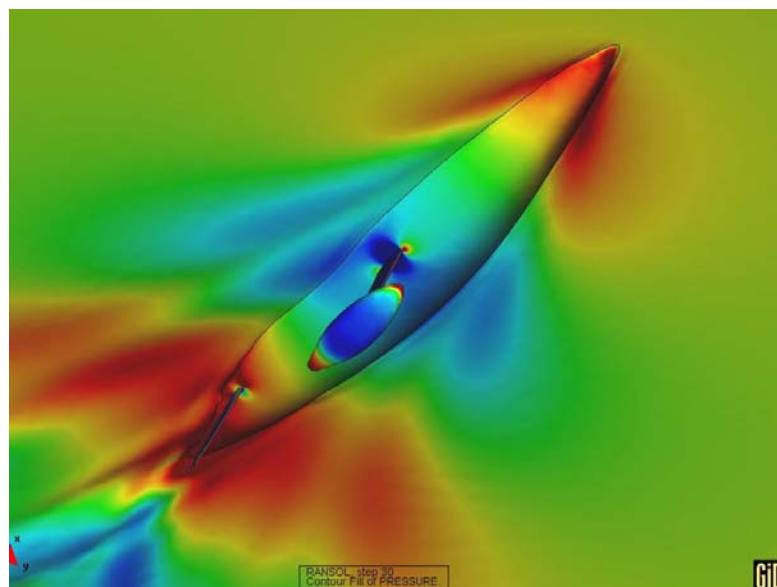


# Desenvolupament d'un nou codi d'elements finits per l'estudi de la hidrodinàmica de vaixells. Aplicacions al disseny de velers de la Copa Amèrica

E. Oñate  
J. García

*Projecte "Premi Duran i Farell de Investigació i Tecnologia"  
de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2004*



# **Desenvolupament d'un nou codi d'elements finits per l'estudi de la hidrodinàmica de vaixells. Aplicacions al disseny de velers de la Copa Amèrica**

*Projecte “Premi Duran i Farell de Investigació i Tecnologia”  
de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2004*

**E. Oñate**

*Departament de Resistència dels Materials i Estructures en Enginyeria  
Escola Tècnica Superior d'Enginyers, Camins, Canals i Ports de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya*

**J. García**

*Department de Ciències i Enginyeria Nàutica  
Facultat de Nàutica de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya*

En col·laboració amb el CIMNE i l'empresa COMPASS Ingeniería y Sistemas S.A.

**Publicació CIMNE N°-257, Setembre 2004**

**Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria**  
Gran Capitá s/n, 08034 Barcelona, Espanya

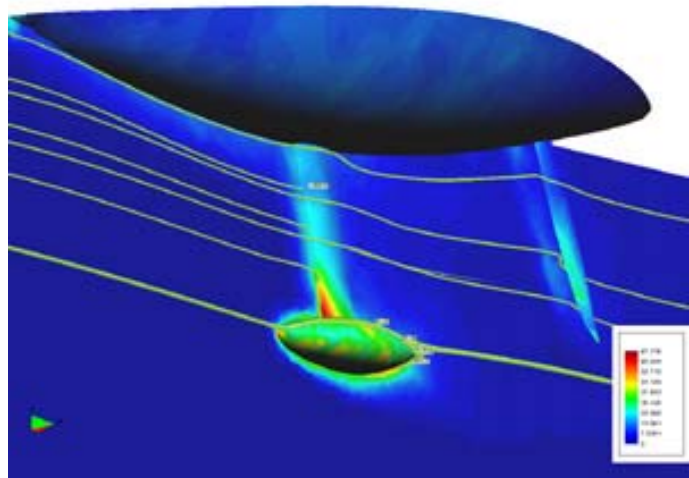
# Index

Resum .....	2
Descripció del projecte TDYN.....	3
Aplicacions pràctiques de TDYN.....	5
Fons econòmics del projecte.....	6
Congrès MARINE 2005 .....	8
Referencias .....	9
Alguns exemples significatius d'aplicació del codi TDYN.....	11

## RESUM

L'objectiu del projecte que es presenta al Quart Premi Duran i Farell de Investigació i Tecnologia és el desenvolupament d'un nou codi de càlcul basat en el mètode dels elements finits per a l'estudi fluido-dinàmic d'embarcacions. El codi permet reproduir de forma virtual amb fidelitat l'anomenat "Canal d'Assaigs Hidrodinàmics" (CAH) utilitzat regularment per l'avaluació experimental de la resistència hidrodinàmica de vaixells. El nou codi, anomenat TDYN, és una alternativa molt més econòmica i precisa als assaigs al CAH, al permetre analitzar el comportament de vaixells a l'aigua a escala real, eliminant, doncs, els errors d'escala usuals en els assaigs experimentals. TDYN incorpora nous models matemàtics i mètodes d'elements finits avançats que han dut a terme nombroses publicacions internacionals. TDYN es va desenvolupar conjuntament per investigadors de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) del Dept. de Resistència de Materials i Estructures de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona i del Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques de la Facultat de Nàutica de Barcelona en el marc de diversos projectes europeus i nacionals duts a terme en col·laboració amb el CIMNE i l'empresa COMPASS, a més a més d'altres empreses de prestigi en el sector naval. TDYN es va aplicar al disseny de diversos velers de la Copa Amèrica (en particular per l'equip del vaixell ALINGHI guanyador a l'edició del 2003). TDYN el comercialitza actualment a tot el món l'empresa COMPASS, una spin-off de la UPC.

Barcelona, 16 de Març de 2004



Càlcul hidrodinàmic amb TDYN del vaixell Bravo España  
(Copa Amèrica 1999)



## DESCRIPCIÓ DEL PROJECTE

### Objectius

L'objectiu del projecte és el desenvolupament d'un codi de simulació per ordinador per preveure amb precisió les forces hidrodinàmiques que es produeixen a l'aigua en un vaixell en moviment. El coneixement d'aquestes forces és essencial pel disseny òptim de les formes del casc i de la maquinaria del vaixell.

El nou codi anomenat TDYN és una alternativa als assaigs experimentals per conèixer el comportament hidrodinàmic d'embarcacions.

