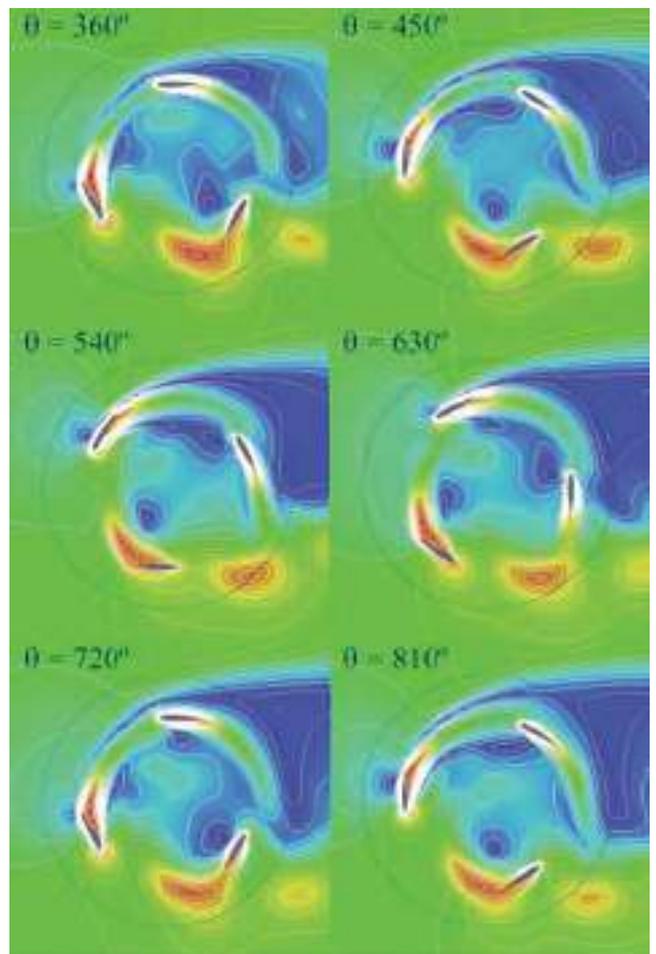
Para la discretización de las ecuaciones se ha empleado el método de alto orden FV-MLS desarrollado por el GMNI. En la simulación numérica de mallas con partes móviles, como en el caso de una turbina donde el rotor tiene una velocidad de rotación y el estátor permanece fijo, es necesario emplear metodologías de alta precisión para transferir la información desde entre el estátor y el rotor. En este proyecto se ha empleado el método sin malla Moving Least Squares (MLS) obteniéndose resultados muy precisos.

Aplicación a una turbina de eje vertical

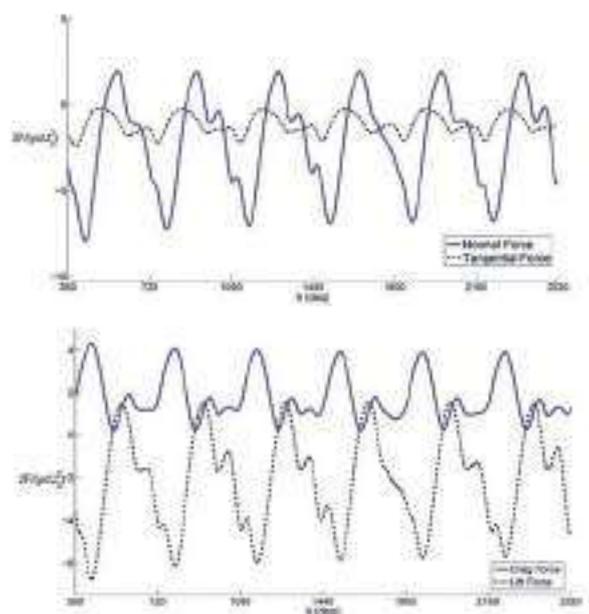
La metodología propuesta se ha aplicado a un turbina de eje vertical compuesta por tres álabes NACA 0012. Las condiciones de flujo son flujo incompresible con una velocidad $U_0=0.5$ m/s y $Re=50$. A la turbina se le prescribe una velocidad rotacional $w=0.5$ rad/s.



El campo de velocidades en diferentes instantes de tiempo es el siguiente:



Con esta metodología se pueden calcular las fuerzas ejercidas por el fluido en los álabes a lo largo del tiempo:



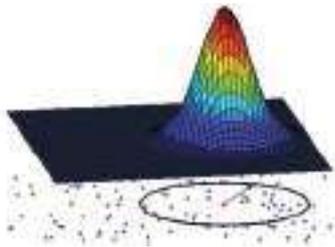
Autores

L. Ramírez (UDC)
X. Nogueira (UDC)
I. Colominas (UDC)

Introducción

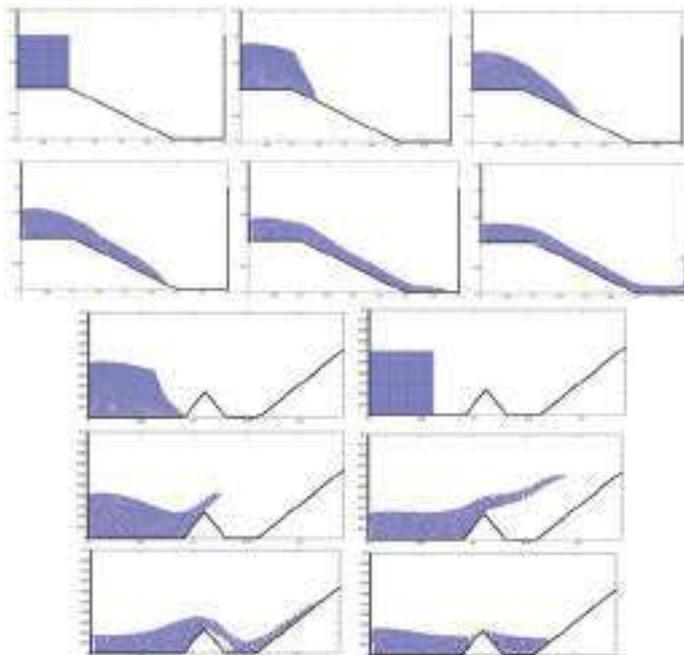
La simulación numérica de fenómenos en los que se producen grandes deformaciones (relacionados, por ejemplo, con dinámica de fluidos, impactos a gran velocidad, procesos de conformación plástica, etc.) ha puesto de manifiesto las limitaciones de las técnicas numéricas tradicionales, que precisan de la generación de una malla para realizar los cálculos.

En los métodos sin malla, las aproximaciones se obtienen a partir de una serie de funciones de ponderación o *smoothing* que confieren carácter local a la interpolación. Las funciones de forma se construyen mediante técnicas de mínimos cuadrados móviles o estimaciones tipo kernel, sin necesidad de definir una malla que conecte los nodos.



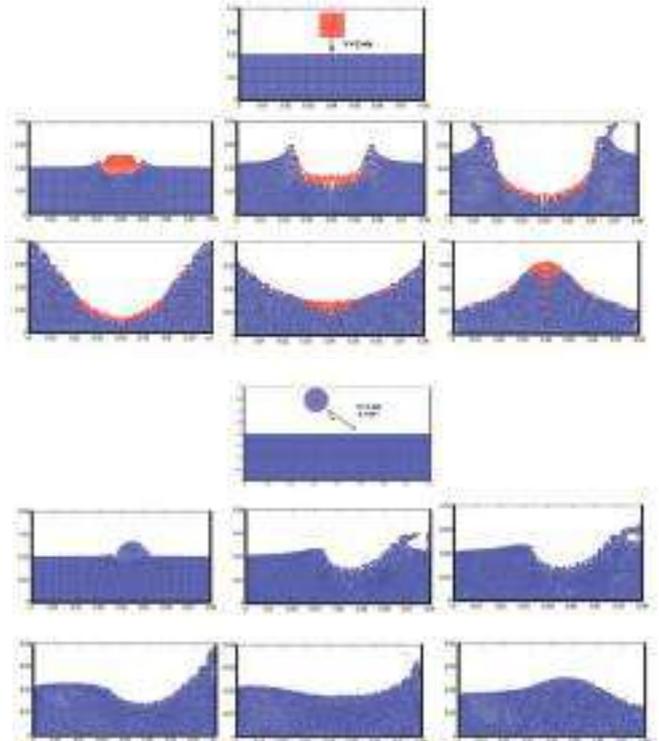
Dinámica de fluidos

En términos matemáticos, el problema consiste en la resolución de las ecuaciones de aguas someras, que en forma conservativa se pueden escribir como el siguiente sistema de ecuaciones en derivadas parciales:



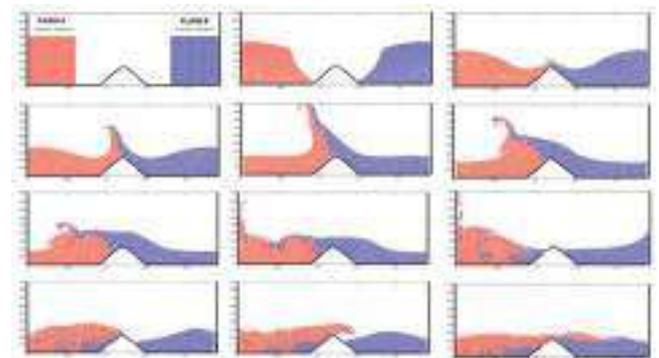
Problemas de impacto

La simulación numérica de impactos a gran velocidad, en los que aparecen grandes deformaciones, constituye un gran reto en Mecánica Computacional. Distintas simulaciones de impactos fluido-fluido demuestran la excelente calidad de las aproximaciones obtenidas mediante métodos sin malla.



Problemas con varios materiales

La metodología propuesta se puede extender con sencillez a problemas más generales, en los cuales aparezcan distintos materiales. Los resultados son excelentes, incluso en simulaciones largas.



Autores

L. Cuelo-Felgueroso (UDC)
I. Colominas (UDC)
G. Mosqueira (UDC)

F. Navarrina (UDC)
M. Castelleiro (UDC)

Introducción

La angiogénesis juega un papel crucial en la tumorigénesis al desencadenar la fase vascular del crecimiento de tumores sólidos. Se trata de un fenómeno biológico complejo (descrito esquemáticamente en la figura 1), que activa las células endoteliales y promueve el crecimiento capilar.

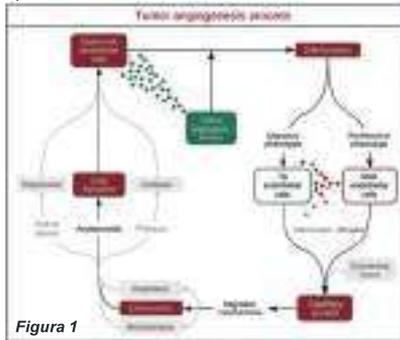


Figura 1

Muchos investigadores han desarrollado modelos matemáticos utilizando enfoques discretos, continuos, híbridos o compuestos. Entre ellos destaca el enfoque híbrido, ya que permite capturar la escala celular y la tisular.

Modelo matemático

La simulación numérica propuesta utiliza un modelo para la angiogénesis tumoral planteado por Travasso et al. Es esencialmente un modelo híbrido de múltiples escalas y está compuesto por una parte continua y una parte discreta, fusionadas a través de una ecuación. En primer lugar, la descripción continua es un modelo de no conservado de campo de fase (Ec. 1), donde c es la fase. Está acoplado con una ecuación de difusión (Ec. 2) para el factor angiogénico tumoral, representado por T , y ambos describen la proliferación de las células endoteliales,

$$\frac{\partial c}{\partial t} = M \Delta (-c + c^2 - \lambda \Delta c) + \alpha_p(T) c H(c) \quad \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (D \nabla T) - \alpha_T T c H(c)$$

donde M es la movilidad constante; λ es proporcional a la anchura de la pared capilar, $\alpha_p(T)$ es la tasa de proliferación, $H(c)$ es la función de Heaviside; D es la constante de difusión y α_T es la tasa de consumo. Por otro lado, la parte discreta es un modelo basado en agentes (Ec. 3) que describe la migración de las células endoteliales estrelladas (TEC) siguiendo el gradiente del factor angiogénico (quimiotaxis),

$$u_{TEC} = \chi \nabla T L(T)$$

Donde u_{TEC} es la velocidad de una TEC, χ es el coeficiente de migración y L es una función limitante.

Método numérico

El método numérico propuesto utiliza el análisis isogeométrico (IGA) como la herramienta principal para resolver el modelo. IGA es una metodología computacional basada en el análisis de elementos finitos que utiliza NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) como funciones base. Las ventajas de usar IGA se basan en su capacidad para integrar con precisión derivadas de alto orden, garantizando una continuidad C^1 y de orden superior. Además de análisis isogeométrico, se utiliza el método α -generalizado para la discretización temporal, un esquema de paso de tiempo adaptativo y un código paralelo.

Resultados

Las simulaciones muestran cómo las células endoteliales estrelladas se activan y migran por quimiotaxis, seguidas de un conjunto de células endoteliales que proliferan (figura 2). A medida que crece el capilar, se forman nuevas ramas que dan como resultado una red vascular.



Figura 2. Crecimiento de nuevos capilares

Siempre que un capilar está cerca de una fuente de factor angiogénico tumoral, esta deja de emitir el factor, ya que tiene nutrientes y oxígeno procedentes del nuevo capilar. Finalmente, un estudio paramétrico (figura 3) explica la influencia de los parámetros del modelo más relevantes biológicamente: la constante quimiotáctica y las constante de proliferación.

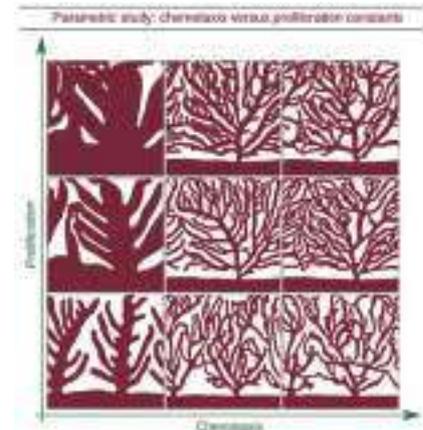


Figura 3. Estudio paramétrico

Conclusiones

- Hemos desarrollado una nueva metodología, basada en el análisis isogeométrico, para simular un modelo de angiogénesis tumoral. La metodología produce resultados precisos y permite la realización de un estudio paramétrico.
- Nuestras simulaciones proporcionan información sobre la dinámica de las ecuaciones que gobiernan la angiogénesis tumoral, y pueden ayudar a entender los procesos fundamentales que hay tras este fenómeno.
- Las constantes quimiotácticas y de proliferación son parámetros clave para el desarrollo de la nueva vasculatura en el modelo.

Bibliografía

R. Travasso, E.C. Poiré, M. Castro, J.C. Rodríguez-Manzanaque, A. Hernández-Machado. *Tumor angiogenesis and vascular patterning: a mathematical model*. PLoS One 6 (2011), e19989.

Autores

G. Vilanova (UDC)
I. Colominas (UDC)
H. Gómez (UDC)

Introducción

La angiogénesis se define como el crecimiento de nuevos capilares a partir de los preexistentes. Algunos tumores liberan una mezcla de moléculas, llamada factor angiogénico tumoral, que promueve la angiogénesis. A través de este mecanismo los tumores acceden a nutrientes y son capaces de crecer sin límites. Durante más de dos décadas se ha buscado una terapia basada en la inhibición de la angiogénesis sin resultados definitivos, pero sí alentadores. El estudio de estas terapias comienza con ensayos *in vivo* en animales, siendo uno de las más utilizados el ensayo de angiogénesis de microbolsillo en la córnea de un ratón.

En este experimento, un gránulo que libera factor angiogénico se implanta en un microbolsillo en la córnea (figura 1). La córnea es un tejido avascular, por lo que la angiogénesis no se inicia hasta que el factor alcanza los capilares en el borde de la córnea (limbo). La transparencia de la córnea facilita la observación de la angiogénesis. En este trabajo presentamos una simulación numérica que reproduce este ensayo.

Modelo matemático y Método numérico

El modelo matemático fue propuesto por Travasso et al. y ampliado por Vilanova et al. Es un modelo híbrido de múltiples escalas que consta de dos ecuaciones continuas y agentes discretos gobernados por un conjunto de reglas.

El modelo considera dos variables continuas. La primera, f , representa un factor angiogénico tumoral liberado por células cancerosas que promueven el crecimiento de los capilares. El segundo, c , es un campo de fase que define la ubicación de los capilares. Ambas variables se rigen por las ecuaciones

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \nabla \cdot (D \nabla f) - B_u f c \mathcal{H}(c)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \nabla \cdot (M \nabla (-c + c^3 - \lambda^2 \Delta c)) + B_p(f) c \mathcal{H}(c)$$

donde D es la constante de difusión, B_u es la constante de consumición, $\mathcal{H}(\cdot)$ es la función de Heaviside, M es la movilidad constante, λ es una constante positiva proporcional a la anchura de la pared capilar, y $\beta(\cdot)$ es la constante de proliferación.

La parte discreta describe las células responsables de la migración celular, TEC, que se mueven con una velocidad

$$v_{TEC} = \chi \nabla f \mathcal{L}(\|\nabla f\|)$$

donde χ es el coeficiente de proliferación y $\mathcal{L}(\cdot)$ es una función limitante. El acoplamiento continuo-discreto se realiza asignando un valor del campo de fase a las TEC a través de la ecuación

$$c_{TEC} = \frac{4B_p(f(x_{TEC}))R_{TEC}}{3p}$$

Para este trabajo hemos desarrollado un método computacional basado en el análisis isogeométrico que se ocupa de los términos de alto orden, y un marco matemático para el acoplamiento continuo-discreto.

Autores

G. Vilanova (UDC)
I. Colominas (UDC)

T.J.R. Hughes (ICES)
H. Gomez (UDC)

Geometría

La geometría de la córnea de un ratón está definida por dos cúpulas esféricas con radio diferente. Utilizando los valores proporcionados hemos creado esta geometría usando NURBS.

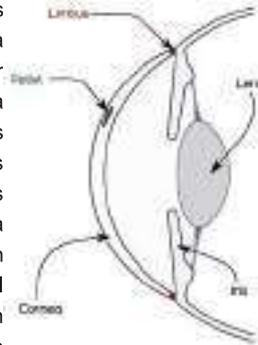


Figura 1. Córnea con implante

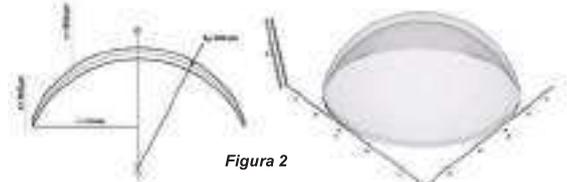


Figura 2

Se utilizó una parametrización con continuidad C^1 global, como se requiere por el término de cuarto orden. Además, hemos definido la parametrización de tal manera que los inevitables puntos singulares se encuentran en los contornos de la geometría, donde se halla el limbo de la córnea (figura 2). Tuvimos entonces que imponer condiciones de contorno tipo Dirichlet por razones fisiológicas, por lo tanto, la parametrización es H^2 .

Resultados

Hemos realizado simulaciones tridimensionales utilizando la geometría de la córnea de ratones C57BL/6, pero tres veces menor. En la figura 3 se muestran instantáneas de la evolución de la angiogénesis.



Figura 3. Evolución de la angiogénesis

Inicialmente hay un capilar en el limbo de la córnea (rojo) y un gránulo insertado en la córnea. El factor angiogénico del tumor liberado por el gránulo (verde) se difunde hasta alcanzar el limbo. En este momento, varios capilares comienzan a crecer hacia el gránulo formando una nueva vasculatura. Los capilares forman una red tridimensional más compleja que los obtenidos en simulaciones bidimensionales. La configuración de la simulación es la misma que en el ensayo de angiogénesis de microbolsillo en la córnea de un ratón. Uno de los aspectos más destacados del ensayo es la fácil observación de los capilares en crecimiento, ya que la córnea es transparente.

Conclusiones

- Presentamos una simulación tridimensional de un modelo de angiogénesis tumoral basado en un método computacional eficiente y robusto, y realizado en una córnea de un ratón C57BL/6.
- Hasta donde los autores saben, esta es la primera simulación de angiogénesis tumoral que incluye geometrías complejas y reales.
- La simulación muestra cómo el método computacional basado en el análisis isogeométrico tiene el potencial de permitir cálculos sobre anatomías específicas del paciente.

Bibliografía

J.T. Henriksson, A. M., McDermott, J.P.G. Bergmanson. Dimensions and morphology of the cornea in three strains of mice. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 50(8), 2009, pp. 3648-3654.

Introducción

En esta investigación se ha desarrollado un software completo que permite el análisis estructural y la optimización del material utilizado para la construcción de torres para el transporte de energía eléctrica formadas por barras metálicas.

Modelo matemático-numérico

El problema de optimización del material de las torres se lleva a cabo mediante la minimización de un funcional, en este caso el peso de la estructura, sujeto a ciertas restricciones que son los condicionantes de tipo estructural y geométricos que el diseño ha de cumplir.

El problema general de optimización se plantea como:

$$\text{mín } W = F(\mathbf{x}) = \rho \sum_{i=1}^n l_i \cdot A_i$$

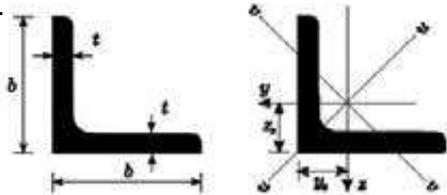
sujeto a:

$$g_j(\mathbf{x}) \leq 0, \quad j = 1, m$$

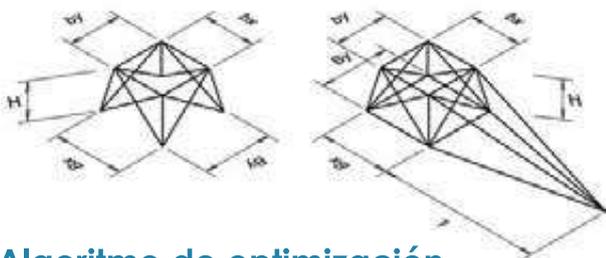
$$(\mathbf{x}_i)_{\text{mín}} \leq \mathbf{x}_i \leq (\mathbf{x}_i)_{\text{máx}}, \quad i = 1, n$$

En este caso se han implementado restricciones derivadas de los condicionantes impuestos por el Eurocódigo 3 de estructuras metálicas y de la norma ASCE 10-97.

La formulación del problema de optimización requiere que se definan las características del modelo susceptibles de cambio o variables de diseño. En primer lugar, se plantea la optimización de las secciones de las barras que forman la estructura restringiendo su selección a secciones discretas pertenecientes a un catálogo previamente determinado.



Por otro lado, también se plantea la optimización de la geometría de la torre. Atendiendo a la realidad constructiva de esta tipología de estructuras, estas están formadas por un número determinado de bloques que se ensamblan en vertical. Por tanto, se plantea la optimización de la forma de las torres utilizando como variables de diseño las dimensiones de dichos bloques.



Algoritmo de optimización

Debido a la distinta naturaleza de las variables de diseño seleccionadas, discretas para las secciones y continuas para la geometría, es necesario utilizar algoritmos de optimización que permitan su tratamiento conjunto. En este caso se ha utilizado el Simulated Annealing, un algoritmo de tipo estocástico basado en la modificación aleatoria de las variables de diseño. La velocidad del algoritmo se ha mejorado con la implementación de un análisis de sensibilidad de primer orden.

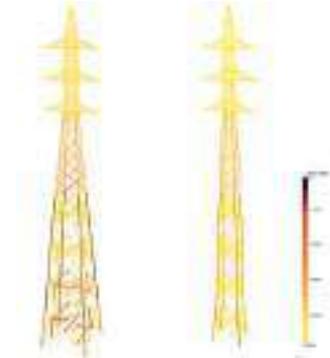
Autores

S. Martínez (UDC)
I. Couceiro (UDC)
F. Navarrina (UDC)

J. París (UDC)
M. Castelleiro (UDC)
I. Colominas (UDC)

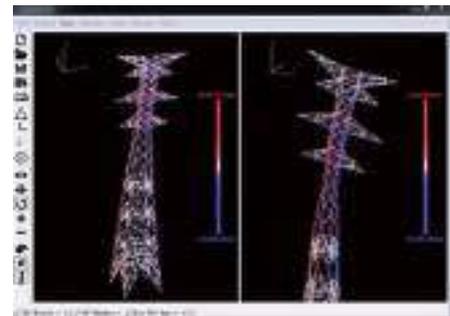
Resultados

El modelo ha sido utilizado en la optimización de diseños reales de torres de alta tensión, obteniendo ahorros de material en torno al 25% en la mayoría de los casos, e incluso del 40% en algunos.



Software CAD

El modelo matemático-numérico de optimización se ha implementado en una interfaz gráfica, creando un software completo capaz de diseñar, analizar y optimizar diseños de torres de alta tensión, y procesar y visualizar todos los resultados del proceso.

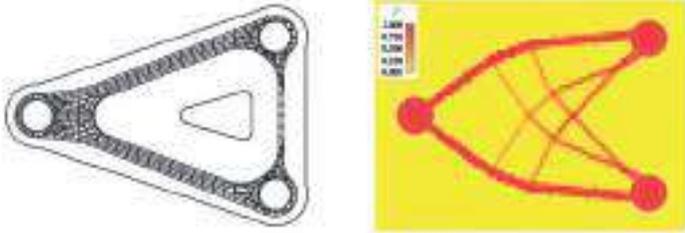


Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por las siguientes entidades: Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España con el Proyecto DPI2012-33622. Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria da Xunta de Galicia (Ref. GRC2014/039). Fundación de la Ingeniería Civil de Galicia. Enmacosa Consultoría Técnica.

Introducción

La optimización topológica de estructuras pretende obtener la distribución óptima de material en un dominio predefinido que minimice el coste (peso) y cumpla las restricciones que se impongan.



Este planteamiento analiza si en un elemento de un modelo de Elementos Finitos debe existir o no material. El problema así planteado es discreto, pero en la práctica se plantea de forma continua introduciendo el concepto de densidad relativa r ($r=0$ indica elemento vacío y $r=1$ indica material sólido).

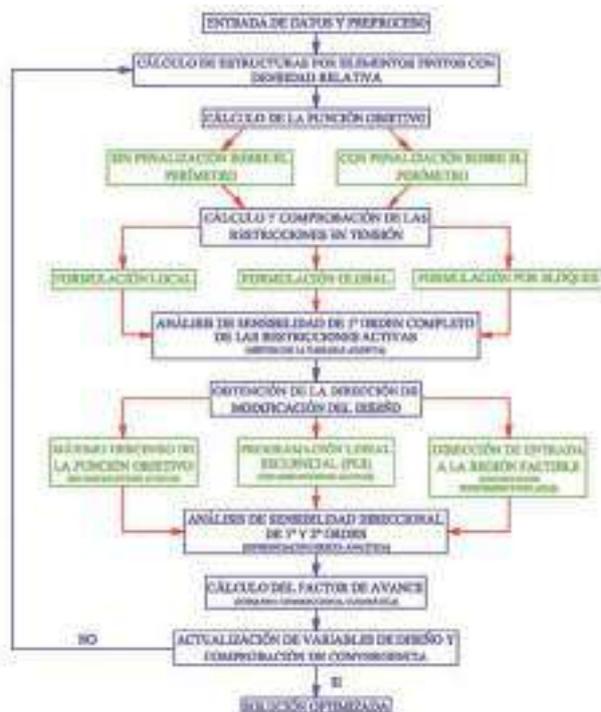
Formulación

En este trabajo se propuso una formulación del problema (alternativa a los planteamientos más habituales de máxima rigidez) que minimiza el peso de la estructura e impone restricciones en tensión. El problema de optimización resultante puede plantearse como:

Hallar $\rho = \{\rho_i\}, \quad i = 1, \dots, N_e$
que minimice $f(\rho) \Rightarrow$ Función objetivo
verificando $g_j(\rho) \leq 0, \quad j = 1, \dots, m \Rightarrow$ Restricciones en tensión
 $\rho_{min} < \rho_i \leq 1$

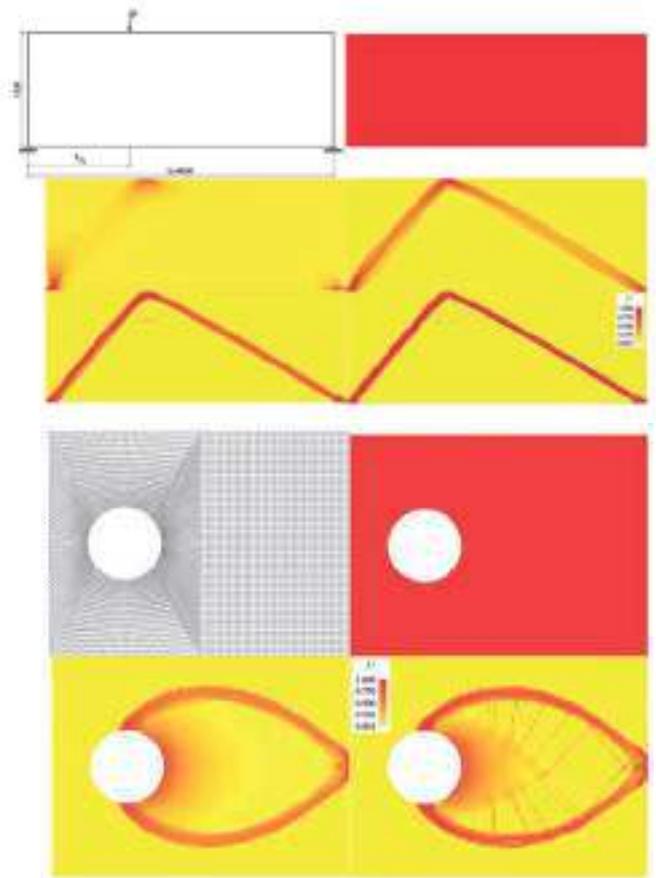
Metodología

En este problema se resuelven las ecuaciones de Euler con Mach=3.



Resultados

Los ejemplos de aplicación que se presentan corresponden a estructuras bidimensionales en tensión plana.



Autores

J. París (UDC)
M. Castelleiro (UDC)

I. Colominas (UDC)
F. Navarria (UDC)

Introducción

Los sistemas de tomas de tierra son los elementos de una instalación eléctrica que tienen la finalidad de unir eléctricamente la instalación con el terreno. Sus objetivos principales son garantizar la seguridad de las personas, la protección de los equipos y la continuidad del suministro eléctrico, ante posibles situaciones de fallo de las subestaciones eléctricas.



Modelo numérico

Para el desarrollo de este trabajo, los autores han modelado el fenómeno físico de la disipación en el terreno de las corrientes de fallo por medio de la teoría del electromagnetismo de Maxwell, dando lugar al siguiente problema:

$$\begin{aligned} \operatorname{div}(\sigma) &= 0, & \sigma &= -\gamma \operatorname{grad}(V) \text{ in } E; \\ \sigma' n_E &= 0 \text{ in } \Gamma_E; & V &= V_f \text{ in } \Gamma; & V &\rightarrow 0, \text{ if } |x| \rightarrow \infty \end{aligned}$$

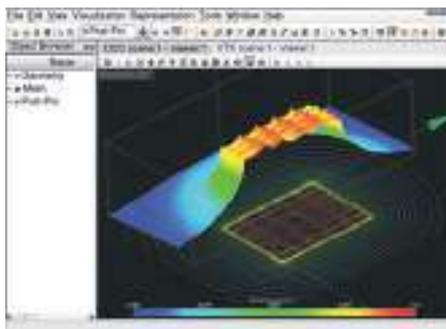
Para su resolución se han empleado técnicas numéricas basadas en el método de los elementos de contorno (BEM).

$$V_1(x_1) = \frac{1}{4\pi\gamma_0} \int \int_{\xi \in \Gamma} k_{01}(x_1, \xi) \sigma(\xi) d\Gamma, \quad \forall x_1 \in \Gamma_E$$

Estas formulaciones, en principio desarrolladas para el análisis de la disipación de corriente en suelos uniformes, han sido extendidas a modelos de terreno heterogéneo, estudios de potenciales transferidos y a los sistemas de tierra de las subestaciones enterradas.

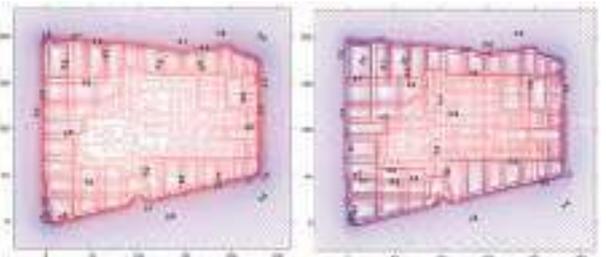
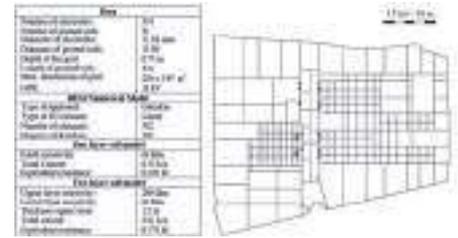
TOTBEM

TOTBEM es un sistema de diseño asistido por ordenador para el análisis de tomas de tierra, implementado en la aplicación *freeware* SALOME. TOTBEM incluye las etapas de preproceso, cálculo y postproceso necesarias para completar el análisis de estos sistemas de seguridad. El núcleo de TOTBEM está formado por la formulación numérica basada en el método BEM para suelos uniformes y estratificados.



Resultados

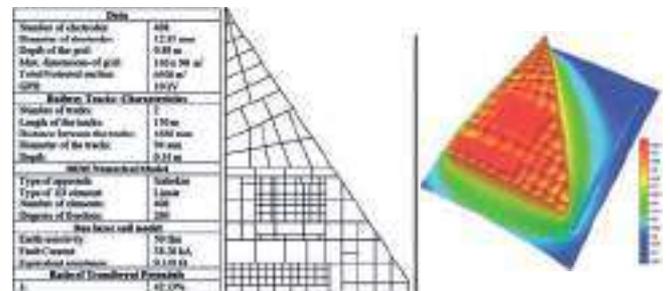
- Análisis de los sistemas de protección en modelos de terreno de una y dos capas.



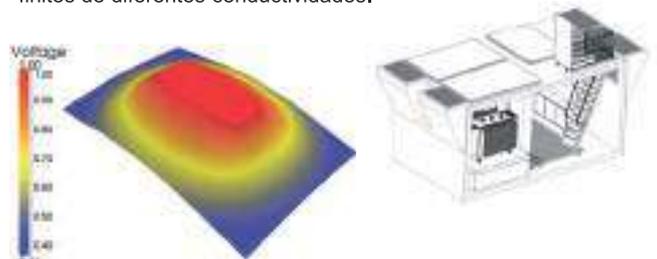
Modelo de una capa

Modelo de dos capas

- Estudio de potenciales transferidos: la transferencia de potenciales es un fenómeno por el cual una fracción del potencial derivado a las tomas de tierra en una situación de fallo, aparece en otro sitio donde no debería existir. Esta transferencia se realiza por medio de conductores enterrados o semienterrados, como railes, tuberías, vallas metálicas, etc.



- Una aplicación interesante es el análisis de tomas de tierra de las subestaciones enterradas ubicadas en ámbitos urbanos, donde el modelo numérico desarrollado se aplica a la simulación de la disipación de corriente eléctrica en suelos con volúmenes finitos de diferentes conductividades.



Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por las siguientes entidades: Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) del Gobierno de España con el Proyecto DPI2010-16496. Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria da Xunta de Galicia (Ref. GRC2014/039).

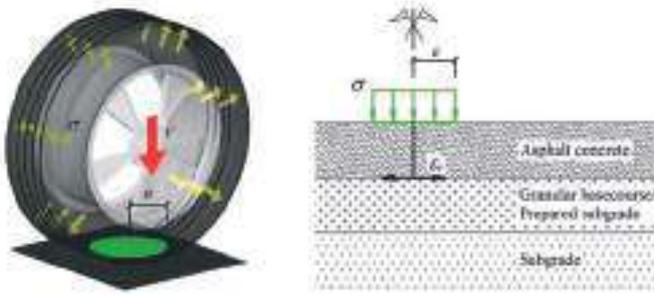
Autores

I. Colominas (UDC)
F. Navarria (UDC)
M. Casteleiro (UDC)

J. París (UDC)
X. Nogueira (UDC)
R. Guizán (UDC)

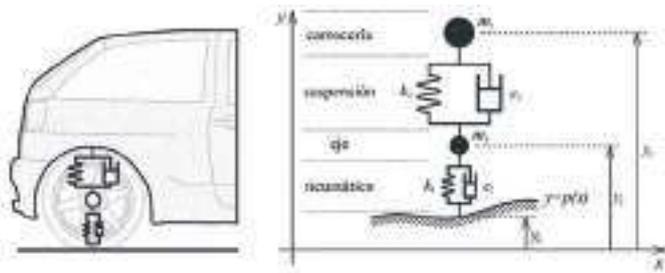
Introducción

En este trabajo se presenta un modelo integrado para el análisis a fatiga de firmes flexibles que considera el efecto de la carga dinámica de rodadura. El objetivo principal de este trabajo es cuantificar la reducción que experimenta la vida útil del firme debido al aumento de las cargas dinámicas ejercidas por los vehículos, a medida que se deteriora progresivamente el perfil longitudinal de rugosidad de la carretera.