Fins fa molt poc, la predicció de les esmentades forces hidrodinàmiques només es podia fer en costosos assaigs experimentals a Canals Hidrodinàmics. Aquests assaigs, típics a l'etapa de disseny dels vaixells, consisteixen en l'arrossegament d'un model reduït del vaixell de forma controlada en un canal, i la mesura de les forces de l'aigua en punts del casc. Mitjançant un procés d'escala, les forces sobre el model permeten conèixer una estimació de les forces hidrodinàmiques al vaixell a escala real. Aquest procés d'escalat, però, té moltes incerteses i errors degut a la no linealitat de les equacions de la dinàmica de fluids.

El codi de càlcul TDYN desenvolupat en aquest projecte és una alternativa més econòmica i fiable que els assaigs a Canals Hidrodinàmics, al permetre reproduir-los a *escala real*, eliminant els errors del procés d'escalat. Una vegada calibrat el codi amb resultats d'assaigs experimentals obtinguts en models reduïts TDYN, es pot fer servir de forma rutinària per conèixer amb precisió el comportament hidrodinàmic de vaixells.

### Rellevància científica

El codi TDYN incorpora avenços molt importants en models de càlcul pel mètode dels elements finits per resoldre les equacions de la fluido-dinàmica d'un vaixell. En particular es destaquen el següents avenços científics duts a terme durant el desenvolupament del projecte:

- 1) Nova formulació de les equacions que governen el moviment d'un fluid viscos (equacions de Navier-Stokes) incorporant mètodes d'estabilització de la solució numèrica mitjançant la tècnica de "càlcul finit" desenvolupada pels Drs. E. Oñate i J. García [refs. 1-4, 6-8]
- 2) Mètode original per incloure els efectes de superfície lliure a les equacions de Navier-Stokes basat en l'esmentada tècnica de càlcul finit desenvolupada per E. Oñate i J. García [6, 7].
- 3) Nou algoritme de passos fraccionats per la solució pel mètode dels elements finits de les equacions hidrodinàmiques d'un vaixell tenint en compte els efectes d'interacció fluid-estructura. La consideració d'aquests efectes permet estudiar amb precisió el moviment del vaixell durant la seva interacció amb el fluid [3].
- 4) Nou procediment pel tractament de les zones de "separació" del fluid en relació al casc en l'estudi de la hidrodinàmica de vaixells. Aquestes zones presenten alts gradients de la velocitat i precisen de mètodes numèrics especials com els desenvolupats pels Drs. E. Oñate i J. García [2, 6-8].

- 5) Nous algorismes per la generació de malles i per la visualització de resultats en problemes d'hidrodinàmica de vaixells. Es destaca que aquests problemes són inherentment tridimensionals i la seva solució exigeix necessàriament la utilització de discretitzacions tridimensionals amb malles de l'ordre del milió d'elements finits tetrahèdrics [6-8].

### **Rellevància tècnica**

Es destaca la tasca duta a terme per l'equip proposant a la **integració** dels diferents mètodes de càlcul esmentats, en un únic codi de càlcul (el codi TDYN) per a l'anàlisi de la hidrodinàmica de vaixells de forma senzilla.

Aquest treball d'integració ha significat l'enllaç dels nous codis de càlcul per elements finits amb potents pre/post processadors que faciliten les tasques de preparació de dades i de visualització gràfica del resultat del càlcul. En aquesta tasca es va fer servir el sistema de pre/post procés GiD desenvolupat per investigadors del Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE). Es destaca que GiD va rebre el Premi Ciutat de Barcelona d'Innovació Tecnològica el 2003 i el IST Award de la CE el 2002.

El codi TDYN resultant d'aquest projecte és des d'Abril de 2003 una eina totalment operativa a nivell industrial. Aquest codi el comercialitza a tot el món l'empresa COMPASS Ingeniería y Sistemas S.A. ([www.compassis.com](http://www.compassis.com)). Aquesta empresa és una spin-off de la UPC a través del Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE) que participa en la mateixa empresa en un 30%.

Durant l'any 2003 el codi va tenir contínues adaptacions o millores que el converteixen en un dels codis més avançats del món per l'anàlisi hidrodinàmic de vaixells.

### **Rellevància econòmica**

El codi TDYN permet realitzar anàlisi hidrodinàmics d'embarcacions a *escala real*, la qual cosa esdevé impossible d'efectuar-se en els Canals d'Assaigs Hidrodinàmics. A Espanya existeix un sol canal d'aquest tipus a Madrid, el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo, de 30 x 300 m. que només permet realitzar assaigs a escala reduïda (típicament  $\frac{1}{4}$  per vaixells esportius i  $\frac{1}{15} - \frac{1}{25}$  per vaixells comercials). Aquests assaigs són molt costosos, tant pel que fa als costos de realització del model a escala com per la realització de l'assaig i pel complex procés de tractament i d'interpretació dels resultats. Mitjançant la utilització de TDYN s'aconsegueix, per tant, importants estalvis a l'etapa de disseny d'embarcacions.

El codi TDYN també és aplicable a molts altres problemes de fluido-dinàmica d'interès industrial, tant en el camp de l'enginyeria naval (anàlisi d'estructures off-shore, anàlisi de canonades al mar, etc.) com en el de l'enginyeria civil (estudi fluidodinàmic de ponts i de ports, problemes medi-ambientals) i l'aeronàutica (aerodinàmica d'avions) entre d'altres.

## APLICACIONES PRÀCTIQUES DE TDYN

El codi TDYN es va aplicar amb èxit els darrers anys (tant durant la fase de desenvolupament com a la més industrial) a l'anàlisi hidrodinàmic de diferents vaixells.

### Etapa de desenvolupament

Durant l'etapa de desenvolupament (1999-2003), TDYN (aleshores anomenat SHYNE, nom que es va donar a la versió de recerca del codi) es va aplicar a l'anàlisi hidrodinàmic de vaixells proposats per l'empresa naval espanyola BAZAN (actualment IZAR). Aquestes anàlisis es varen dur a terme dins dels projectes europeus SHEAKS i FLASH liderats per BAZAN i en els que hi participava el grup proposat (veure referències de projectes europeus a l'apartat següent).

També es va aplicar la versió prototipus de TDYN (obtinguda a partir de desenvolupaments del codi de recerca SHYNE) a l'anàlisi dels vaixells de la Copa Amèrica Rioja de España i Bravo España a proposta de l'empresa Copa América Desafío Español S.A.

En tots aquests casos es va disposar de resultats experimentals obtinguts al Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo. Amb aquests resultats es varen calibrar els models de càlcul de TDYN fins a convertir-lo en un codi precís i robust.

### Etapa de industrialització

La primera versió industrial de TDYN, finalitzada la tardor del 2002 es va aplicar amb èxit a l'anàlisi d'embarcacions de vela que varen participar a la Copa Amèrica 2004. Aquests vaixells varen ser el GBR (patrocinat pel Sindicat de Copa Amèrica Britànic) i l'Alinghi (patrocinat pel Sindicat Suïss). Les anàlisis les varen realitzar personal tècnic dels Sindicats esmentats, que varen adquirir TDYN amb la col·laboració de l'empresa COMPASS.

Com és ben sabut el **vaixell Alinghi va guanyar la Copa Amèrica 2003**. Actualment s'està negociant la utilització de TDYN per part de diversos Sindicats que participaran a la propera edició de la Copa Amèrica que es farà a Espanya (a València) l'any 2007.

### Comercialització de TDYN

Com es va comentar en apartats precedents, TDYN el comercialitza arreu del món, des d'Abril de 2003, l'empresa COMPASS Ingeniería y Sistemas SA ([www.compassis.com](http://www.compassis.com)). Aquesta empresa creada en 2002 és una *Spin-off* de la UPC. A més de la seva aplicació intensiva a problemes d'enginyeria naval, àrea en la que TDYN és un dels codis més competitiu, TDYN s'aplica de manera quotidiana per a la solució de problemes de dinàmica de fluids en àrees molt diverses de l'enginyeria aeronàutica, mecànica i civil, entre d'altres. Entre les aplicacions recents més destacades de TDYN cal mencionar l'anàlisi aerodinàmic de velers (veure l'últim exemple d'aquest document), l'estudi aerodinàmic d'avions i vehicles automotors, problemes d'aerodinàmica interna (ventilació, climatització, etc.) i problemes de interacció fluid-estructura.

## **FONS ECONÒMICS DEL PROJECTE**

El projecte de desenvolupament de TDYN es va dur a terme amb fons provenint dels següents projectes europeus i nacionals. El pressupost es refereix a la part desenvolupada pel grup dels Profs. E. Oñate i J. García.

### **SHEAKS, “Development of a computer based system for enhanced sea-keeping and structural ship design”**

Programa: BRITE/EURAM

Ref.: BRPr-CT97-0605

Organisme/Entitat Finançadora: CEE

Data d'inici: 1/12/1997

Data final: 15/2/2001

### **FLASH, “HPCN tools for enhanced hydrodynamic design of fast ships on parallel computing platforms”**

Programa: ESPRIT

Ref.: EP-24903

Organisme/Entitat Finançadora: CEE

Data d'inici: 15/10/1997

Data final: 15/01/2001

### **FANTASTIC, “Functional design and optimisation of ship hull forms”**

Programa: GROWTH

Ref.: G3RD-CT-2000-00096

Organisme/Entitat Finançadora: EUROPEAN COMMISSION

Data d'inici: 1/07/2000

Data final: 30/06/2003

### **EXPRO-CFD, “Computational fluid dynamics for offshore exploration and production platforms”**

Programa: GROWTH

Ref.: G3RD-CT-2000-00308

Organisme/Entitat Finançadora: European Commission

Data d'inici: 1/02/2001

Data final: 31/01/2004

### **MARNET-CFD, “A Thematic Network in computational fluid dynamics for the Marine Industry”**

Programa: BRITE

Ref.: brrt-ct98-5058

Organisme/Entitat Finançadora: EUROPEAN COMMISSION

Data d'inici: 1/10/1998

Data final: 30/09/2001

**DISVEL, “Sistema automatizado de diseño y fabricación de embarcaciones deportivas”**

Programa: ATYCA

Ref.: P0316/1997

Organisme/Entitat Finançadora: M° DE INDUSTRIA Y ENERGIA

Data d'inici: 24/10/1997

Data final: 31/12/1999

**SABOR, “Sistema Experto integrado para determinar las consecuencias medio-ambientales y de seguridad del abordaje entre buques**

Programa: ATYCA

Ref.: P54/1997

Organisme/Entitat Finançadora: M° DE INDUSTRIA Y ENERGIA

Data d'inici: 24 10 1997

Data final: 31 12 2000

A més a més es va comptar amb finançament provenint del Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE), de l'empresa COMPASS, principalment per les fases finals de personalització i d'industrialització de TDYN.

El cost total estimat del desenvolupament del codi TDYN des del seu inici el 1997 fins la finalització de la darrera versió industrial del codi l'Abril de 2003 va ser d'uns 800.000 €.

Destaquem finalment que el desenvolupament del codi TDYN és un procés continuat. Actualment es continuen a la UPC i al CIMNE els desenvolupaments de mètodes numèrics més avançats per millorar aspectes com la modelització més precisa dels efectes de la turbulència, la reproducció de fenòmens de trencament d'ones i d'entrada d'aigua a l'interior del vaixell (fenomen de green-water) i la millora general de l'eficiència computacional de manera que es puguin utilitzar malles d'alguns milions d'elements finits en temps raonables (menys d'una hora de CPU per un càlcul hidrodinàmic tridimensional). Això permetrà utilitzar TDYN amb efectivitat per l'optimització de formes de vaixells, lo que requereix realitzar nombrosos càlculs hidrodinàmics successius de forma automàtica fins que es trobi la forma òptima.

## CONGRÈS MARINE 2005

Es destaca que els Drs. E. Oñate i J. García són els organitzadors del primer Congrés sobre “Computational Methods in Marine Engineering” (MARINE 2005) que es farà a Oslo del 27 al 29 de Juny de 2005. El congrés s’organitza conjuntament amb el Dr. Pal Bergan (Director de R+D de l’empresa Det Norske Veritas [DNV]) i el Dr. Trond Kvamsdal (Investigador de SINTEF). En aquest congrés es presentaran aplicacions de TDYN.

L’empresa DNV és una de les principals del món en l’àmbit de la classificació de vaixells i de la consultoria en enginyeria naval i off-shore. El SINTEF és l’organisme principal de R+D de Noruega i agrupa uns 6.000 investigadors.