Modelo numérico

Para cuantificar el valor acumulado de los desplazamientos verticales que experimentará la carrocería de un cierto vehículo ligero debido a la rugosidad de la superficie de la carretera por unidad de longitud recorrida, es preciso simular el comportamiento dinámico de un vehículo virtual de características predeterminadas (Gillespie, Sayers y Siegel, 1980) que se considere representativo del parque móvil de vehículos ligeros, lo que se conoce como modelo de un cuarto de coche.



Aplicando la Segunda Ley de Newton a las masas del modelo de cuarto de coche, se obtiene el sistema de ecuaciones ordinarias que simula este comportamiento.

$$M \ddot{u}(t) + C \dot{u}(t) + K u(t) = \bar{b} \ddot{y}_0(t)$$

La carga dinámica vertical ejercida por la rueda sobre el pavimento a lo largo del recorrido se puede calcular como:

$$V_d(t) = V (1 + \eta(t))$$

$$\text{con } V = (m_1 + m_2)g, \quad \eta(t) = \frac{-1}{(m_1 + m_2)g} (c_1 \ddot{u}_1(t) + k_1 u_1(t))$$

El número de ciclos de carga hasta el fallo por fatiga correspondiente a la carga dinámica será:

$$N_d(T) = (K / \varepsilon_{rd}(T))^{1/\alpha} \approx N \Phi(T)^{-(1/\alpha)}$$

Finalmente, la expresión del indicador de daño acumulado por fatiga considerando efectos dinámicos se puede escribir como:

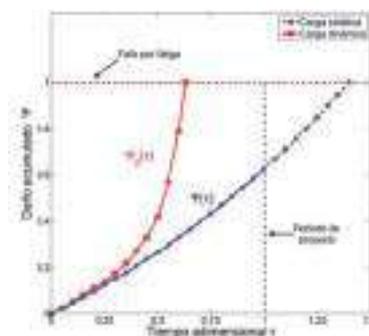
$$D_d(\tau) = \frac{E_d(T) |_{T=T_d}}{N} \approx \frac{\ln(1+x)}{(1+x)^{1/\alpha} - 1} \int_{T=0}^{T=T_d} (1+x)^T \Phi(T)^{1/\alpha} dT, \quad \text{siendo } \tau = T/T_d$$

Objetivos

- Simular la respuesta dinámica de un vehículo debido a la rugosidad de la superficie de la carretera gracias a un modelo evolutivo.
- Definir un nuevo indicador para el daño por fatiga considerando los efectos dinámicos.
- Realizar una predicción de la vida útil de la sección a partir del nuevo indicador.
- Comparación de la vida útil obtenida con la estimada por la Norma 6.1-IC.

Conclusiones

El modelo ha sido implementado, calibrado y aplicado para cuantificar el acortamiento de la vida útil de diversas secciones de firme debido al efecto de las cargas dinámicas de rodadura. Al aplicar el modelo a las secciones de la Norma 6.1-IC, se observa que dichas secciones no están sobredimensionadas, como predice la Norma, sino muy infradimensionadas, alcanzándose, por ejemplo, una vida útil estimada para una sección T3121 de 12 años, 8 por debajo del período de proyecto y 16 menos que la estimación de la Norma.



La formulación propuesta es específica para la norma española 6.1-IC, pero los conceptos subyacentes no son restrictivos y pueden aplicarse a cualquier ley de fatiga por deformación. Por tanto, el modelo puede adaptarse fácilmente a otras regulaciones.

Bibliografía

T. D. Gillespie, M. W. Sayers, and L. Segel. *Calibration of Response-Type Road Roughness Measuring Systems*, National Cooperative Highway Research Program Report No. 228. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 1980.

Autores

F. Navarín (UDC)
L. Ramírez (UDC)
J. París (UDC)
M. Ruíz (UDC)

X. Nogueira (UDC)
I. Colominas (UDC)
M. Castelleiro (UDC)
J.R. Fernández de Mesa (OVISA)

Introducción

En este proyecto se está desarrollando una tecnología para el diseño de pozos de extracción de gas no convencional. A diferencia de los pozos convencionales, en los pozos no convencionales el metano está contenido en estratos de roca poco porosa y con menor permeabilidad. Por tanto, su explotación es más agresiva y compleja.

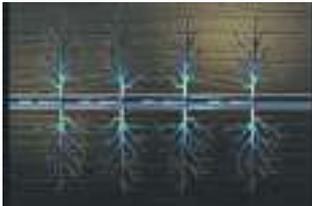


La técnica de extracción del metano almacenado en formaciones no convencionales es la denominada fracturación hidráulica o *fracking*, la cual ha alcanzado el nivel de desarrollo actual gracias al avance de dos tecnologías:

- Perforación horizontal



- Fractura hidráulica eficiente



Objetivos

Los objetivos principales del proyecto son:

- Desarrollar un modelo numérico que permita cuantificar el flujo de gas producido por el pozo.
- Analizar en profundidad los costes asociados al proceso.
- Definir una función objetivo basada en el Valor Actual Neto (VAN).
- Optimizar los diferentes parámetros asociados al diseño de un pozo de gas no convencional, tales como profundidad, número y ubicación de hidrofracturas, presión en la fractura, posición de la planta...
- Cuantificar el riesgo asociado al diseño obtenido.

Modelo económico

La función objetivo se puede expresar como:

$$VAN(t) = Q(t) \cdot P(t) - C(t)$$

donde:

- $Q(t)$ es la producción de gas. Se obtiene de manera determinística con el modelo numérico.
- $P(t)$ es el precio del gas a lo largo del tiempo. Es necesario definir modelos estocásticos.
- $C(t)$ son los costes asociados a la explotación. Inicialmente son deterministas, pero a largo plazo tiene un cierto carácter estocástico.

Autores

A. Soage (UDC)
I. Colominas (UDC)
L. Cuelto-Felgueroso (UPM)

Modelo numérico

El modelo numérico desarrollado está basado en la ecuación de conservación de masa en un medio poroso, teniendo en cuenta el gas libre en los poros y el adsorbido en la superficie del querógeno. Se ha desarrollado un modelo unidimensional reducido donde la permeabilidad se considera homogénea, sin incluir efectos de tipo Knudsen e inerciales.

$$2(c_s \phi + \rho_0 \mu \kappa \gamma) \frac{\partial p}{\partial t} = r_z \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k_0}{\mu} \frac{\partial p^2}{\partial x} \right)$$

$$p_{x=0} = P_w$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} \Big|_{x=L} = 0$$

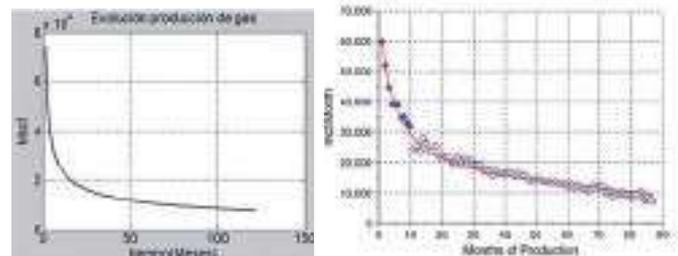
$$p_{x=L} = P_w$$

El modelo se discretiza empleando el método de volúmenes finitos. Una vez resuelto el problema de difusión no lineal del campo de presiones, la producción de gas se puede obtener aplicando la ley de Darcy.

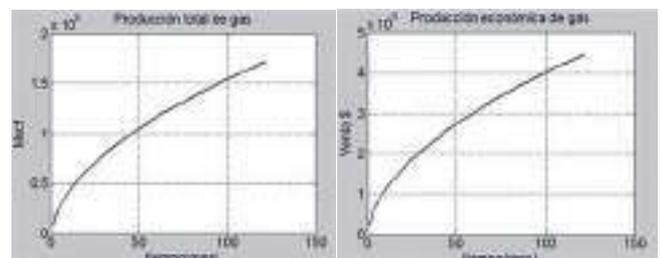
$$Q(t) = -A \frac{c_s k_D}{\rho_0 \mu} \frac{\partial p^2}{\partial x} \Big|_{x=0}$$

Resultados numéricos

Se emplea la tecnología de análisis desarrollada en un pozo con 25 hidrofracturas, con una distancia entre ellas de 20 metros. Se simula su comportamiento durante un periodo de 10 años, obteniéndose la siguiente evolución de producción expresada en Mscf (millones de pies cúbicos estándar). Se compara con resultados reales de producción, obteniéndose resultados muy similares.



Siendo la producción total expresada en Mscf y en dólares:



El modelo propuesto es capaz de modelizar satisfactoriamente la producción de gas de un pozo no convencional. En la actualidad se está llevando a cabo el proceso de optimización. Además, se están añadiendo modelos más complejos como los que simulan efectos de tipo Knudsen y refracturaciones del medio.



PROYECTOS

Laboratorio de Puertos y Costas

Introducción

Las obras de ampliación de las instalaciones del Puerto Exterior de Punta Langosteira (A Coruña) engloban la construcción de un contradique, localizado enfrente del dique principal, y que permite dotar de mejores condiciones para la operatividad en la dársena portuaria. Tras la finalización de una primera fase de estudio y construcción del contradique, la Autoridad Portuaria realizó el proyecto base de una segunda y última fase.

Con el objetivo de analizar la estabilidad general de la geometría propuesta para el proyecto base del proceso de licitación, la Autoridad Portuaria de A Coruña solicitó realizar una serie de ensayos en modelo físico de dicha estructura.

Metodología

Para reproducir adecuadamente las características geométricas del dique y las condiciones hidrodinámicas presentes en la zona, fue necesario realizar los trabajos en dos fases. En la primera ellas se reprodujo el morro del contradique, con 275 metros de tronco adyacente. En la segunda fase se analizó el quiebro con 400 metros de longitud del tronco.

El manto de protección de ambos modelos presentaba una configuración bicapa de bloques cúbicos de 50t en la zona del morro y del quiebro, y 25t en el tronco de la estructura.

Estos modelos fueron estudiados con dos niveles de marea, dos periodos pico y distintos escalones de altura de ola. El daño fue analizado por conteo de piezas desplazadas o caídas en los diferentes sectores.

En el trasdós del espaldón se construyó una estructura para cuantificar el caudal de rebase producido durante los ensayos, mediante el registro del aumento de volumen de agua. Para analizar las fuerzas horizontales y subpresiones actuantes sobre el espaldón se utilizaron sensores de presión.

Resultados y Conclusiones

La variante final seleccionada mostró una buena estabilidad para las alturas teóricas de rotura, resistiendo incluso olas superiores a esta. Se identificaron zonas sensibles para la futura construcción de la obra, aportando recomendaciones de diseño.

Los caudales de rebase registrados durante los ensayos fueron cuantificados para un mejor conocimiento del comportamiento del contradique en temporales, y diseñar las medidas de control pertinentes.



Autores

E. Peña González (UDC)	A. Castro Pose (UDC)
E. Maciñeira Alonso (UDC)	A. Figueroa Pérez (UDC)
J. Sando González-Cela (UDC)	D. Iglesias Oreiro (UDC)
J. Ferreras Robles (UDC)	D. Freire Presedo (UDC)

Introducción

En este proyecto se realizan los ensayos en modelo físico para la validación de la variante propuesta por las empresas SATO-OHL y DRAGADOS al diseño base del dique oeste del Puerto Exterior de Punta Langosteira (A Coruña), para su presentación en la correspondiente licitación. El principal elemento diferencial de esta variante consiste en la utilización de cubípodos como pieza de protección en el manto principal de la estructura.

El objetivo de estos ensayos es analizar la estabilidad general de las distintas zonas del dique (quebro, tronco y morro), así como la caracterización de las presiones producidas en el espaldón y los eventos de rebase.

Metodología

Para estudiar adecuadamente las distintas zonas del dique, la estructura se ha analizado en diferentes fases, mediante la construcción de dos modelos a escala 1:51. El primer modelo reproduce la zona del morro junto con una longitud de tronco adyacente de 250 m, mientras que el segundo modelo corresponde a la zona del cambio de alineación o quebro del dique, con una longitud total de 430 m repartidos entre ambas alineaciones.

El modelo del morro está protegido por un manto bicapa de cubípodos de 23t y 35t, a excepción de una parte del tronco que presenta una configuración de cubípodos monocapa de 23t. Adicionalmente, se analiza una variante monocapa del morro protegida con piezas de 35t. La protección del modelo del quebro está formada por un manto monocapa de cubípodos de 23t.

Las características hidrodinámicas reproducidas en los ensayos son las correspondientes al oleaje extremal calculado para el Puerto de Punta Langosteira. Ambos modelos se llevaron a situación próxima a rotura en dos situaciones de nivel de marea. Las fuerzas horizontales y subpresiones actuantes sobre el espaldón de coronación fueron caracterizadas mediante la instalación de sensores de presión. Por último, el caudal de rebase se cuantificó mediante la instalación de canaletas de recogida en el trasdós interior de cada modelo.



Resultados y Conclusiones

Ambos modelos del dique oeste han mostrado una gran estabilidad para las alturas de ola teóricas de rotura, y un buen comportamiento en las diferentes partes de la estructura: morro, mantos, bermas, talud interior y transiciones.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por SATO (Grupo OHL) y Dragados, y ha contado con la participación de personal de la Universidad Politécnica de Valencia.

Autores

E. Peña González (UDC) A. Castro Pose (UDC)
E. Maciñeira Alonso (UDC) A. Figuro Pérez (UDC)
J. Sande González-Cela (UDC) D. Freire Presedo (UDC)

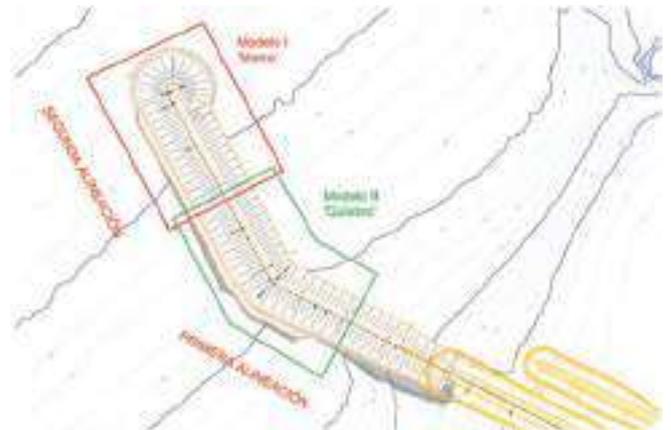


Introducción

Para mejorar las condiciones de abrigo del interior del Puerto Exterior de Punta Langosteira, la Autoridad Portuaria de A Coruña ha propuesto la ampliación del contradique existente.

Con el fin de presentar una alternativa viable al proceso de licitación, la empresa FCC propuso el presente estudio, cuya finalidad era la optimización del diseño base de la Autoridad Portuaria.

La solución propuesta tenía como principal singularidad la utilización de una pieza de protección denominada Blacastar.



Metodología

Debido a las dimensiones del contradique proyectado y las necesidades de calado, se decidió analizar la estructura en fases, mediante la construcción de dos modelos a escala 1:51. El primer modelo representaba el morro del dique y una longitud de tronco adyacente de 275 m, con un manto de protección bicapa de Blacastar de 42t. Con el segundo modelo se reprodujo la zona del quiebro del dique con una longitud equivalente de 400 m. Este modelo estaba protegido por un manto monocapa de Blacastar de 42t en la zona del quiebro y segunda alineación, y por Blacastar de 24t en la primera alineación.

En ambos casos se analizaron dos niveles de marea, dos periodos pico y distintos escalones de altura de ola. El rebase se cuantificó mediante un dispositivo que permitía relacionar el incremento de altura de la lámina libre con la cantidad de agua que sobrepasaba el espaldón en un tramo acotado del mismo.

Para cuantificar las fuerzas horizontales y subpresiones actuantes sobre el espaldón se utilizaron sensores de presión.



Resultados y Conclusiones

Ambos modelos han mostrado una gran estabilidad en todas las situaciones analizadas, resistiendo adecuadamente la altura de diseño. Los caudales de rebase registrados se mantuvieron dentro de los límites tolerables para este tipo de estructuras.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la empresa FCC (Fomento de Construcciones y Contratas), y ha contado con la participación de la consultora Berenguer Ingenieros.



Autores

E. Peña González (UDC)	A. Castro Pose (UDC)
E. Maciñeira Alonso (UDC)	A. Figuero Pérez (UDC)
J. Sande González-Cela (UDC)	D. Freire Presedo (UDC)

Introducción

El dique de Bermeo ha tenido a lo largo de su historia sucesivas modificaciones en su diseño y estabilidad, tanto en el manto de protección como en el espaldón, ocasionando la realización de diferentes actuaciones de mantenimiento sobre el mismo.

La empresa TYPESA, tras el concurso licitado por el Gobierno Vasco, ha valorado el estado actual del dique y definido una serie de obras de adecuación que permiten que este aumente su vida útil.

Con el objetivo de optimizar el diseño propuesto por la empresa, se encargó el análisis del clima marítimo en el entorno del dique, así como el estudio del refuerzo necesario tanto en los mantos de protección como del espaldón.

Metodología

Se usaron dos metodologías diferentes para la realización de este trabajo. El clima marítimo se analizó con el modelo numérico SWAN, y la estabilidad se comprobó a través de ensayos en modelo físico 3D en la dársena de oleaje del CITEEC.

El estudio del refuerzo se realizó en dos fases: inicialmente se estudio la situación actual del dique, reproduciendo en el laboratorio el manto de protección; posteriormente, se estudió el refuerzo propuesto por la empresa TYPESA en base a los resultados de la situación actual.

Los fenómenos estudiados fueron la estabilidad del manto del dique principal, la estabilidad del talud interior, el rebase y las presiones sobre el espaldón.

Resultados y Conclusiones

Los ensayos de la situación actual mostraron que la estabilidad del morro estaba comprometida para las alturas de ola de diseño, y que el manto de bloques necesitaba reparar la berma de coronación, y mejorar el apoyo en la zona final del tronco.