La organització del congrés és el resultat de la col·laboració entre els Drs. E. Oñate i J. García, l’empresa DNV i el SINTEF. Aquesta col·laboració es va traduir en la realització conjunta de nombrosos projectes de R+D en els que es van utilitzar versions de TDYN.

Està previst que la segona edició del congrés es faci a la Universitat Politècnica de Catalunya el 2007, any en que la Copa Amèrica es farà a València.

S’adjunta un folletó amb informació del congrés MARINE 2005.

## REFERÈNCIES

Es presenten les publicacions més significatives relacionades amb el projecte proposat.

Es destaca que en base a les diferents contribucions científiques en el camp del projecte els Drs. E. Oñate i J. García varen ésser convidats a escriure un capítol a la *Encyclopedia of Computational Mechanics* que properament editarà la editorial John Wiley (3 volums) (veure referència [8]).

### *Capítols en Llibres*

#### **1. Oñate E., García J. and Idelsohn S.**

An alpha-adaptive approach for stabilized finite element solution of advective-diffusive problems with sharp gradients

*New Advances in Adaptive Computational Methods in Mechanics*

P. Ladeveze and J.T. Oden (Eds.), Elsevier, 1998

#### **2. Oñate E. and García J.**

A finite element method for fluid-structure interaction with surface waves

*Trends in Computational Structural Mechanics*

W. A. Wall, K.-U. Bletzinger and K. Schweizerhof (Eds.), CIMNE, Barcelona, Spain 2001

#### **3. Oñate E., García J., Bugeda G. and Idelsohn S.R.**

A general stabilized formulation for incompressible fluid flow using finite calculus and the finite element method

*Towards a New Fluid Dynamics with its Challenges in Aeronautics*

J. Périaux, M. Champion, B. Stoufflet, J.J. Gagnepain, Ph. Thomas and O. Pironneau (Eds.), CIMNE, Barcelona, Spain, 2002

### *Articles en Revistes*

**4. Oñate E., García J. and Idelsohn S.**

Computation of the stabilization parameter for the finite element solution of advective-diffusive problems

*International Journal for Numerical Methods in Fluids*

Vol. 25, pp. 1385-1407, 1997

**5. López Rodríguez M., García Espinosa J. y Oñate E.**

Optimización de embarcaciones de recreo mediante la utilización de un código CFD

*Ingeniería Naval*

No. 784, pp. 122-130, 2001

**6. Oñate E. and García J.**

A finite element method for fluid-structure interaction with surface waves using a finite calculus formulation

*Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*

Vol. 191, Issue 6-7, pp. 635-660, 2001

**7. García Espinosa J. and Oñate E.**

An unstructured finite element solver for ship hydrodynamics problems

*Journal of Applied Mechanics*

Vol. 70, pp. 18 - 26, January 2003

**8. Oñate E., García J. and Idelsohn S.R.**

Ship hydrodynamics

To be published in *Encyclopedia of Computational Mechanics*, E. Stein, R. de Borst and T.J.R. Hughes (Eds.), John Wiley & Sons Ltd, 48 pp., 2004

### *Articles en Actes de Congressos*

**9. Oñate E. and García J.**

A stabilized finite element method for analysis of fluid-structure interaction problem involving free surface waves

Proceedings of the International Symposium on Computational Methods for Fluid-Structure Interaction (FSI'99)

T. Kvamsdal et al (Eds.), Trondheim, Norway, pp. 163 - 176, 15 - 17 February, 1999

**10. García Espinosa J. y Oñate E.**

Un método estabilizado para análisis de problemas de interacción fluido estructura con superficie libre  
Congreso sobre Métodos Numéricos en Ingeniería, Sevilla, 7-10 Junio 1999

R. Abascal, J. Domínguez y G. Bugada (Eds.), Semni, 1999

**11. Oñate E. and García Espinosa J.**

A methodology for analysis of fluid structure interaction accounting for free surface waves

European Conference on Computational Mechanics (ECCM'99)

August 31 - September 3, München, Germany, 1999

**12. Oñate E. and García J.**

A stabilized finite element method for incompressible flow using a finite increment calculus formulation

European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2000), Barcelona, 11-14 September 2000

**13. Oñate E. and García J.**

A finite element method for fluid-structure interaction with surface waves  
European Conference on Computational Mechanics (ECCM 2001)  
Cracow, Poland, June 26-29, 2001

**14. Oñate E. and García J.**

Finite element analysis of incompressible flows with free surface waves using a finite calculus formulation  
ECCOMAS Computational Fluid Dynamics Conference (ECCOMAS CFD 2001)  
Swansea, Wales, UK, 4-7 September 2001

**15. Alonso-Pardo B., García Espinosa J., Papanikolaou A., Pérez de Lucas A. and Oñate E.**

Sheaks project: A development and experimental validation of numerical methods for seakeeping analysis  
International conference on Applied Simulation and Modelling (ASM 2002)  
Crete, Greece, June 25-28, 2002

**16. García J. and Oñate E.**

Advances in the finite element analysis of ship hydrodynamics problems  
Fifth World Congress on Computational Mechanics (WCCM V)  
H. A. Mang et al (Eds.), Vienna, Austria, July 7 - 12, 2002

**17. García Espinosa J., Luco-Salman R., López-Rodríguez M. and Oñate E.**

An advanced finite element method for fluid-dynamic analysis of America's cup boat  
Presented at the High Performance Yatch Design Conference  
Auckland, 4 - 6 December, 2002

**18. García Espinosa J. and Oñate E.**

Fluid dynamic analysis of America's Cup boats including dynamic sinkage and trim effects  
Marnet-CFD Workshop  
Portsmouth, UK, 20-21 March 2003

**19. García-Espinosa J., Oñate E. and Helmers J.B.**

Un método FEM para el análisis de la extinción del movimiento de balance  
Congresso sobre Métodos Computacionais em Engenharia  
Lisboa, Portugal, 31 de Maio – 2 de Junho, 2004

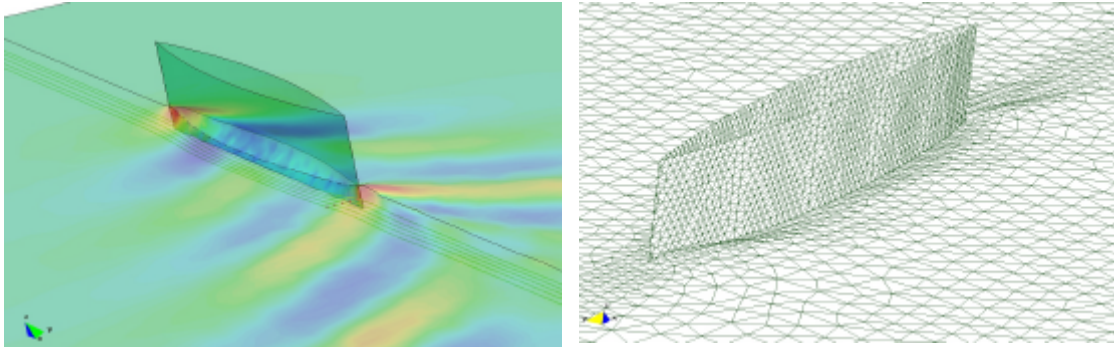


## ALGUNS EXEMPLES SIGNIFICATIUS D'APLICACIÓ DEL CODI TDYN

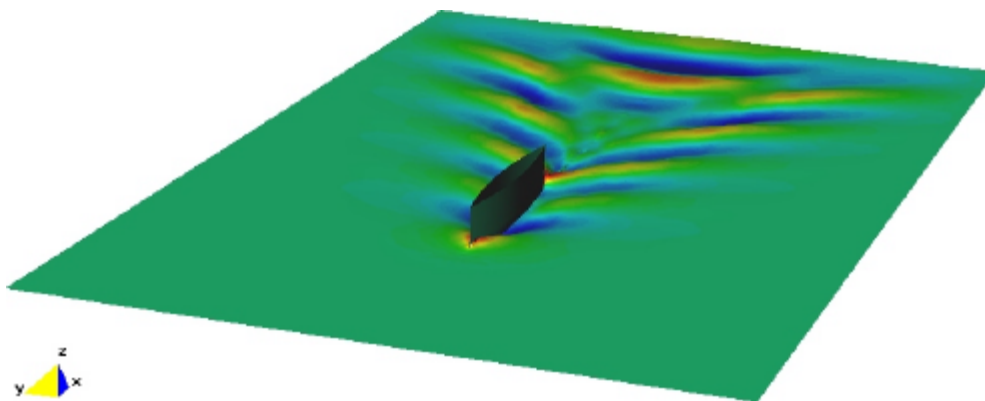
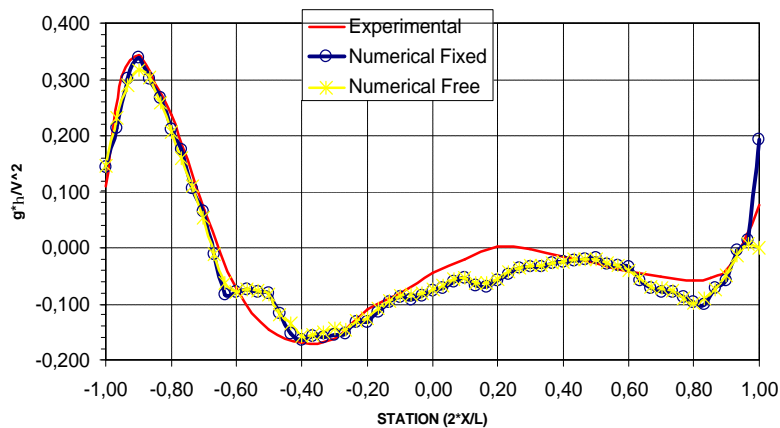
Es presenten, a mena d'exemples, alguns exemples significatius d'aplicació del codi TDYN. Es poden trobar més detalls d'aquests exemples a les publicacions que s'adjunten.

### Anàlisi d'un vaixell Wigley

Aquest estudi es va realitzar per validar la formulació numèrica amb resultats experimental obtinguts als Canals d'Assaigs. El vaixell Wigley és una referència coneguda per aquest tipus de validacions. L'anàlisi es va realitzar utilitzant una malla d'elements finits no estructurada de 65434 tetràedres. Les figures mostren alguns resultats del càlcul. Per a més informació consultar les publicacions [6, 8].



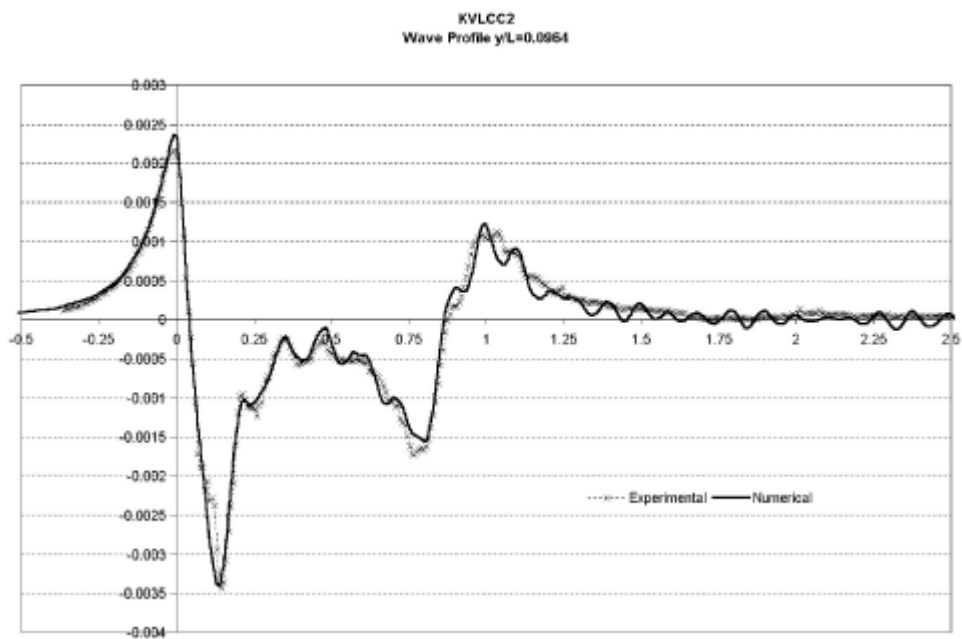
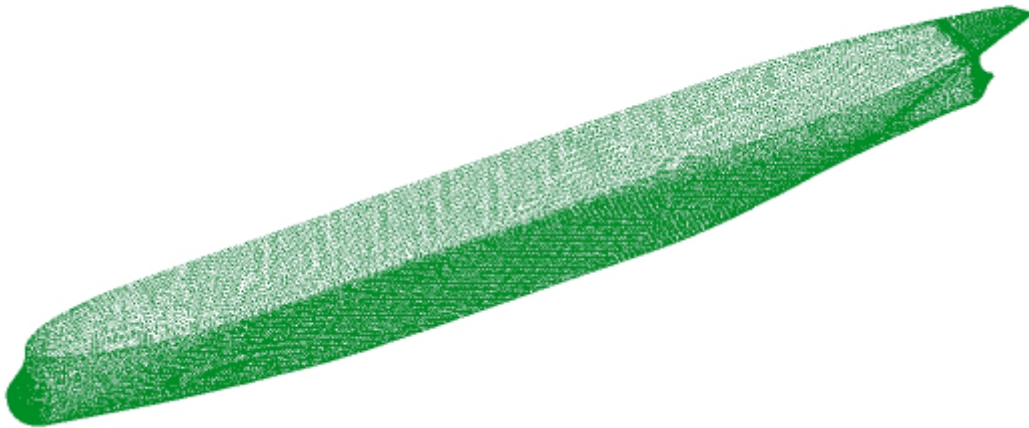
WIGLEY BODY WAVE PROFILE