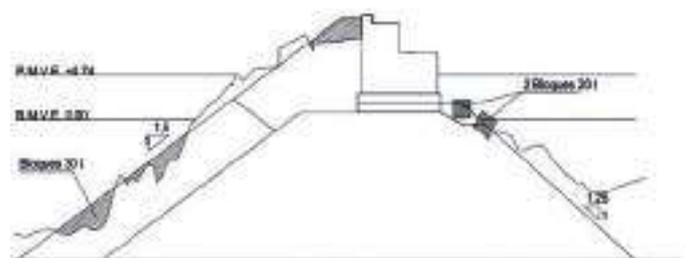
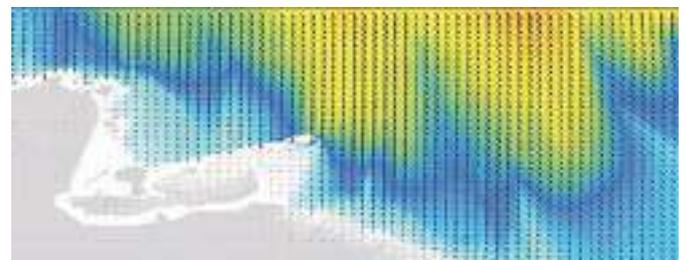
El hecho más importante era el rebase, que generaba daños en el talud interior, y las presiones sobre el espaldón mostraron zonas de inestabilidad.

El refuerzo se planteó con bloques cúbicos de diferentes pesos y alta densidad. Además, se diseño una berma de pie con bloques en los últimos 100 m del tronco del dique.

La estabilidad del espaldón se incrementó, aumentando el peso y la cota de coronación en una de las zonas. Por último, y a consecuencia de los rebases, se planteó en los ensayos el diseño de un refuerzo del talud interior.

Agradecimientos

Personal técnico de la empresa TYPESA y de la Consejería de Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno Vasco.



Autores

E. Peña González (UDC)
E. Maciñeira Alonso (UDC)
J. Sande González-Cela (UDC)

A. Castro Pose (UDC)
A. Figuro Pérez (UDC)
F. Costa González (UDC)

Introducción

La marina de Port D'Aro (Girona) ha tenido problemas de estabilidad del manto en los últimos años, que se pretenden solucionar con un nuevo proyecto y estructura de protección. Para ello, Ingeniería Reventós ha diseñado una solución para ampliar la bocana y aumentar la estabilidad del dique principal.

Con el objetivo doble de analizar la estabilidad global y la agitación en el nuevo puerto planteado, la empresa solicita la realización de una serie de ensayos hidrodinámicos en modelo físico 3D en las instalaciones del CITEEC.

Metodología

Se realizaron dos ensayos diferentes para el análisis de cada uno de los objetivos planteados. El primero de ellos se llevó a cabo para determinar la estabilidad global del dique, en donde se analizaron tres mantos de protección (escolleras, cubos monocapa y Xbloc), además de medir el rebase, las presiones en el espaldón y la estabilidad de la explanada.

Por otro lado, se realizó otro ensayo para analizar la agitación en el interior de la marina. Este hecho implicó la construcción de las condiciones de contorno del emplazamiento: acantilados, líneas de atraque, tipologías de muelles, etc.

Los fenómenos estudiados fueron la estabilidad del dique principal, del contradique, del talud interior, el rebase, las presiones sobre el espaldón y la lamina de agua en el interior de la marina.

Resultados y Conclusiones

Se comprobó la estabilidad del manto principal con mantos de protección de cubos monocapa o Xbloc, siendo este último más estable con las condiciones ensayadas.

Se detectó que los puntos más débiles son las transiciones entre la escollera y las piezas, y se definieron los puntos óptimos para realizarlas. La baja cota de coronación del dique ocasionaba importantes rebases que no llegaron a producir daños en la explanada.

Los resultados de agitación mostraron que, para los oleajes de dirección E-SE, el porcentaje de disipación de energía en el interior de la marina se sitúa en torno al 93%, mientras que para la dirección S era del 89%.

Además, se comprobó que la agitación depende enormemente de las condiciones de la bocana, de la pieza del manto exterior de protección y de otros elementos representativos de la solución propuesta.

Agradecimientos

Personal técnico de la empresa Ingeniería Reventós.



Autores

E. Peña González (UDC)
E. Maciñeira Alonso (UDC)
J. Sande González-Cela (UDC)

A. Castro Pose (UDC)
A. Figuero Pérez (UDC)
D. Freire Presedo (UDC)

Introducción

Las estrategias de mantenimiento y prolongación de la vida útil de las estructuras portuarias son elementos necesarios, dado el decisivo papel económico y social de los puertos. El trabajo realizado por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA) de la Universidade da Coruña, y el Grupo de Investigación en Geotecnologías Aplicadas (GEOTECH) de la Universidade de Vigo, desarrolla una nueva metodología que permite definir estrategias de monitorización y mantenimiento de los diques en talud.

Este nuevo método es capaz de analizar el dique en su conjunto, permitiendo definir diferentes tipos de fenómenos, como son: asentamientos, evolución de la porosidad del manto y número de piezas caídas.

Metodología

El estudio de viabilidad de la tecnología en estructuras portuarias se ha realizado en primer lugar aplicando su funcionamiento en modelo físico, en las instalaciones del CITEEC.

El sistema de escaneo fue configurado para restituir la superficie del morro con gran calidad en 3D, en un periodo corto de tiempo. Esto genera la posibilidad de analizar el daño en cada altura de ola ensayada, con la finalidad de analizar la evolución del daño en el morro.

La forma de analizar el daño ha sido a través de un algoritmo capaz de analizar los desplazamientos en los ejes X, Y, Z. De esta manera se pueden obtener en una imagen en 2D los desplazamientos producidos a través de una escala de colores. Además, con esta metodología se ha podido analizar la evolución de la porosidad en el manto de protección del morro.

Resultados y Conclusiones

Los resultados muestran que esta técnica se ha aplicado satisfactoriamente en ensayos de modelo físico en estructuras portuarias, permitiendo definir la evolución del daño, la reserva de estabilidad existente y los puntos críticos de actuación de una forma rápida y directa.

Se propone la utilización del *centroide de daño*, o punto que engloba la información de movimientos de piezas e intensidad del mismo. Con su aplicación se pueden tomar decisiones en el mantenimiento y en la prolongación de la vida útil de la estructura con mayor precisión, especialmente en el coste y en la estrategia de intervención a realizar.

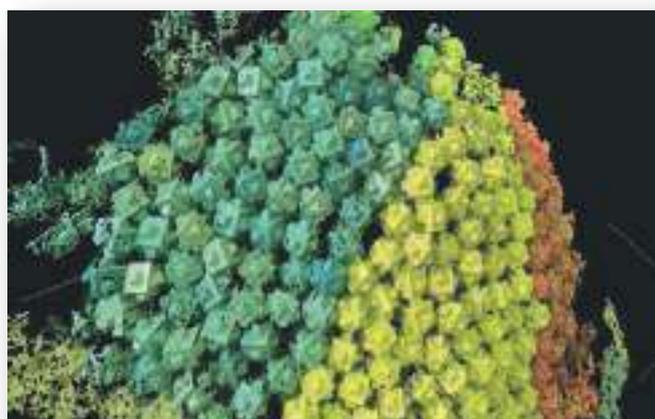
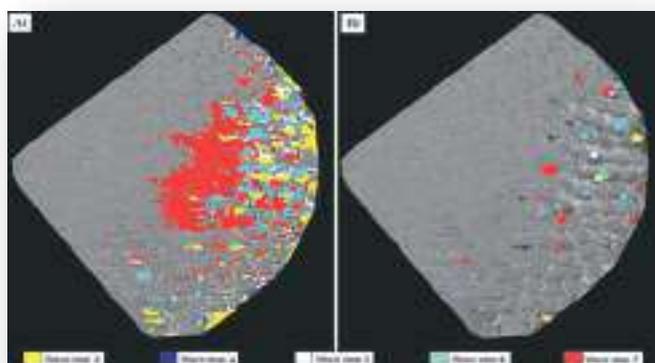
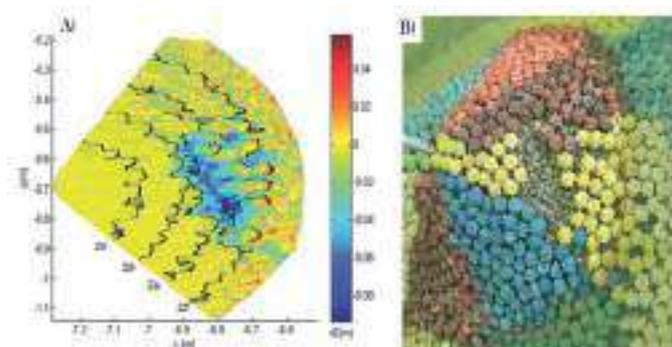
Actualmente se está trabajando en el estudio de aplicabilidad de la tecnología en campo, así como en el análisis conjunto de remonte y rebase aplicando un modelo numérico basado en la técnica SPH (Smoothed-Particle Hydrodynamics), modelo DualSPHysics.

Agradecimientos

Grupo de Geotecnologías Aplicadas y Grupo de Física del Medio Ambiente (Universidade de Vigo).
Plan Galego de Investigación, Innovación e Crecemento 2011-2015. Convocatoria de proyectos emergentes del SUG.

Autores

E. Peña González (UDC)	I. Puente (UVigo)
J. Ferreras Robles (UDC)	P. Arias (UVigo)
J. Sande González-Cela (UDC)	A. Cabrera-Crespo (UVigo)
H. González-Jorge (UVigo)	M. Gesteira (UVigo)



Introducción

Este proyecto de investigación ha tenido como objetivo principal la determinación de la estabilidad hidráulica de morros protegidos con mantos monocapa de cubípodos en diques en talud.

El objetivo final es conocer el comportamiento con distintos tipos de oleaje en función del número de Iribarren. Para ello se ha analizado la estabilidad con diferentes tipos de morros tanto de los cubípodos como del resto de materiales que componen el modelo, con varias combinaciones de altura de ola de rotura y período. El estudio de movimientos relativos de los cubípodos y de variaciones de porosidad, a través de los distintos sectores y zonas activas, así como el análisis de la curva de daño en los morros, han sido los resultados más relevantes obtenidos.

Metodología

La metodología empleada fueron ensayos en modelos físico 3D en las instalaciones del CITEEC. El modelo físico a escala reducida es similar al utilizado en un proyecto anterior de cubípodos en las instalaciones del IH Cantabria con manto bicapa de cubípodos. Además se analizó detalladamente la influencia del tamaño del morro sobre la estabilidad.

El análisis de los daños se realizó a través de técnicas fotogramétricas para el conteo de piezas caídas, así como medición de la porosidad en cada escalón de altura de ola.

Resultados y Conclusiones

El comportamiento de los cubípodos ha sido muy constante en cuanto a la evolución de los daños. El proceso de rotura comienza por la pérdida de cubípodos en el sector inferior de la zona activa, provocando un aumento de la porosidad y, posteriormente, la rotura en el área superior de la zona activa.

El modelo ha actuado en general de manera rígida, soportando pocos escalones de ola entre la extracción del primer cubípodos del manto y la rotura del mismo, pero aportando una estabilidad relevante en su comportamiento general.

La resistencia al oleaje de rotura de los morros se ve afectada por el tamaño de los mismos. De esta manera, entre ensayos con el mismo número de Iribarren, los morros de mayor radio fueron los que soportaron una mayor altura de ola de rotura.

Este proyecto ha tenido como resultado complementario la realización de una tesis doctoral y publicaciones en revistas y congresos científicos.

Agradecimientos

Personal técnico de la empresa SATO-OHL.
Universidad Politécnica de Valencia.



Autores

E. Peña González (UDC) J. Sande González-Cela (UDC)
E. Maciñeira Alonso (UDC) L. Priegue Molinos (UDC)
F. Sánchez-Tembleque (UDC) J. Ferreras Robles (UDC)



OHL

SATO



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Introducción

Como parte de la ampliación de las instalaciones del Puerto Exterior de Langosteira, se requiere la construcción de un contradique que mejore las condiciones de agitación en el puerto y sirva de protección a la toma de agua de la central de Sabón de Gas Natural-Fenosa.

El diseño del dique se realiza en dos fases, una primera en la que se construye un contradique de 550 m de longitud, siendo los últimos 100m sumergidos, y un espigón de 300 m de longitud paralelo al contradique para proteger la toma de agua de la Central.

Con el objetivo de conocer la estabilidad de esta estructura, la Autoridad Portuaria de A Coruña solicitó la realización de unos ensayos en las instalaciones del CITEEC.



Metodología

El estudio consistió en la modelización de cinco alternativas para determinar la tipología óptima del diseño del contradique y espigón.

Para ello, se realizó el análisis de la estabilidad estructural de las diferentes configuraciones, frente a las condiciones de oleaje extremas a las que se verán sometidas durante su vida útil.

Cada una de las alternativas ha sido sometida a 6 ensayos con oleaje acumulativo, en los que se varía el nivel medio del mar, entre bajamar y pleamar, y la altura del oleaje incidente.

Las mediciones en cada ensayo se han efectuado mediante perfilado láser de los taludes del tronco y la cuantificación del movimiento de los bloques de hormigón.



Resultados y Conclusiones

Se detectó que, a causa de la incidencia del oleaje, los puntos más débiles son las transiciones entre los diferentes bloques, siendo más llamativo en la zona de escollera.

Además, las diferencias de longitud entre los dos diques implicaban reflexiones del espigón al dique y acumulaciones de agua en la zona intermedia, ocasionando oleajes más energéticos en la zona interior de la estructura más larga.

Finalmente el diseño óptimo se realizó con oleajes de 35t, 20T y 10T en mantos bicapa de cubos de hormigón. El resto del dique se ensayó obteniendo una solución estable con escollera de 5T.



Agradecimientos

Personal técnico de la Autoridad Portuaria de A Coruña.

Autores

E. Peña González (UDC) J. Sande González-Cela (UDC)
F. Sánchez-Tembleque (UDC) F. Costa González (UDC)
J. Ferreras Robles (UDC)

Introducción

Como parte del proceso de licitación de la primera fase de construcción del contradique del Puerto de Punta Langosteira, la empresa SATO-OHL realizó unos ensayos en las instalaciones del CITEEC con el objetivo de optimizar la solución del diseño y proponiendo la utilización del cubípedo como pieza de protección.

El proyecto tuvo como objetivo complementario avanzar en la obtención de resultados de morros con mantos monocapa de cubípodos, los cuales mostraron un comportamiento bueno frente a la estabilidad. Además, se analizó la transición entre el manto con esta pieza de protección y la escollera.

Metodología

Se modelizaron en modelo físico dos alternativas de diseño, ambas utilizando en el tronco un manto de protección monocapa, variando ambas alternativas en el diseño del manto del morro, en el que se analizaron soluciones bicapa y monocapa.

Las características hidrodinámicas reproducidas en la dársena fueron las seleccionadas por la Autoridad Portuaria de A Coruña en el proceso de licitación, las cuales consistían en el régimen extremal para un periodo de retorno de 140 años.

Se analizaron escalones de altura de ola crecientes y tres niveles de marea. Para analizar los daños estructurales del contradique y el espigón se utilizaron técnicas visuales, además de tecnología laser para analizar la erosión producida en los taludes.

Resultados y Conclusiones

La solución presentada por la empresa SATO-OHL obtuvo una estabilidad muy alta utilizando mantos monocapa de 11,5T y 25T.

Los ensayos permitieron optimizar el peso de la berma de pie, así como del dique sumergido. Además, las transiciones diseñadas a 45° mostraron mejor estabilidad que las transiciones rectas.

Los resultados obtenidos han sido presentados en varios congresos internacionales de prestigio, así como en otros foros científico-técnicos.

Agradecimientos

Personal técnico de la Universidad Politécnica de Valencia.
Empresa SATO-OHL.



Autores

J. Medina
E. Peña González (UDC)
M. Santos
A. Corredor
E. Maciñeira Alonso (UDC)

F. Sánchez-Tembleque (UDC)
E. Gómez
J. Ferreras Robles (UDC)
J. Sande González-Cela (UDC)
A. Ruiz



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Introducción

Ante la reciente entrada en servicio del Puerto Exterior de Punta Langosteira, en septiembre de 2012, la Autoridad Portuaria de A Coruña (APAC) plantea un análisis completo para la caracterización del comportamiento de un buque atracado en el Muelle Transversal de dichas instalaciones y la identificación de los agentes forzadores que actúan sobre él.

Este proyecto presenta los resultados de la campaña de campo realizada en el Puerto Exterior de A Coruña (Punta Langosteira) para la caracterización de los movimientos de un buque amarrado en su interior y los condicionantes externos.

Metodología

Para realizar la caracterización de los forzadores hidrodinámicos presentes en el interior del puerto, se instrumentó la dársena mediante la colocación de una boya de oleaje, 4 sensores de presión, 2 equipos AWAC y un radar MIROS (empresa Aquática Ingeniería Civil).

El registro de los movimientos experimentados por el buque amarrado se realizó mediante la utilización de tres tecnologías complementarias: un sistema de medición GPS (empresa Siport21), un sistema de posicionamiento inercial (IMU) y técnicas de seguimiento por imágenes.

Por último, se instalaron tres células de carga para la medida de las tensiones en las amarras. Estas se situaron en los largos de proa y popa, y el spring de proa.

Resultados y Conclusiones

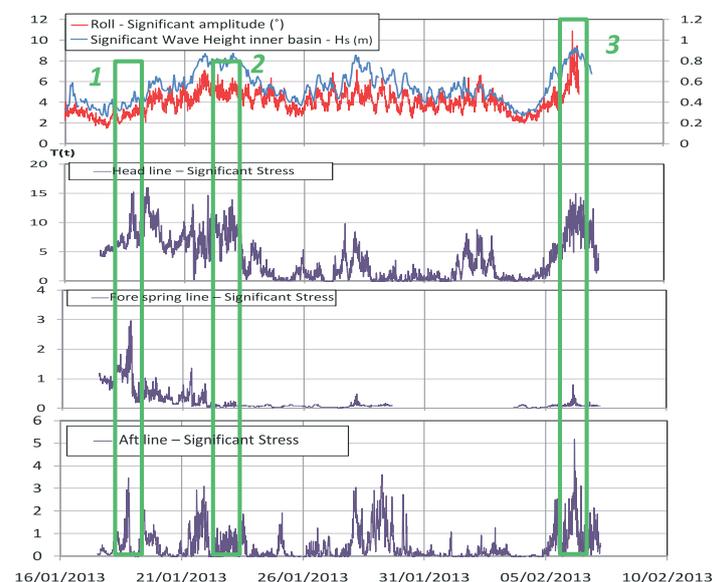
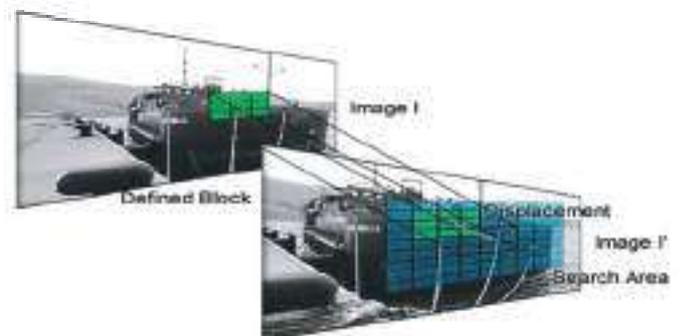
El estudio permitió establecer relaciones entre el comportamiento del buque, la altura de ola en el interior de la dársena y las tensiones experimentadas por los sistemas de amarre, identificando comportamientos inusuales del buque.

Se han utilizado y validado metodologías innovadoras en la medición de movimientos del buque.

Adicionalmente, toda la información obtenida ha servido para calibrar y validar de forma adecuada modelos numéricos de análisis del comportamiento del buque ante diferentes condiciones climatológicas.

Agradecimientos

Personal técnico del Urania Mella.
Autoridad Portuaria de A Coruña.
Aquática Ingeniería Civil.
Siport 21.



Autores

E. Peña González (UDC) J. Ferreras Robles (UDC)
F. Sánchez-Tembleque J. Sande González-Cela (UDC)
Díaz-Pache (UDC) L. Priegue Molinos (UDC)

Introducción

La eficiencia de un puerto puede verse determinada en gran medida por los movimientos que presente un buque atracado, bajo diferentes condiciones de oleaje y de trabajo (situación de la carga, tipo de buque, etc.).

Estos movimientos pueden llegar a ciertos umbrales críticos y provocar interrupciones en las tareas de carga o descarga, o en la propia maniobra de amarre.

El presente proyecto, desarrollado a petición de la Autoridad Portuaria de A Coruña, plantea un análisis completo para la caracterización del comportamiento dinámico de los buques atracados en las instalaciones de San Diego, en el Puerto Interior de A Coruña, cuyo principal objetivo es la identificación de los límites de operación reales de las instalaciones.

Metodología

La caracterización de los movimientos experimentados por los buques se realizó mediante el registro en continuo con dos tecnologías diferentes y complementarias: sistema inercial de medida IMU y sistema de seguimiento por imagen.

Esta información permitió obtener la curvas de estado de cada movimiento, las cuales fueron comparadas con las amplitudes máximas admisibles propuestas por normativas nacionales e internacionales (ROM 2.0 y PIANC 1995).

Adicionalmente se instrumentaron dos líneas de amarre (un largo de proa y un largo de popa) mediante la colocación de células de carga, con el objetivo de identificar posibles modificaciones en la configuración del sistema de amarre que provoquen variaciones en el comportamiento dinámico del buque.

Resultados y Conclusiones

Durante el estudio se monitorizaron un total de 17 buques, de los cuales 11 registraron movimientos de balance y cabeceo superiores a los umbrales establecidos por las diferentes normativas, sin que se produjeran interrupciones en su operación.

En cuanto a las tensiones registradas en las amarras, no presentaron grandes variaciones durante la monitorización, manteniéndose dentro de unos rangos constantes.

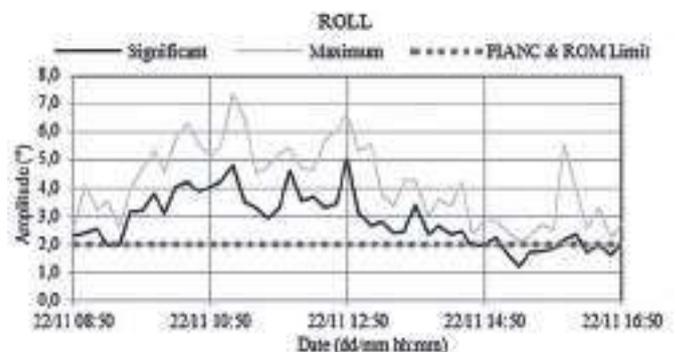
Agradecimientos

Personal técnico de la Autoridad Portuaria de A Coruña.
Personal técnico de Repsol.

Autores

E. Peña González (UDC)
A. Figuero Pérez (UDC)
J. Sande González-Cela (UDC)

A. Alvarellos González
A. García Pérez (UDC)



Introducción

Durante el año 2015, el Puerto Exterior de Punta Langosteira ha experimentado cambios sustanciales en su geometría.

La construcción del nuevo contradique constituye la principal modificación. Ante esta perspectiva, la Autoridad Portuaria de A Coruña, a través del desarrollo del proyecto Smart Port A Coruña, persigue la creación de un conjunto de herramientas que hagan más competitivas y seguras las instalaciones.

Como parte de su participación en el citado proyecto, el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA) dentro del consorcio liderado por las empresa Avante, Emetel y Altia, desarrolló dos sistemas de ayuda a la gestión portuaria: sistema de alerta para la estancia del buque en puerto segura y eficiente, y el sistema de alerta de acceso al dique principal por eventos de rebase.

Metodología

Para el desarrollo del primer sistema, además de disponer de información climatológica completa, fue necesario monitorizar los movimientos de buques atracados en el Puerto Exterior mediante la utilización de tres sistemas: sistema de medida inercial (IMU), seguimiento por imagen y distanciómetros láser.

Como herramienta fundamental para el desarrollo del sistema de alerta de acceso al dique principal, se generó una base de datos de eventos de rebase a través del registro con cámaras de dichos eventos. Esto permitió relacionar en el tiempo los rebases producidos con los forzadores climatológicos que los generaron (altura de ola, periodo pico y dirección del oleaje, viento).

Resultados y Conclusiones

La información recogida durante la campaña de monitorización de buques sirvió para desarrollar funciones de transferencia que permiten predecir la respuesta del buque durante su estancia en puerto en función del clima marítimo. En base a ellas se generó el sistema de alerta del buque en muelle.

Este sistema define cuales son las condiciones climáticas que impiden el acceso a la zona de servicio del dique. Para su definición se utilizó la envolvente de mínimos de la base de datos de eventos de rebase generada, entendiendo como tal aquellos estados de mar con características menos exigentes (Hs, Tp), en los que como mínimo se produce un rebase considerado de riesgo.

Agradecimientos

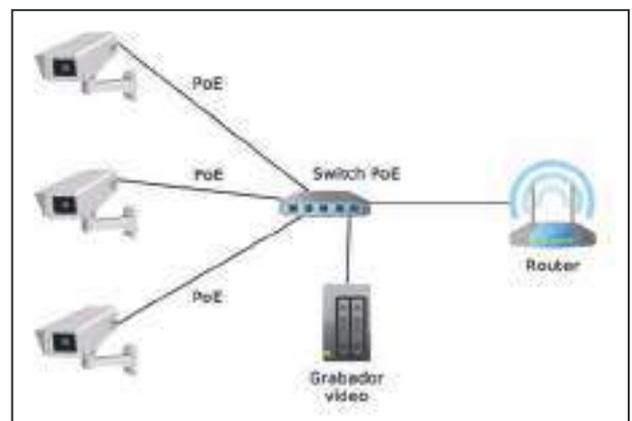
Personal de la empresa Ágata Technology.

Este trabajo ha sido cofinanciado por fondos I+D de la Unión Europea y la Autoridad Portuaria de A Coruña.

Autores

E. Peña González (UDC)
A. Figueroa Pérez (UDC)
J. Sande González-Cela (UDC)

A. Alvarellos González
A. García Pérez (UDC)



Introducción

El presente estudio surge del interés mostrado por Portos de Galicia en realizar un proyecto de investigación aplicada para la búsqueda de un diseño óptimo de diques flotantes, que pueda asegurar una adecuada protección de los puertos deportivos localizados en las diferentes rías gallegas frente a periodos de oleaje de viento.

Metodología

El trabajo consistió en el análisis del comportamiento en modelo físico de diversas tipologías de diques flotantes, tratando de encontrar un mejor rendimiento de dichas estructuras.

El primer objetivo de este proyecto fue el estudio de un dique flotante ya instalado y en funcionamiento en el Puerto de recreo de Baiona.

Las otras 3 tipologías ensayadas fueron realizadas con variaciones geométricas, estudiando fundamentalmente los coeficientes de transmisión de estas estructuras de protección costera. En estas variantes se aumentó un 50% la altura del dique flotante en su parte inferior, un 10% la anchura del mismo, y se estudió la opción de colocar dos diques iguales en paralelo con tres distancias: nula (diques pegados), mitad de anchura de un dique, y un dique.

Como parte adicional del proyecto, se compararon diferentes sistemas de anclajes: en cadena o elásticos, utilizados actualmente en la costa gallega.

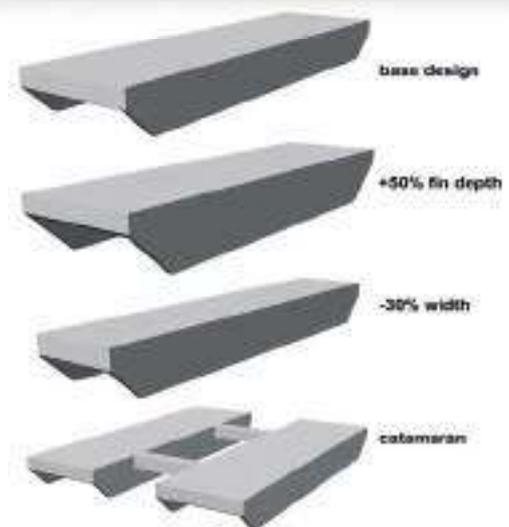
Resultados y Conclusiones

Los resultados obtenidos mostraron la gran influencia de la anchura del dique en el coeficiente de transmisión. Además de la comparativa entre el comportamiento de los diferentes sistemas de anclajes, se realizó un análisis de sensibilidad de los parámetros de diseño más importantes según distintas características del oleaje.

Dichos parámetros se refieren fundamentalmente al ancho de los diques flotantes frente a la longitud de onda del oleaje (B/L), y al periodo de vibración de los diques flotantes frente a la frecuencia de oleaje.

Agradecimientos

Personal de Portos de Galicia.



Autores

E. Peña González (UDC) J. A. Rodríguez (Portos de Galicia)
F. Sánchez-Tembleque Díaz-Pache (UDC) O. Piñón Trasancos (UDC)
J. Ferreras Robles (UDC) P. Urquijo (Portos de Galicia)

Introducción

El objetivo del presente proyecto ha sido el análisis hidrodinámico y estructural del conjunto de diques flotantes construido en el complejo denominado Marina Coruña (A Coruña, España).

La investigación desarrollada surge como trabajo de investigación aplicado para conocer y optimizar las líneas de fondeo de los diques flotantes instalados en dicha ubicación.

Metodología

El planteamiento del proyecto fue el análisis en modelo físico de los diques propuestos en el proyecto original, de manera que permitiera conocer la estabilidad estructural del dique, midiendo los esfuerzos existentes entre los módulos y los elementos de sujeción colocados en el fondo (muertos) con células unidimensionales, así como la obtención de los coeficientes de transmisión.

En el proyecto se han estudiado diferentes tipologías de anclajes al fondo, respetando en todo momento las características del prototipo, para comprobar el comportamiento de los diques con cada uno de ellos.

Se modelizaron anclajes rígidos con forma de catenaria (con y sin peso intermedio) y anclajes elásticos. También se analizó el destensado de mitad de las cadenas para comprobar la influencia de este fenómeno en el comportamiento del dique.

Resultados y Conclusiones

Tras el correspondiente post-procesado de resultados, se desarrolló una metodología de análisis de las alternativas existentes, que permiten presentar potenciales modificaciones de la configuración de dique flotante, amarre y elementos de sujeción en el fondo, y presentar un diseño óptimo de dicha configuración en situaciones parecidas a las existentes en la zona objeto de estudio.

Agradecimientos

Xunta de Galicia. Plan Galego de Investigación, Desenvolvemento e Innovación Tecnolóxica, Programas Sectoriais de Investigación aplicada, PEME I+D, Tecnoloxías dos Materiais e da Construción (TMT).
Personal de Abeconsa Construcción.
Personal Valora Consultores.



Autores

E. Peña González (UDC) A. López Merino (UDC)
F. Sánchez-Tembleque Díaz-Pache (UDC) F. Costa González (UDC)
J. Ferreras Robles (UDC) A. Louro Fernández (UDC)

Introducción

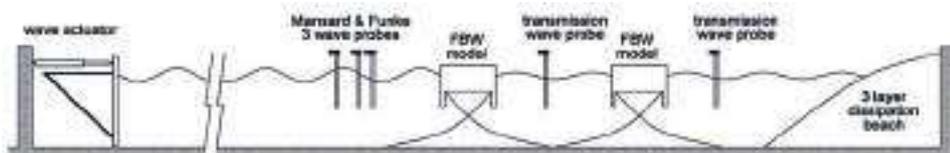
El objetivo de este proyecto fue conocer las capacidades de disipación del oleaje del nuevo modelo de dique flotante diseñado por SF Marina.

En concreto, se realizaron ensayos en modelo físico del prototipo SF1000BW, de 10 metros de ancho, con una configuración en dos filas de módulos paralelas separadas entre ellas 70 m, con una profundidad de 30 m.

Metodología

Los trabajos realizados consistieron en la reproducción en modelo físico de esta estructura, con ensayos de alturas de ola entre 1.6m y 4.2m, y periodos entre 4s y 9s, con 10 escalones e incidencia perpendicular del oleaje. Para los amarres se utilizaron cadenas.

Se registraron las alturas de ola incidente y transmitida para el cálculo del coeficiente de transmisión, tanto con oleaje regular como irregular.

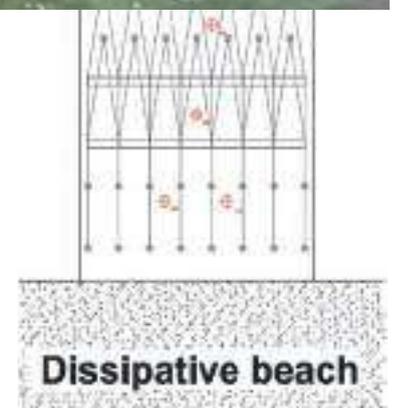
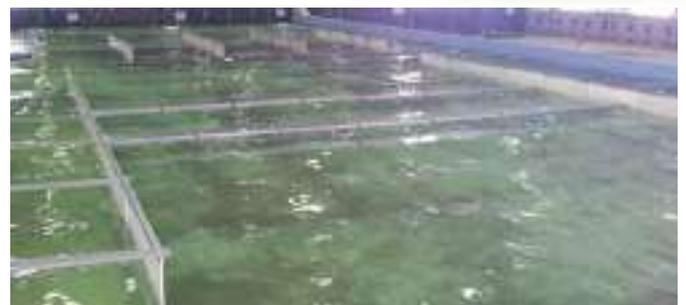


Resultados y Conclusiones

El resultado más relevante fue el aumento de la disipación de energía del oleaje por dos razones fundamentales: en primer lugar el ancho de la estructura, notablemente mayor a otros modelos comerciales; y en segundo lugar, por la disposición de dos filas suficientemente separadas.

Con esta caracterización se realizó un análisis de riesgos, en el que se detalló la probabilidad de ocurrencia en la zona protegida de alturas de ola mayores a las consideradas para los estados de confort, operatividad y supervivencia.

Además, se realizó un estudio paramétrico del prototipo SF1000BW de SF Marina con la disposición tradicional de una sola fila para determinar su curva de funcionamiento.



Agradecimientos

Personal de SF Marina International AB.

Autores

E. Peña González (UDC)
F. Sánchez-Tembleque Díaz-Pache (UDC)
J. Ferreras Robles (UDC)
F. Costa González (UDC)

Introducción

La complejidad de todos los fenómenos hidrodinámicos y turbulentos presentes en la interacción entre los diques flotantes, sus sistemas de unión y anclajes, y el propio oleaje, hacen necesaria la realización de ensayos en modelo físico para determinar con total precisión el comportamiento de los mismos.

En el presente proyecto se estudió el módulo SF600 de la empresa internacional SF Marina System International AB con la configuración, estados de mar y anclajes propuestos, y con el objetivo de determinar sus límites de funcionamiento.

Metodología

Esta tipología de diques flotantes fue analizada con diversos trenes de oleaje regular, con alturas de ola entre 0.3 m y 2.4 m, con escalones de 0.3 m, y periodos entre 2 s y 8 s, con 9 escalones. El calado estudiado fue de 8 metros sin variaciones de nivel por marea. Los amarres utilizados fueron cadenas, realizando ensayos 2D con incidencia perpendicular del oleaje.

Se midieron las alturas de ola incidente y transmitida para cálculo del coeficiente de transmisión, para determinar el grado de disipación de la estructura.

Resultados y Conclusiones

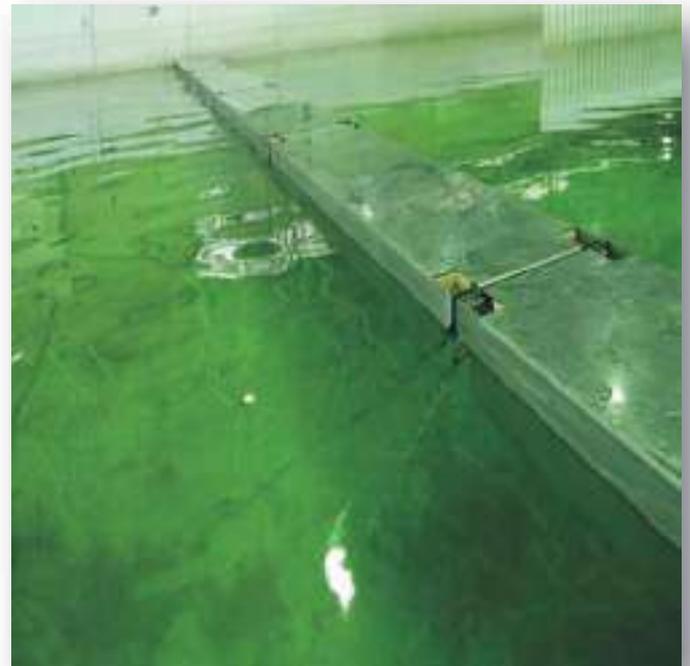
Como resultado más relevante se obtuvo la curva de coeficientes de transmisión del dique flotante ensayado frente al periodo de oleaje para diferentes alturas de olas. De esta forma se ha caracterizado el comportamiento hidrodinámico de esta estructura, determinando su funcionalidad.

Un aspecto novedoso fue la capacidad de soportar estados de mar más exigentes, como consecuencia de una configuración geométrica y una disposición más eficiente de los sistemas de amarre.

Los resultados permitieron a la empresa concurrir a licitaciones internacionales con resultados científicamente contrastados para concursos con características similares al estudio realizado.

Agradecimientos

Personal de SF Marina International AB.