Resultats de l'anàlisi hidrodinàmic del vaixell Wigley amb el codi TDYN

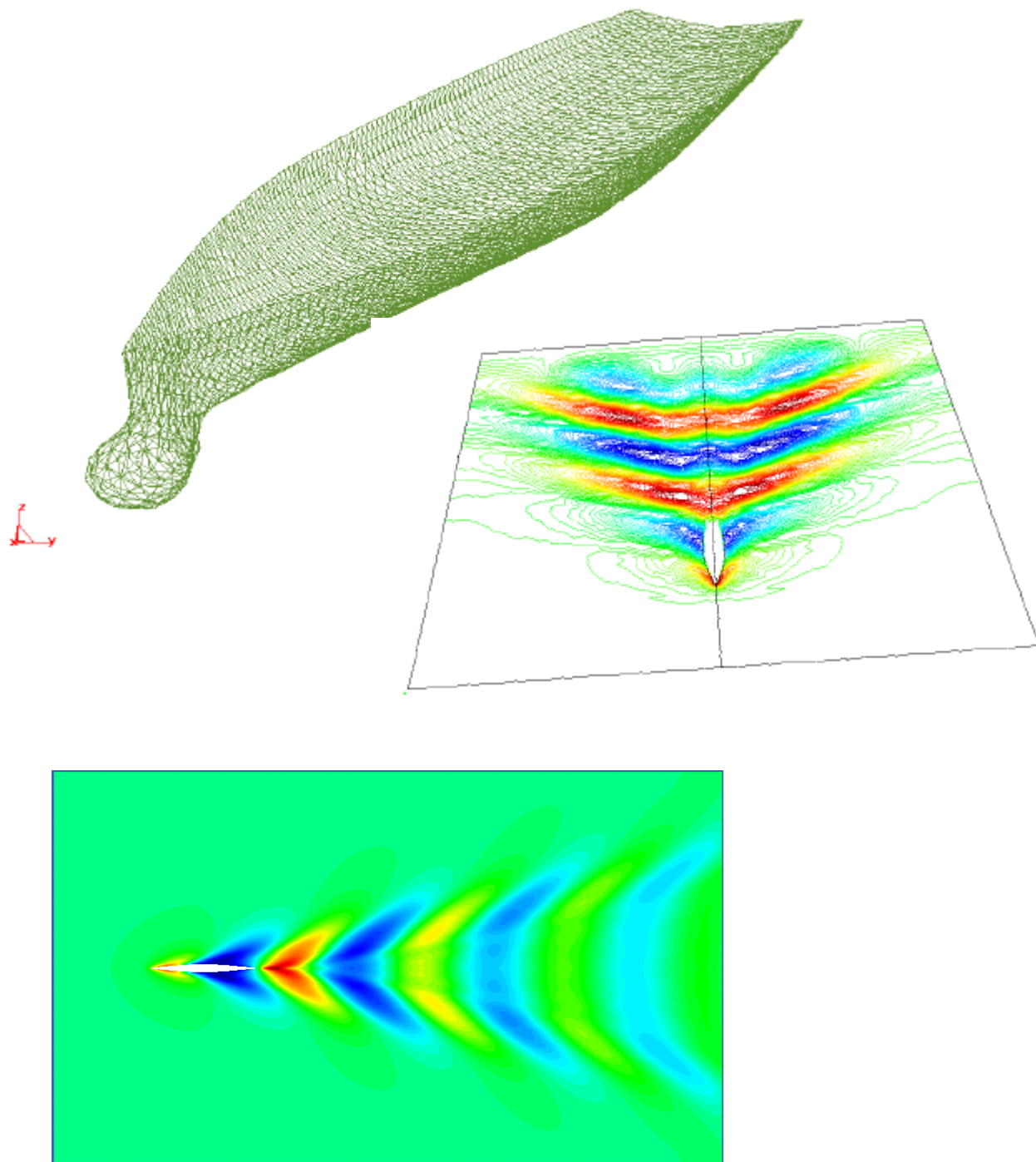
## Anàlisi de dos vaixells de càrrega

El primer estudi d'un vaixell de càrrega que es presenta es va proposar com un test de validació pel Korean Institut of Ship Hydrodynamics (KISH) que proporciona els resultats experimentals obtinguts al Canal d'Assaigs. L'anàlisi amb TDYN va incloure en aquest cas 550.000 tetràedres per modelitzar el Canal d'Assaigs Virtual.



**Discretització del casc del vaixell del KISH en elements finits i comparació de la distribució del perfil d'ones obtingudes amb TDYN i amb resultats experimentals**

El segon vaixell de càrrega que es presenta va ser analitzat al David Taylor Model Basin (DTMB) en USA. A les figures següents es mostren alguns resultats dels mapes d'ones obtingudes. La comparació dels resultats numèrics amb els experimentals va ser molt bona. Per a més informació consultar les publicacions [6, 8].