Autores

E. Peña González (UDC) J. Ferreras Robles (UDC)
F. Sánchez-Tembleque Díaz-Pache (UDC) F. Costa González (UDC)
A. López Merino (UDC)

Introducción

La ampliación y mejora de las instalaciones en el Porto do Xufre (Illa de Arousa, Pontevedra), requiere la construcción de un dique flotante de 160 m, para el abrigo frente a oleaje de viento de la zona de profesionales de la dársena.

El diseño estructural de dicha estructura propuesto por Portos de Galicia consiste en 8 módulos de hormigón fondeados al fondo marino mediante elastómeros.

Con la finalidad de optimizar la solución estructural de fondeo con el menor coste y garantizar los niveles de atenuación de oleaje requeridos, Acciona solicitó la realización de una serie de ensayos en modelo físico para la determinación del comportamiento hidrodinámico y estructural del dique flotante con diferentes sistemas de fondeo.

Metodología

Se reprodujeron los diques flotantes con una escala geométrica de 1/21, dos condiciones de marea, alturas de ola de 0,6, 0,8 y 1,5 m, y periodos entre 2,3 y 4,6 s.

Se analizaron diferentes tipologías de anclajes, entre elastómeros y cadenas, con la finalidad de conocer la solución óptima para la estructura analizada. Además, para estas últimas, se estudiaron diversas longitudes de cadenas, *touchdowns* (longitud de arrastres de cadena en el fondo) y posicionamiento de los muertos.

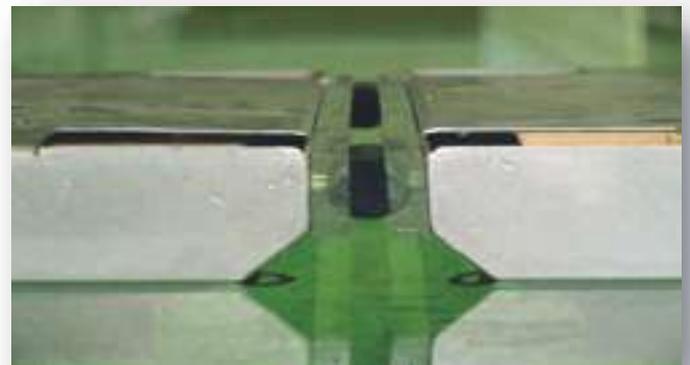
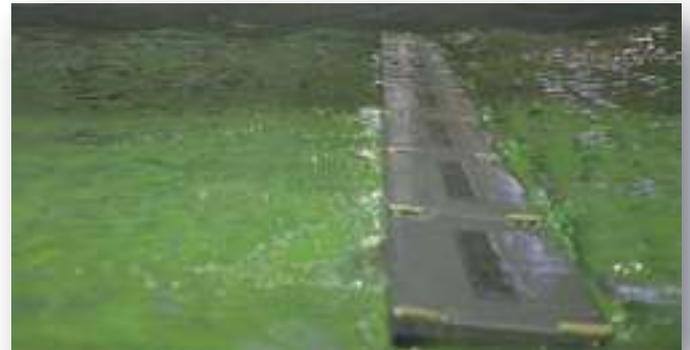
Resultados y Conclusiones

Como resultado final se obtuvo el comportamiento hidrodinámico del dique, mediante los coeficientes de transmisión, y las tensiones en las líneas de fondeo para las diferentes configuraciones analizadas.

Como conclusión más relevante se propuso un diseño de fondeo óptimo para las condiciones presentes en el Porto do Xufre. Aunque se ha demostrado que el tipo de fondeo no modifica el comportamiento hidrodinámico del dique flotante, este es un elemento de gran importancia en la distribución de los esfuerzos soportados por esta estructura.

Agradecimientos

Personal de Acciona.



Autores

E. Peña González (UDC)
J. Ferreras Robles (UDC)
J. Sande González-Cela (UDC)
L. Priegue Molinos (UDC)

Introducción

La utilización de pantallas como estructuras de defensa de la costa ha sido frecuente desde hace muchos años, buscándose en la actualidad alternativas de disipación y reflexión del oleaje incidente más eficaces respecto a las soluciones clásicas, y con menor impacto ambiental.

En este proyecto se realizó una campaña de campo con una tipología de pantalla flotante instalada en el puerto de Cabo de Cruz (Boiro, Ría de Arousa). A tal fin se utilizó la instrumentación disponible en el CITEEC para este tipo de estudios de ingeniería marítima y portuaria.

Metodología

El objetivo del estudio era conocer el funcionamiento hidráulico de las pantallas mediante el coeficiente de transmisión, para así poder evaluar la capacidad disipativa de la estructura. Además, se pretendía conocer la estabilidad estructural para una mayor vida útil de la obra.

La instrumentación empleada incluyó: correntímetros doppler acústicos para medir el oleaje a barlomar y sotamar de las pantallas, células de carga para medir la presión que transmiten las pantallas a los pilotes, cámaras de video digital para monitorizar con dianas sus movimientos, y una estación meteorológica para conocer las condiciones locales de viento (velocidad y dirección).

Resultados y Conclusiones

Los datos extraídos permitieron conocer la capacidad de disipación de las pantallas y correlacionarla con el esfuerzo estructural de pantallas y pilotes.

Como particularidad, se generaron oleajes de mayor magnitud a los esperados en la zona, con el paso de varios barcos muy cerca de la estructura, para poder conocer su operatividad en diferentes escenarios de clima marítimo.

El trabajo desarrollado ha permitido extrapolar los resultados a otros proyectos en zonas de características similares, en entornos de dársenas portuarias y rías.

Agradecimientos

Personal de Portos de Galicia.
Personal de Acuática Ingeniería Civil.

Autores

E. Peña González (UDC)
F. Sánchez-Tembleque Díaz-Pache (UDC)
J. Sospelana (Acuática Ingeniería Civil)
F. López (Acuática Ingeniería Civil)



Introducción

El objetivo de este proyecto fue analizar una nueva tipología de pantalla fijada al fondo como estructura de disipación de oleaje.

Para el estudio se analizaron los parámetros más importantes del funcionamiento hidráulico de este tipo de obras, como la porosidad, la profundidad relativa y los pares de valores altura de ola/periodo.

Metodología

Los ensayos se realizaron con 3 pantallas construidas a escala 1/6.53, para su comparación con la pantalla flotante ensayada en las instalaciones de la Universidad de Cantabria como parte del mismo proyecto.

Las condiciones analizadas fueron: 2 porosidades (18.2% y 6.5%), 3 calados (3, 4.5 y 6 m), 5 periodos (2, 3, 5, 8 y 10 s), 3 alturas de oleaje (0.75, 1.25 y 2 m), 2 niveles de marea (bajamar y pleamar) y 3 profundidades: 5, 6.5 y 8 m.

Como elemento novedoso y relevante para la presentación de esta tipología de pantallas en concursos y licitaciones, se realizó la medición de los esfuerzos mediante células de carga en los pilotes, caracterizando también el comportamiento estructural.

Resultados y Conclusiones

Los resultados más relevantes fueron las tablas de esfuerzos cortante y momentos en el fondo con todos los ensayos realizados, como base para el diseño y construcción óptimos de estas estructuras.

Como parte del proceso de validación se compararon los datos obtenidos con las fórmulas existentes, realizando un análisis de sensibilidad de los parámetros involucrados.



Agradecimientos

Xunta de Galicia. Plan Galego de Investigación e Desenvolvemento (PGIDIT).
Programa de Tecnoloxías de Deseño e Producción Industrial.
Personal de Aister Marinas y Acuática Ingeniería Civil.

Autores

E. Peña González (UDC)
F. Sánchez-Tembleque Díaz-Pache (UDC)
J. Sopenana (Acuática Ingeniería Civil)
F. López (Acuática Ingeniería Civil)

Introducción

Uno de los principales problemas que pueden presentar estructuras como los diques flotantes es el fallo de las uniones entre cada uno de los módulos.

El estudio del dique flotante del puerto de Aguete surge del interés mostrado por Portos de Galicia por conocer en detalle los esfuerzos de los diques flotantes del Puerto de Aguete, tanto en las líneas de fondeo como en las uniones entre módulos, así como el comportamiento de la estructura como conjunto.

Metodología

Este trabajo consistió en la realización de un modelo físico en el que se reprodujeron las características y condiciones presentes en el lugar de estudio, cuyo principal objetivo fue la mejora del diseño de las uniones entre módulos y la determinación de la tipología y colocación óptima de los anclajes en los diques flotantes del puerto de Aguete.

Se usaron células de carga 1D y 3D para registrar los esfuerzos producidos en las uniones y líneas de anclaje. Los ensayos llevados a cabo representaron las condiciones características presentes en la zona de estudio, tanto con oleaje de fondo como de viento.

Las condiciones de clima marítimo, así como el proyecto base de estudio Puerto de Aguete, fue realizado con la consultora Acuática Ingeniería Civil, con la que se trabajó durante todo el desarrollo del proyecto.

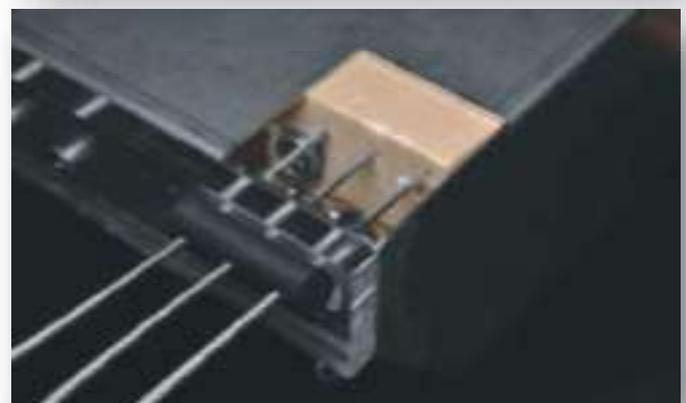
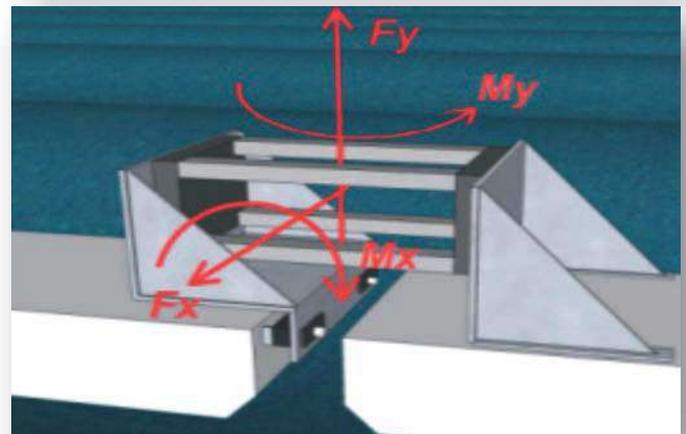
Resultados y Conclusiones

El análisis detallado del efecto producido sobre el dique flotante de diferentes tipologías y disposiciones de las líneas de fondeo, permitió un mayor conocimiento de las ventajas y desventajas que suponen la colocación de los diferentes tipos de amarre estudiados.

Se obtuvieron conclusiones relevantes para un mejor dimensionamiento de las uniones, como paso previo para la propuesta de un proyecto de reparación y mejora del Puerto de Aguete.

Agradecimientos

Personal de Portos de Galicia.
Personal de Acuática Ingeniería Civil.



Autores

E. Peña González (UDC)	A. Louro Fernández (UDC)
F. Sánchez-Tembleque (UDC)	J. Ferreras Robles (UDC)
A. López Merino (UDC)	F. Martínez Abella (UDC)

Introducción

El objetivo del presente proyecto fue determinar la erosión máxima producida la interacción entre los pilares y las corrientes de marea en el proyecto de ampliación de la terminal de gas natural de Dahej, situada en el Golfo de Cambay (India).

Metodología

El estudio consistió en la realización de un modelo a escala reducida en el canal de ola-corriente de las instalaciones del CITEEC, en el que se reprodujeron las condiciones presentes en el Golfo de Cambay, con la finalidad de obtener un mayor conocimiento de los problemas de erosión que podrían presentarse con la configuración propuesta para el campo de pilotes.

Debido a las condiciones presentes en la zona, con grandes variaciones de marea (10 m), velocidades de corriente en el fondo de 1 m/s, y un sedimento de tamaño 0.30 mm, se estudiaron diferentes alternativas.

El proyecto se realizó con dos tamaños de sedimento diferentes para ver la sensibilidad de los resultados con ese parámetro. Además, se realizaron ensayos con dos configuraciones diferentes de las pilas inclinadas que representaban el soporte de la estructura principal.

El trabajo se ejecutó en continuo contacto con el personal de Proes, incluyendo la visita de una delegación de la Administración responsable del proyecto.

Resultados y Conclusiones

Como resultado se obtuvieron las evoluciones de la erosión máxima generada frente a las pilas inclinadas a lo largo del tiempo para diferentes configuraciones y sedimentos.

Los resultados obtenidos fueron comparados con los existentes en la literatura científica, con algunas particularidades como consecuencia de la especial casuística de este proyecto. De esta forma, se pudo hacer una estimación final de la profundidad de pilotado como aportación fundamental para la obra en ejecución.

Agradecimientos

Personal de PROES Consultores S.A.



Autores

E. Peña González (UDC)
F. Sánchez-Tembleque Díaz-Pache (UDC)
J. Ferreras Robles (UDC)
F. Costa González (UDC)

Introducción

El objetivo del presente proyecto es la caracterización detallada del proceso de mezcla entre un vertido hiperdenso procedente de una planta desaladora y el medio receptor mediante modelización física.

El estudio de este fenómeno es complejo y constituye un gran reto científico en la ingeniería hidráulica actual, dada la multitud de variables que intervienen: diseño del dispositivo, condiciones hidrodinámicas, etc.

El proyecto fue realizado en coordinación con el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, en el marco del Plan Nacional de I+D+i.

Metodología

La novedad del estudio fue el empleo combinado de técnicas láser PIV y LIF, que permiten analizar la evolución de velocidades y concentraciones en un plano, así como el desarrollo de una técnica experimental propia.

El trabajo desarrollado por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente de la Universidade da Coruña consistió en determinar el análisis y la evolución de velocidades y dilución en el campo cercano y lejano. En el estudio del campo cercano se hizo especial hincapié en el estudio en medio dinámico con varias velocidades del medio receptor.

En campo lejano se hicieron ensayos en perfil (técnica LIF) y en planta, mediante una malla de conductímetro diseñada para este proyecto.

Resultados y Conclusiones

Los resultados obtenidos han permitido proponer estimaciones de la evolución de la salmuera en el campo cercano y en el campo lejano (corriente de gravedad), así como la determinación de la zona de transición.

Los resultados del proyecto han permitido realizar una tesis doctoral y una Patente de Invención con el sistema de medición en campo lejano mediante conductímetro en la Oficina Española de Patentes y Marcas.

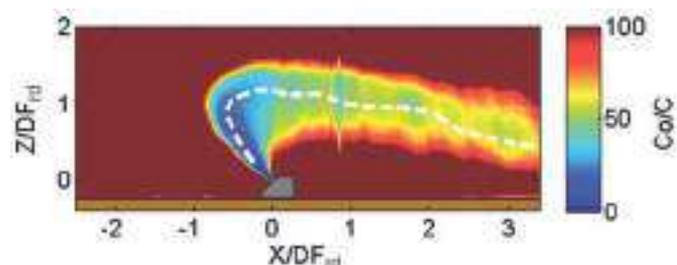
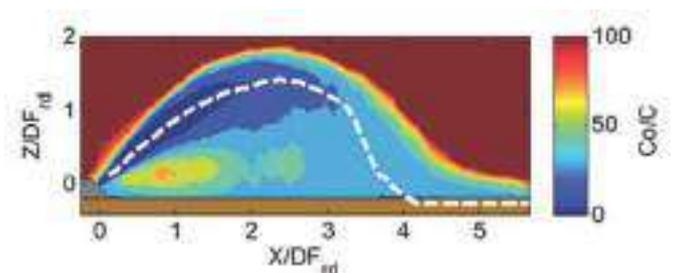
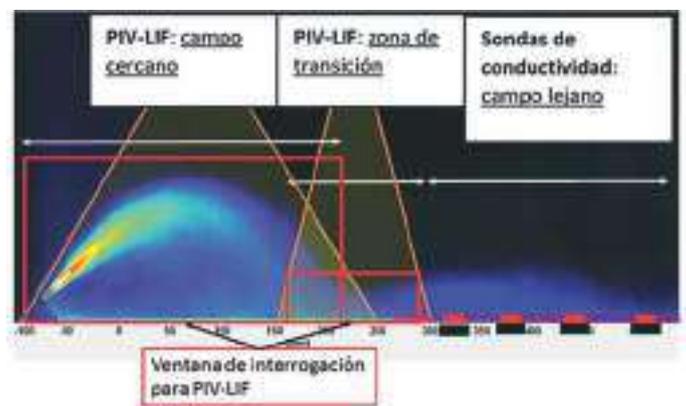
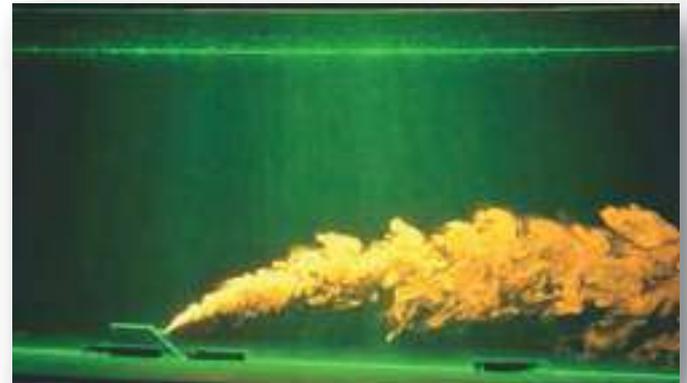
Agradecimientos

Ministerio de Economía y Competitividad. Plan Nacional de I+D+i (2008-2011).
Universidad de Cantabria.

Autores

E. Peña González (UDC)
J. Anta Álvarez (UDC)
F. Costa González (UDC)
F. Sánchez-Tembleque (UDC)

A. Figuro Pérez (UDC)
A. Castro Pose (UDC)
D. Iglesias (UDC)



Introducción

El principal objetivo de este proyecto experimental promovido por Aguas de Galicia, era analizar la eficiencia de varios emisarios submarinos actualmente en operación en las rías gallegas, y proponer mejoras de diseño para futuras infraestructuras de vertidos.

El estudio fue realizado en un consorcio liderado por la empresa Serumano.

Metodología

En este estudio se desarrolló un trabajo de modelización física en las instalaciones del CITEEC y una novedosa campaña de campo. En la parte experimental se realizaron mediciones de concentraciones de vertidos para 84 configuraciones de descarga diferentes, representando tanto condiciones de operación reales como variaciones de los principales parámetros de diseño.

Para la realización de las medidas, y por tanto su dilución, se utilizaron las técnicas Laser Induced Fluorescence (LIF) y Particle Image Velocimetry (PIV), seleccionadas como las más adecuadas por su carácter no intrusivo, y dado que los resultados obtenidos son de gran precisión y fiabilidad. La eficiencia de cada configuración se analizó mediante la evolución de las concentraciones con umbrales de dilución hasta 1:100.

En paralelo se realizó una campaña en 3 localizaciones distintas de la costa gallega, con el vertido de un trazador en 3 depuradoras, y con el objetivo de caracterizar el parámetro T90 asociado a dichos vertidos.

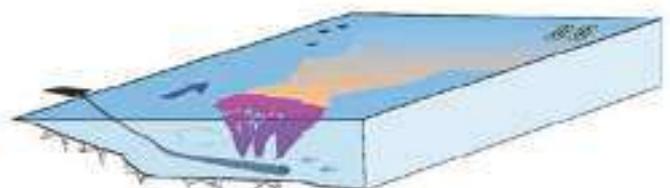
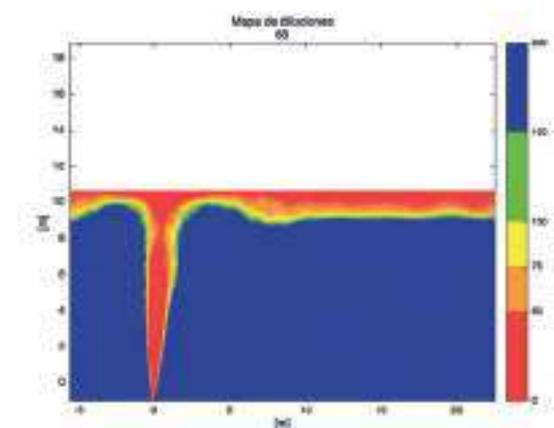
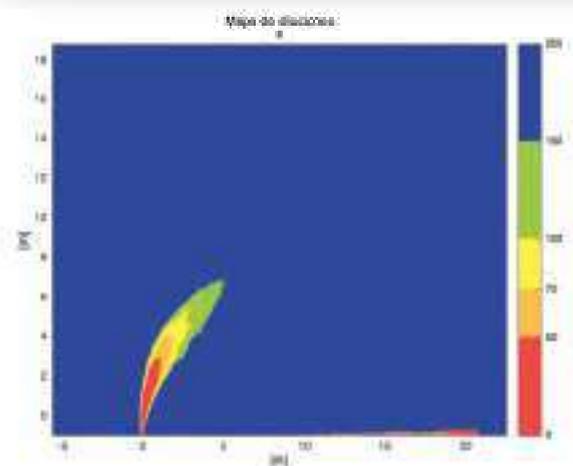
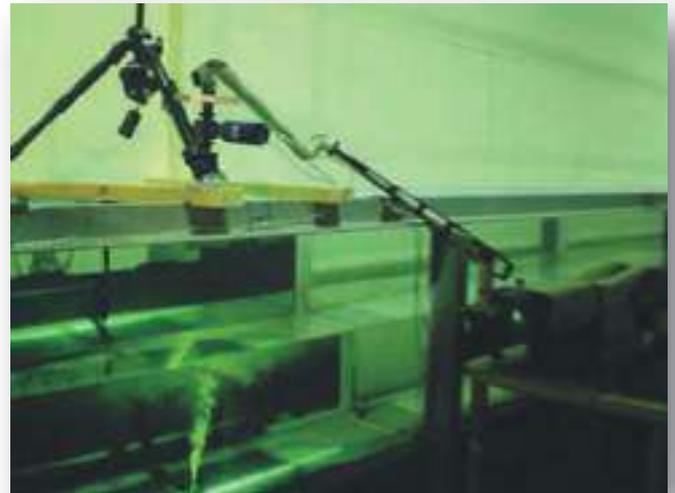
Resultados y Conclusiones

Los resultados más relevantes fueron la caracterización de las variables ambientales (densidad relativa de efluente y medio, caudal, velocidad de la corriente), así como las variables de diseño del emisario (número de difusores).

Las conclusiones obtenidas han permitido proponer configuraciones de vertido más eficientes y respetuosas con el medio marino.

Agradecimientos

Personal de Aguas de Galicia.
Personal Consultora Serumano.



Autores

E. Peña González (UDC) A. Louro Fernández (UDC)
J. Anta Álvarez (UDC) J. Suárez López (UDC)
I. Mera Rico (UDC) A. Jácome Burgos (UDC)

Introducción

El objetivo de este proyecto fue caracterizar de forma detallada las condiciones hidrodinámicas en ríos con tramos meandriformes en condiciones de avenida, con la finalidad de diferenciar la potencia de la corriente en cauce central y llanuras de inundación.

Metodología

Se realizaron ensayos en un modelo físico construido a escala 1:20 de un tramo meandriforme de 300 metros del río Mero (A Coruña, España), con caudal únicamente de cauce seco, y su comparación con dos ensayos de inundación.

En este trabajo destaca la utilización de la instrumentación de medida DOP (Doppler Acoustic Profiler), en concreto el DOP2000, cuyas características permiten determinar campos de velocidades 1D, 2D o 3D a lo largo de un eje, y a diferentes frecuencias y configuraciones de las sondas.

De esta forma se puede analizar en detalle la formación de estructuras de flujo en la vertical con los registros simultáneos y, por tanto, medir perfiles tridimensionales multidireccionales de velocidad, como en el caso analizado de cauce central y llanuras de inundación.

El proyecto se complementó realizando un modelado numérico de los mismos casos ensayados, de forma que se pudieran contrastar los resultados. El trabajo sirvió para realizar una tesis doctoral y varias publicaciones científicas.

Resultados y Conclusiones

Los conclusiones experimentales del proyecto permiten también realizar evaluaciones cualitativas de diseño de medidas eficaces de protección, diferenciadas en cauce y llanuras de inundación.

Además, los resultados finales han servido para la validación y calibración de un modelo numérico 3D en lámina libre, que incorpora un análisis detallado de los procesos de turbulencia.

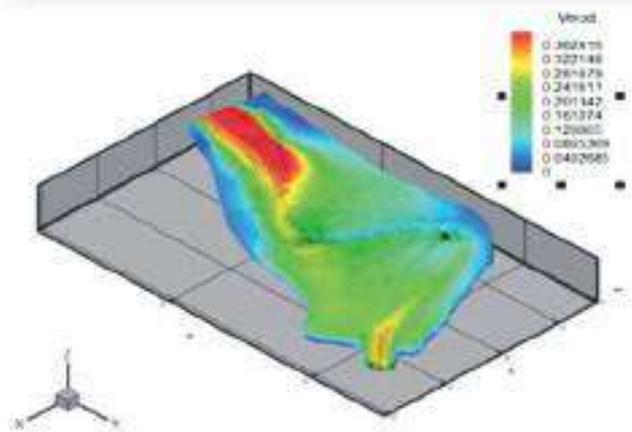
Agradecimientos

Confederación Hidrográfica del Norte.

Aguas de Galicia.

Eyser.

Aquática Ingeniería Civil (EPOs del proyecto).



Autores

E. Peña González (UDC)	I. Mera Rico (UDC)
J. Anta Álvarez (UDC)	B. Fraga Bugallo (UDC)
L. Cea Gómez (UDC)	J. Ferreras Robles (UDC)
J. A. Rodríguez (UDC)	A. López Merino (UDC)



PROYECTOS

Laboratorio de Túnel
de Viento para
Ensayos
Aeroelásticos

Introducción

La excitación por vórtices es un fenómeno producido por el viento en estructuras flexibles como los puentes soportados por cables. También ha ocurrido en puentes de vigas o en arcos. Puede producirse tanto en la fase constructiva como con el puente finalizado. Se sabe que un cuerpo no aerodinámico expuesto al viento forma en su estela una serie de vórtices alternativos a una determinada frecuencia, lo que depende del número de Reynolds.

Estos vórtices introducen fuerzas transversales con la misma frecuencia y, en el caso de estructuras esbeltas y flexibles, con pequeño amortiguamiento aparecen vibraciones que pueden ser inaceptables. Se realizan ensayos en el túnel de viento del CITEEC con un modelo seccional de un tablero de dos cajones gemelos, similar al del puente atirantado de Stonecutters. El tablero de este puente es muy propenso a la excitación por vórtices, lo que se comprueba en los ensayos realizados.

Resultados

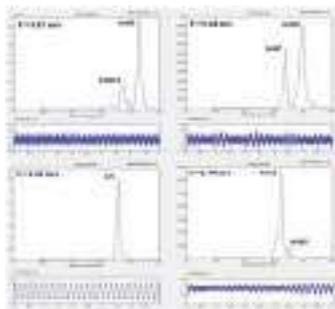
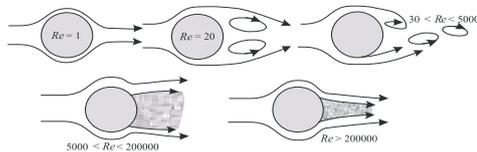
Ensayo del modelo

El modelo, a escala 1/80, se soporta con barras de aluminio directamente conectadas a las células de carga. Se miden las fuerzas verticales a lo largo del tiempo y se aplica la

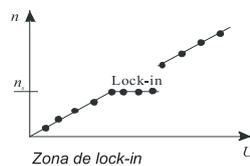


Modelo de tablero con cajones gemelos

transformada de Fourier para determinar las frecuencias a las que aparecen los mayores valores de fuerza, que corresponden con las provocadas por las fuerzas alternantes que introducen los vórtices y con las debidas a la oscilación a la frecuencia natural del modelo. Ambos picos de fuerza aumentan con la velocidad de viento. En la situación de *lock-in* se superponen y aparecen las fuerzas de mayor amplitud.



Transformada de Fourier del histograma de fuerzas verticales



En las gráficas superiores se recogen los histogramas de fuerzas y las correspondientes transformadas de Fourier para diferentes velocidades de viento.

Para esta sección aparecen dos zonas de *lock-in* con valores del número de Strouhal alrededor de 0.14 y 0.2, que coinciden con resultados obtenidos por Larouse en 2003.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por las siguientes entidades: Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) del Gobierno de España con el Proyecto BIA2010-19989; Xunta de Galicia, incluyendo fondos FEDER (Ref. GRC2013-056). Algunas de las tareas de preparación del modelo seccional fueron realizadas por el personal del CITEEC.

Autores

J. A. Jurado Albarracín (UDC) F. Nieto Mouronte (UDC)
R. Sánchez (UDC) I. Kusano (UDC)
S. Hernández Ibáñez (UDC)

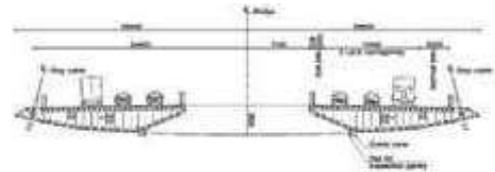


XUNTA DE GALICIA
CONSELLERÍA DE CULTURA, EDUCACIÓN
E ORDENACIÓN UNIVERSITARIA



La separación de la capa límite alrededor del cuerpo inmerso en el flujo de aire es la clave para explicar su comportamiento. Cuando el cuerpo tiene formas con gran curvatura, como es el caso de un cilindro, el punto de separación de la capa límite depende del número de Reynolds.

En ingeniería civil las estructuras suelen tener formas angulosas, que provocan que el punto de separación siempre sea más o menos fijo, sin cambiar demasiado respecto al número de Reynolds. Sin embargo, muchos tableros de puentes tienen contornos curvos con un comportamiento cambiante en función de la velocidad del viento.



El número de Strouhal es otro parámetro importante a tener en cuenta en la excitación por vórtices, ya que es la frecuencia adimensionalizada con la que se forman los vórtices alternativos en la estela del cuerpo.

Relacionando este valor con las frecuencias naturales de vibración de la estructura, es posible determinar si se producirán vibraciones peligrosas en la misma. En la zona que se produce acoplamiento entre la frecuencia de los vórtices y la vibración de la estructura, aparecen las oscilaciones de mayor amplitud. En esa zona, al aumentar la velocidad de viento no aumenta la frecuencia de los vórtices, por lo que se llama zona encerrada o *lock-in*.

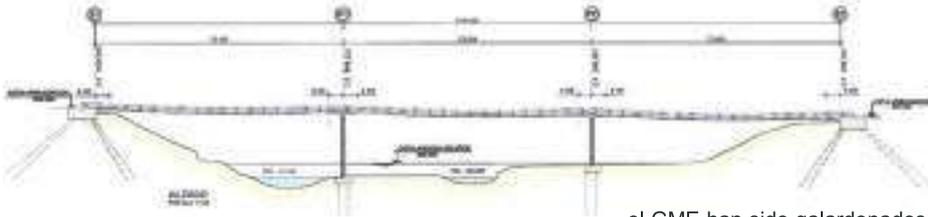


Flujo de aire alrededor del tablero de cajones gemelos del puente de Stonecutters

Otros factores que influyen en la excitación de un puente por vórtices es el amortiguamiento estructural: a mayor amortiguamiento, menos probabilidad de que la estructura vibre, y la existencia de cuerpos cercanos que generen vórtices a su estela. Estos cuerpos hacen que el flujo de aire incidente en la sección de la estructura ya contenga vórtices, y que por tanto introduzca fuerzas transversales alternantes.

Introducción

La pasarela peatonal de tipología banda tesa sobre el río Júcar a su paso por Cuenca tiene una longitud de 216 metros, divididos en tres vanos de geometría parabólica de 72 metros cada uno, siendo récord de luz alcanzada con esta tipología utilizando cables de fibra de carbono. La pasarela se construye disponiendo tramos de tablero prefabricado de hormigón sobre 16 cables de fibra de carbono previamente tesados. Esta tipología permite disminuir el canto total del tablero, siendo en este caso de 15 centímetros.



El Grupo de Mecánica de Estructuras (GME) de la UDC ha realizado parte de los cálculos estáticos y dinámicos necesarios para su construcción, en colaboración con la empresa Acciona Infraestructuras S.A. Como consecuencia de la finalización de dicha obra, la empresa constructora y el GME han sido galardonados con uno de los premios a la innovación con materiales compuestos entregados en la JEC Europe-Composites Show and Conference (2012).



Objetivos

- Estudiar el comportamiento estático de la estructura.
- Conocer modos y frecuencias de vibración de la estructura.
- Obtener las velocidades de viento que producirían la inestabilidad aeroelástica por flameo y la inestabilidad por divergencia torsional.
- Estudiar el comportamiento de la pasarela frente al desprendimiento de torbellinos (*vortex shedding*).
- Conocer el comportamiento dinámico de la estructura frente al paso de peatones.

Modelos numéricos

Se han realizado varios modelos de elementos finitos de la estructura en teoría no lineal teniendo en cuenta todas las etapas constructivas. En esta pasarela es fundamental incluir en el cálculo las diferentes etapas constructivas, pues influyen de forma determinante en el comportamiento de la estructura.

Con estos modelos se obtienen las frecuencias y modos de vibración necesarios para el cálculo de la velocidad de flameo. Así mismo, se utilizan para realizar el análisis de confort peatonal de la pasarela. Códigos utilizados: SAP2000 y Abaqus.

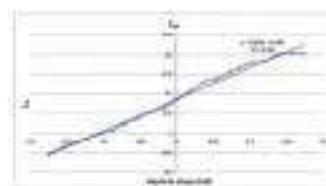
Conclusiones

En el análisis estructural de esta pasarela se han combinado métodos experimentales (túnel de viento) con métodos numéricos, que han permitido concluir que las inestabilidades producidas por el viento se producirían para velocidades de viento muy superiores al rango de velocidades que se alcanzan en su emplazamiento.

El diseño actual presenta un buen comportamiento dinámico frente al paso de peatones, alcanzando aceleraciones verticales y horizontales dentro del rango admisible.

Ensayos del modelo

El estudio aeroelástico para la obtención de la velocidad de flameo se realiza a través de un método híbrido, el cual consta de dos etapas, la primera experimental y la siguiente computacional. La etapa experimental se ha llevado a cabo ensayando el modelo reducido del tablero a escala 1/10 en el túnel de viento aerodinámico, a fin de obtener las curvas de las funciones de flameo (*flutter derivatives*) que relacionan las fuerzas del viento con los movimientos y las velocidades del tablero.



La etapa computacional consta de un análisis estructural de un modelo de elementos finitos para identificar la velocidad del viento, que anula el amortiguamiento y, en consecuencia, inicia el umbral de inestabilidad del puente.

Tras la resolución del problema dinámico se obtienen velocidades de flameo superiores a 80 m/s, valor muy superior a la velocidad de viento a la cota del tablero, incluso para un período de retorno de 500 años, calculada según los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas.

En cuanto a la inestabilidad por divergencia torsional, se obtienen valores de la velocidad de viento muy superiores a la velocidad crítica de flameo.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por la empresa Acciona Infraestructuras.

Autores

S. Hernández Ibáñez (UDC) A. Baldomir García (UDC)
L.E. Romera Rodríguez (UDC) M. Santiso Martínez (UDC)
J.A. Jurado Albarracín (UDC) A. Troche Matos (UDC)
F. Nieño Mouronte (UDC)

Introducción

El diseño del futuro puente sobre el estrecho de Messina, entre la isla de Sicilia y la península italiana, es un puente colgante de 3300 m de vano central y una longitud total de 5010 metros.

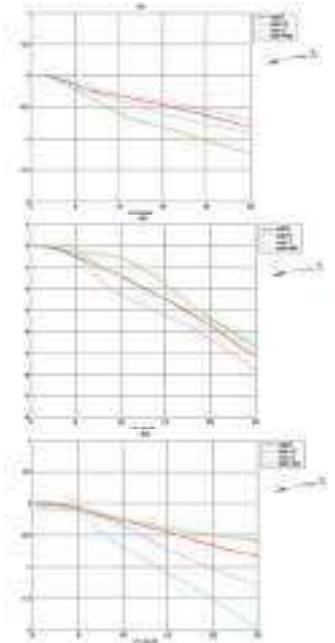
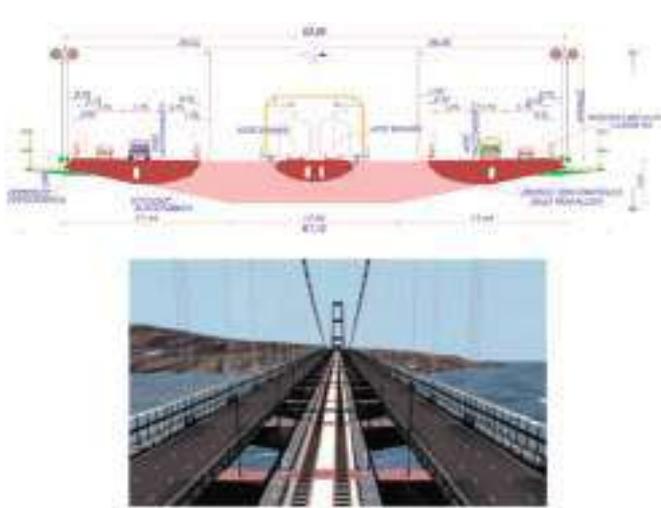


El tablero está proyectado como tres cajones conectados por vigas transversales cada 30 m. Los dos laterales soportarán tráfico de vehículos y el central está destinado a una vía doble de ferrocarril.