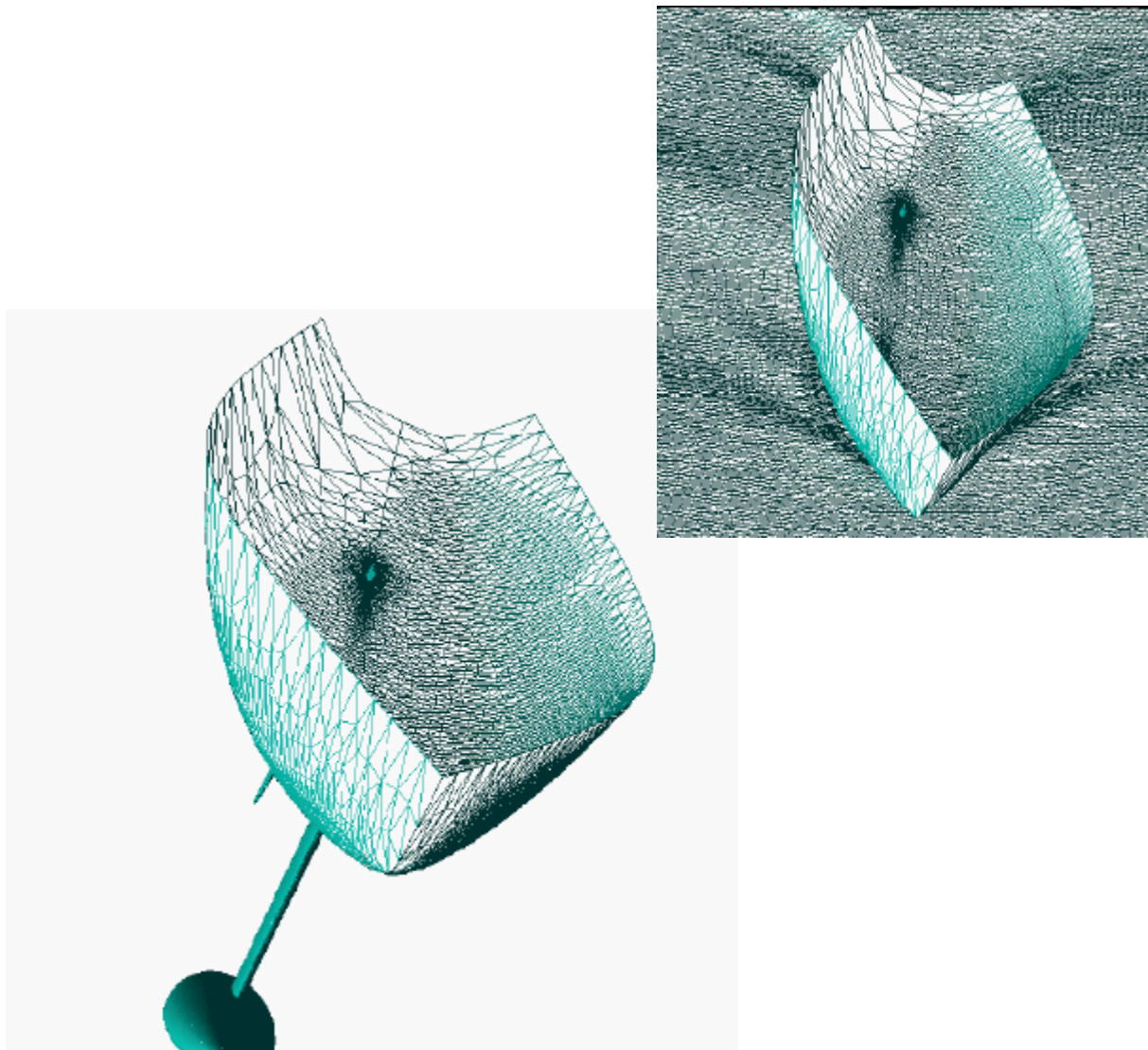


**Discretització en elements finits del vaixell proposat pel DTMB. Mapes d'ones obtingudes amb TDYN**

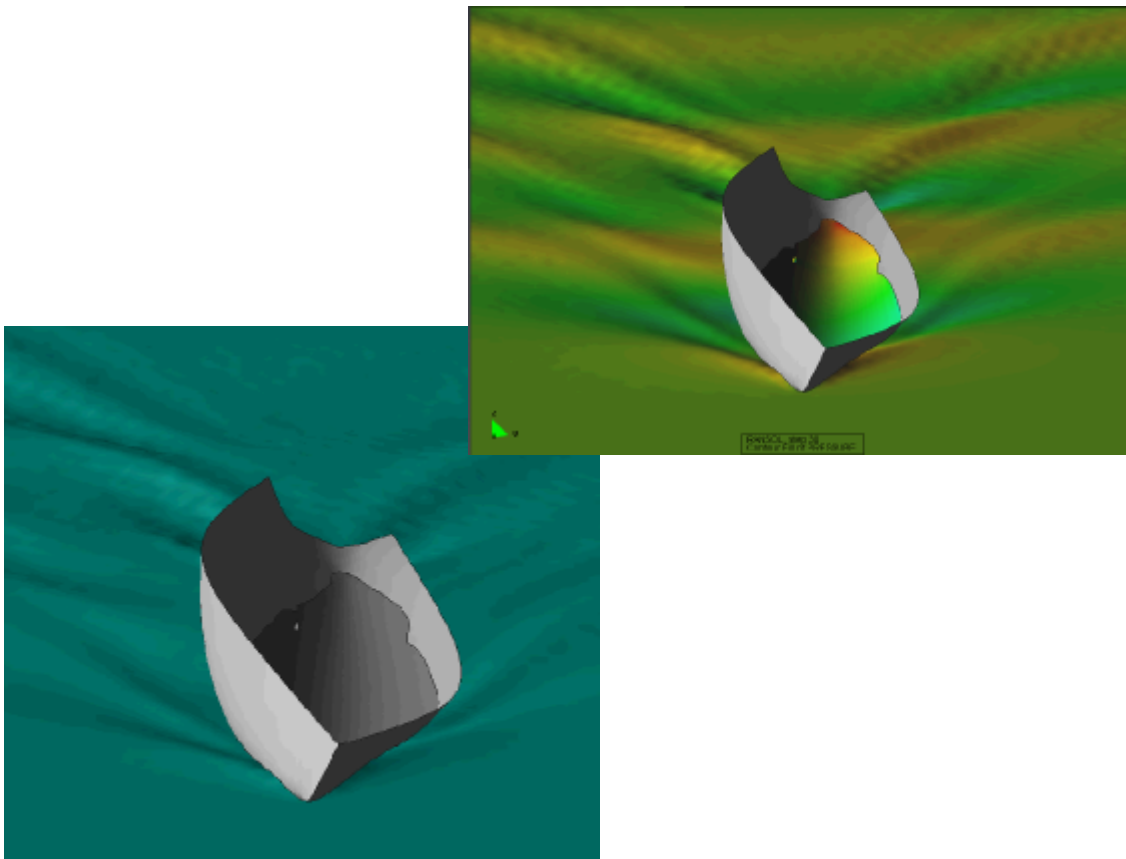
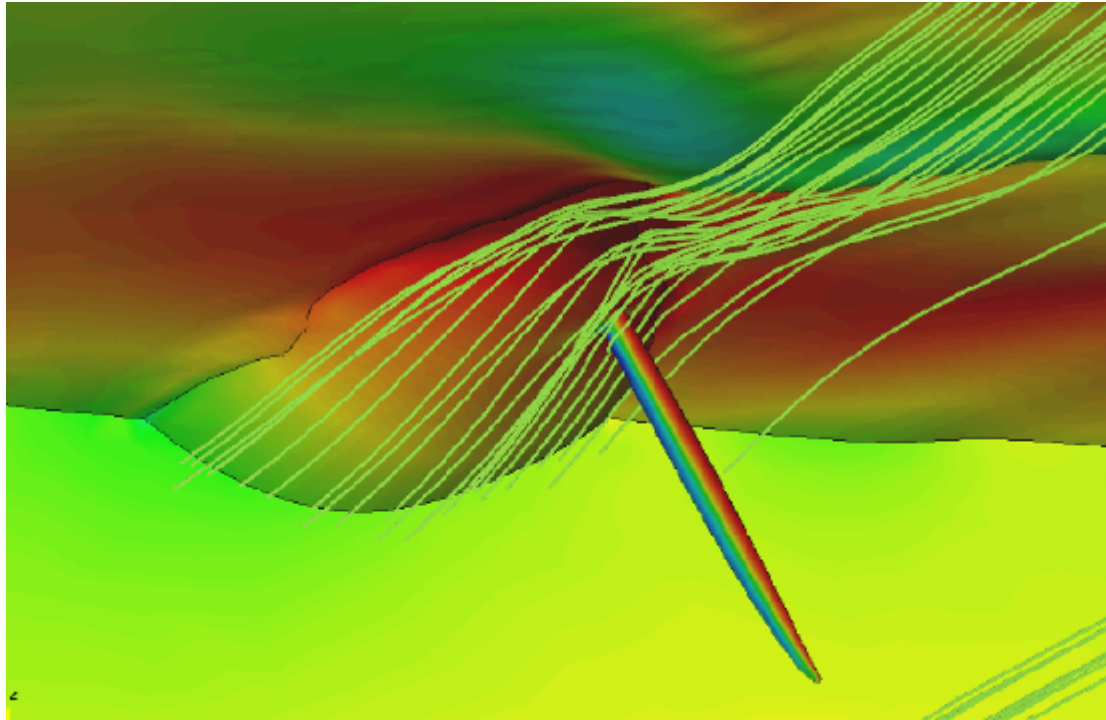
## Anàlisi del veler Rioja de España de la Copa Amèrica (1995)

En aquest estudi es va analitzar la hidrodinàmica del veler Rioja de España que va participar a l'edició de la