La longitud del vano central lo convertirá en el puente de mayor vano del mundo, dejando atrás los 1991 m del puente sobre el estrecho de Akashi en Japón.

Ensayos del modelo

En los puentes soportados por cables, como los atirantados y los colgantes, resulta de gran importancia comprobar su comportamiento frente a la acción del viento, a fin de evitar comportamiento inadecuados. Uno de los fenómenos más peligrosos es el flameo (*flutter*), por tratarse de una inestabilidad producida por el flujo del viento que conduce al colapso del puente. Ello hace que en estos puentes deba estar garantizado que son capaces de soportar la velocidad del viento que establezca el pliego de condiciones del proyecto.



Por ello, el estudio que se realizó se encaminaba a comprobar la velocidad del flameo del diseño del puente elaborado por la UTE de las empresas constructoras. La metodología utilizada es la denominada híbrida, que consiste en dos fases: una inicial experimental y otra posterior computacional.

En la etapa experimental se ensaya en el túnel de viento un modelo reducido de un segmento del tablero, que en este caso estaba a escala 1/110. El objetivo del ensayo es obtener las funciones de flameo (*flutter derivatives*), que relacionan las fuerzas aeroelásticas que provoca el viento sobre el tablero y los movimientos y las velocidades de este.



Modelos numéricos

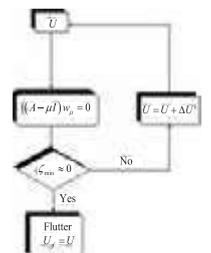
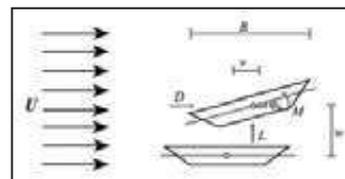
En la etapa computacional se utiliza un modelo de elementos finitos para realizar un cálculo dinámico del puente completo frente a las cargas aeroelásticas. Ello conduce a un problema de autovalores que permite averiguar la velocidad de flameo del puente.

A continuación se muestran las ecuaciones del problema y esquema de flujo de la fase computacional.

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = f_a = C_a\dot{u} + K_a u$$

Conclusiones

Los resultados numéricos obtenidos mostraron que el prototipo estudiado cumplía la velocidad de flameo requerido por el pliego de condiciones del concurso del puente.



Agradecimientos

Este estudio fue financiado por las empresas constructoras Ferrovial-Agroman, Acciona Infraestructuras y Astaldi.

$$f_a = \begin{Bmatrix} D_a \\ L_a \\ M_a \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \rho U K B \begin{Bmatrix} P_1^* & -P_3^* & -BP_2^* \\ -H_1^* & H_1^* & BH_2^* \\ -BA_1^* & BA_1^* & B^2 A_2^* \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v} \\ v \\ \phi_x \end{Bmatrix} + \frac{1}{2} \rho U^2 K^2 \begin{Bmatrix} P_4^* & -P_6^* & -BP_5^* \\ -H_6^* & H_4^* & BH_5^* \\ -BA_6^* & BA_4^* & B^2 A_5^* \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} v \\ w \\ \phi_x \end{Bmatrix}$$

Autores

S. Hernández Ibáñez (UDC)
J.A. Jurado Albarracín (UDC)

L.E. Romera Rodríguez (UDC)
A. Baldomir García (UDC)

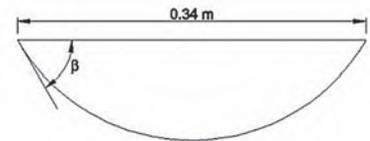
Introducción

Un problema desafiante, cuya solución facilitarían el proyecto de puentes de gran vano, consiste en la utilización del diseño óptimo de estructuras pero considerando las complicadas condiciones de tipo aeroelástico, esenciales en este tipo de puentes. La optimización requiere que todos los análisis sean computacionales. Ello es una dificultad en el estudio de los fenómenos aeroelásticos que causa el viento, y que normalmente se realiza ensayando modelos reducidos en túneles de viento. Sin embargo, en los últimos años los resultados de la mecánica de fluidos computacional en este campo (CFD en terminología inglesa) son prometedores.

Su uso permitiría llevar a cabo todo el proceso de optimización de forma computacional. Los actuales métodos de CFD aplicados a la aeroelasticidad de puentes no son lo suficientemente fiables para prescindir de las correspondientes validaciones experimentales que usan túneles de viento.

El grupo de Mecánica de Estructuras ha definido una sección de tablero paramétrica que depende de una sola variable para su empleo en el diseño óptimo de puentes. La sección, mostrada en la figura, tiene perfil semicircular inferior, y el ángulo de tangencia b es la variable de diseño. En este estudio se han realizado los ensayos experimentales de tres modelos seccionales con ángulos de tangencia de 40° , 60° y 90° .

Se han obtenido los coeficientes aerodinámicos, las funciones de flameo y el número de Strouhal para disponer de una amplia base de datos con la que validar los resultados que se obtendrán computacionalmente utilizando las técnicas de CFD.



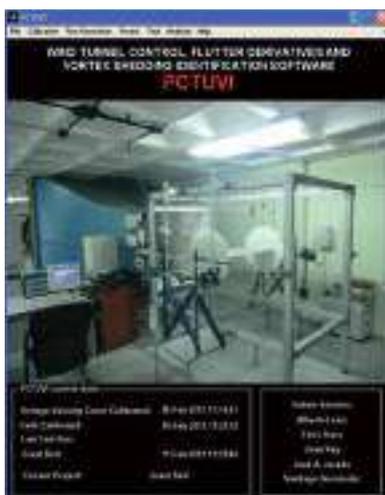
Modelos Seccionales

La cámara de ensayos del túnel de viento aerodinámico del CITEEC tiene un metro cuadrado de sección. En consecuencia, los modelos seccionales se han construido de 0.97 m de longitud y con una anchura de 0.34 m, de forma que la relación largo-anchura es cercana a 3, que se considera adecuada para suponer un flujo bidimensional en el túnel de viento. Como se muestra en las imágenes, los modelos se soportan sobre estructuras de aluminio en forma de H. Las uniones se realizan con placas de aluminio atornilladas que garantizan la ortogonalidad de la estructura.



Las barras de aluminio tienen acanaladuras que facilitan el montaje del modelo sujetándose mediante barras o muelles a las células de carga. Los modelos se realizan con placas de material PVC, de 0.5 mm para el contorno exterior y 10 mm para las costillas. Una barra de acero de 8 mm de diámetro se utiliza para desplazar el centro de gravedad a la altura de la barra central de aluminio.

También se colocan placas de forma elíptica a ambos lados del modelo para evitar efectos tridimensionales no deseados en esas zonas.



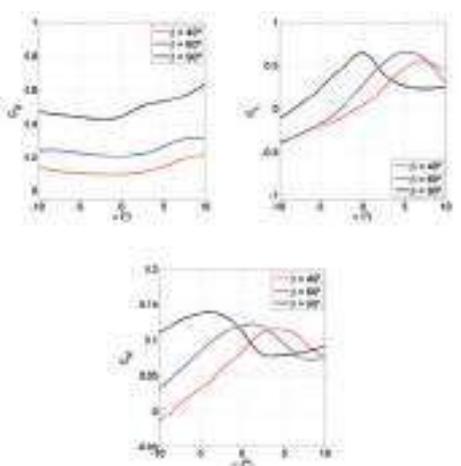
Ensayos del modelo

En el túnel de viento, y utilizando el programa de control PCTUVI, se han obtenido los coeficientes aerodinámicos de arrastre, levantamiento y momento de cada sección en función del ángulo de ataque (Véanse las gráficas de la derecha).

Los números de Strouhal obtenidos son: 0.207 para $b = 90^\circ$, 0.198 para 60° , y 0.228 para la de 40° .

Finalmente, se han realizado ensayos aeroelásticos en vibración libre usando métodos de identificación para determinar la frecuencia y el amortiguamiento de la respuesta, a partir de las cuales se obtienen las funciones de flameo.

En las gráficas aparece la comparación de resultados para las tres secciones ensayadas.



Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por las siguientes entidades: Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) del Gobierno de España, con el Proyecto BIA2010-19989; Xunta de Galicia, incluyendo fondos FEDER (Ref. GRC2013-056). Al personal del CITEEC que ha participado en la construcción de los modelos seccionales.

Autores

J.A. Jurado Albarracín (UDC)
R. Sánchez (UDC)
M. Cid Montoya (UDC)

F. Nieto Mouronte (UDC)
S. Hernández Ibáñez (UDC)



XUNTA DE GALICIA
CONSELLERÍA DE CULTURA, EDUCACIÓN
E ORDENACIÓN UNIVERSITARIA



Introducción

El puente Castilla-La Mancha forma parte de la circunvalación de la ciudad de Talavera de la Reina. Se trata de un puente atirantado sobre el río Tajo, construido por la UTE Ronda Sur Talavera, formada por SACYR, Aglomancha y Grupo Bárcenas.

La obra fue inaugurada en octubre de 2011. El vano total del puente es de 318 m y destaca el pilono inclinado, que tiene 192 m de altura. El tablero es particularmente esbelto, ya que presenta una anchura de 36 m y tan solo 2.77 m de canto.



Objetivos

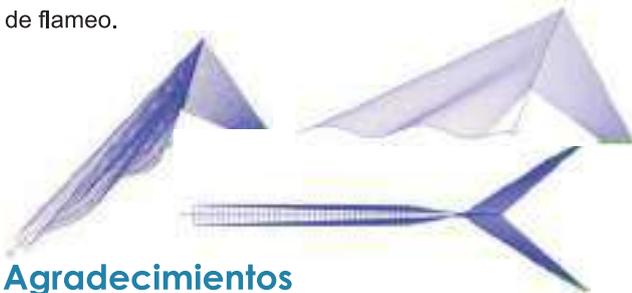
El Grupo de Mecánica de Estructuras realizó los siguientes trabajos por encargo de la empresa constructora:

- Caracterización del viento en la zona.
- Modelo de visualización virtual de la estructura.
- Análisis dinámico del puente.
- Obtención experimental en túnel de viento de los coeficientes aerodinámicos y funciones de flameo del tablero.
- Determinación de la velocidad crítica de flameo de la estructura.



Modelos numéricos

Se han realizado varios modelos de elementos finitos de la estructura empleando el programa de análisis estructural SAP2000. Con estos modelos se obtienen las frecuencias y modos de vibración necesarios para el cálculo de la velocidad de flameo.



Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la UTE Ronda Sur Talavera.

Autores

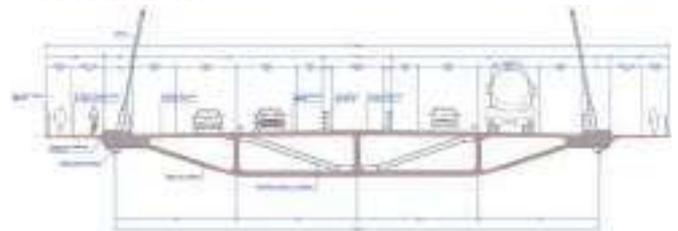
S. Hernández Ibáñez (UDC) A. Díaz Valdés (UDC)
J.A. Jurado Albarracín (UDC) F. Pereira Mosqueira (UDC)
F. Nieto Mouronte (UDC)



Ensayos del modelo

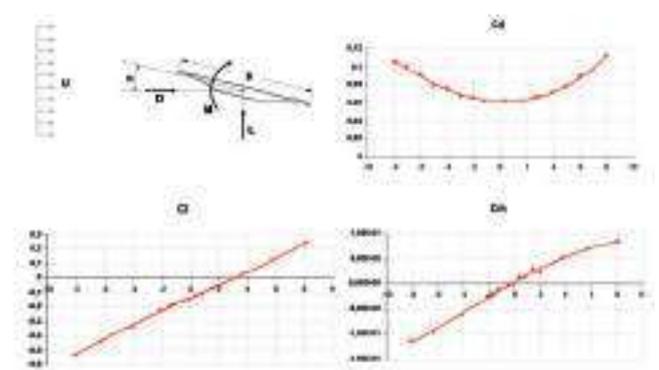
En primer lugar, se realizaron ensayos en el túnel de viento para determinar los coeficientes aerodinámicos del tablero para diferentes ángulos de ataque.

Para ello se empleó un modelo a escala geométrica 1/100, con un ratio longitud-anchura 3:1. El número de Reynolds fue de $2.1E+05$.



A continuación se determinaron las funciones de flameo, las cuales permiten obtener la velocidad crítica de flameo de la estructura empleando la metodología híbrida.

Se ha obtenido una velocidad crítica de flameo muy superior a los valores de viento esperables en la zona.



Conclusiones

El diseño del puente presenta un buen comportamiento frente a las cargas introducidas por el viento.

Los coeficientes aerodinámicos son bajos, y la velocidad de viento para la que se producirían inestabilidades de tipo aeroelástico supera los valores de viento esperables en la zona del emplazamiento.



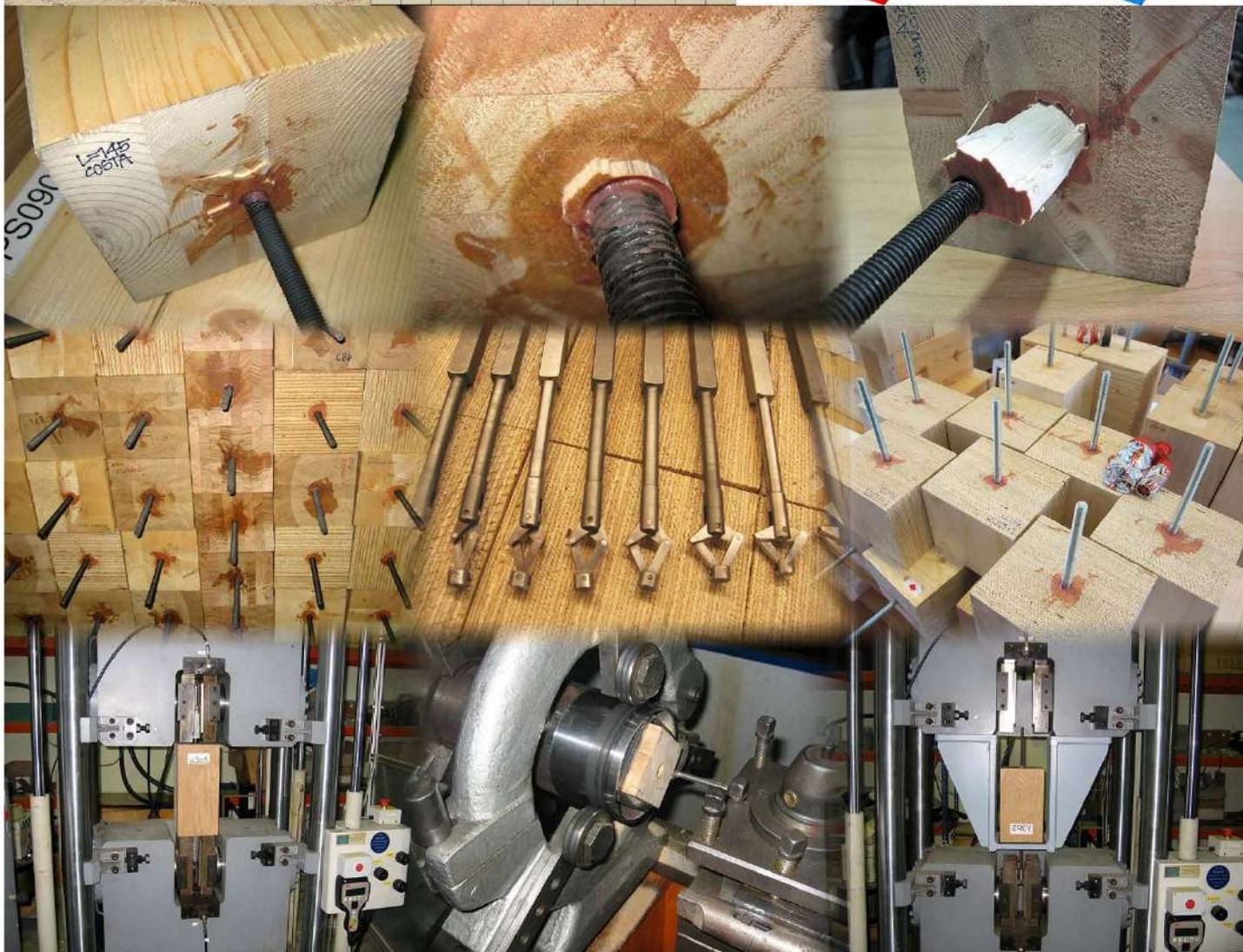
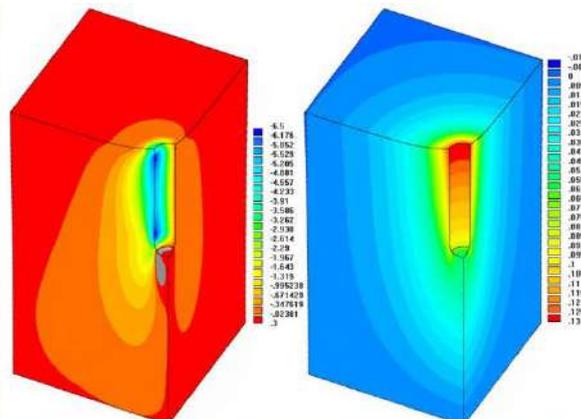
PROYECTOS

Estructuras Arquitectónicas

Objetivos

- Formulación de la capacidad de carga de uniones encoladas de barras roscadas en madera.
- Análisis numérico mediante MEF utilizando sistemas de generación paramétrica.
- Sistemas de mejora de la unión. Patente de anclajes mediante bulbos y multibulbos.
- Análisis experimental a tracción simple y dobles.

Financiación
Proyecto DPI2002-02390. Ministerio de Ciencia y Tecnología
Proyecto 08TMT007116PR. Xunta de Galicia



Autores

J. Estévez Cimadevila (UDC)
E. Martín Gutiérrez (UDC)

D. Otero Chans (UDC)
J.A. Vázquez Rodríguez (UDC)