Copa Amèrica de 1995. Els resultats obtinguts amb TDYN es varen comparar amb resultats experimentals obtinguts al Canal de Experiencias Hidrodinàmicas de El Pardo (Madrid).

Les figures mostren alguns resultats de l'estudi en el que es va obtenir una bona correlació entre les forces hidrodinàmiques obtingudes amb TDYN amb els resultats experimentals [6, 8, 18].

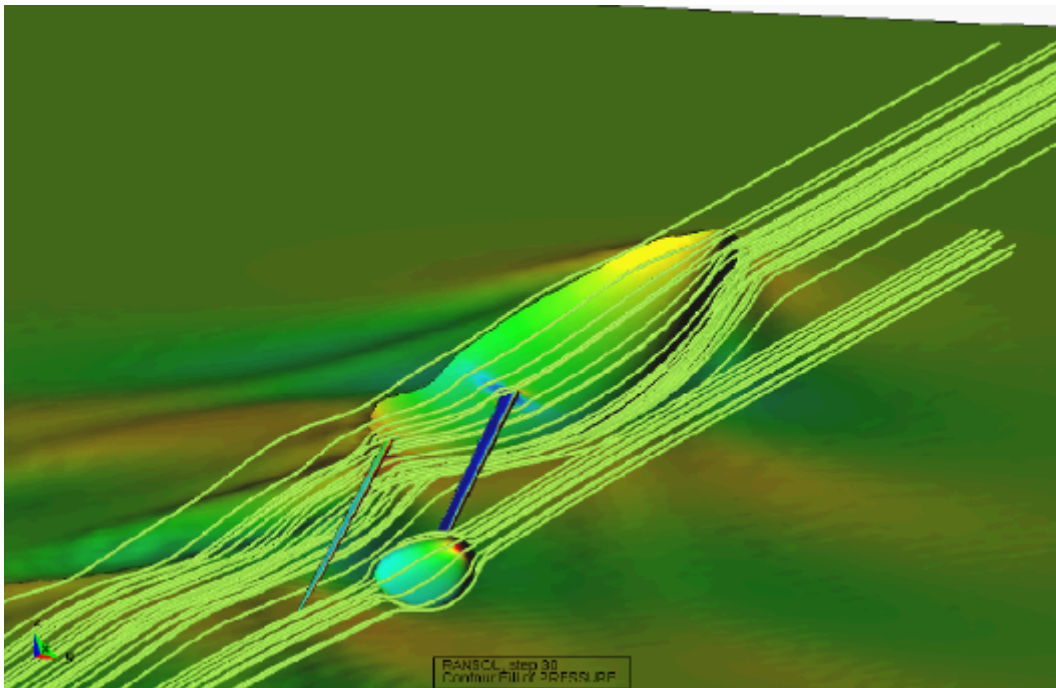
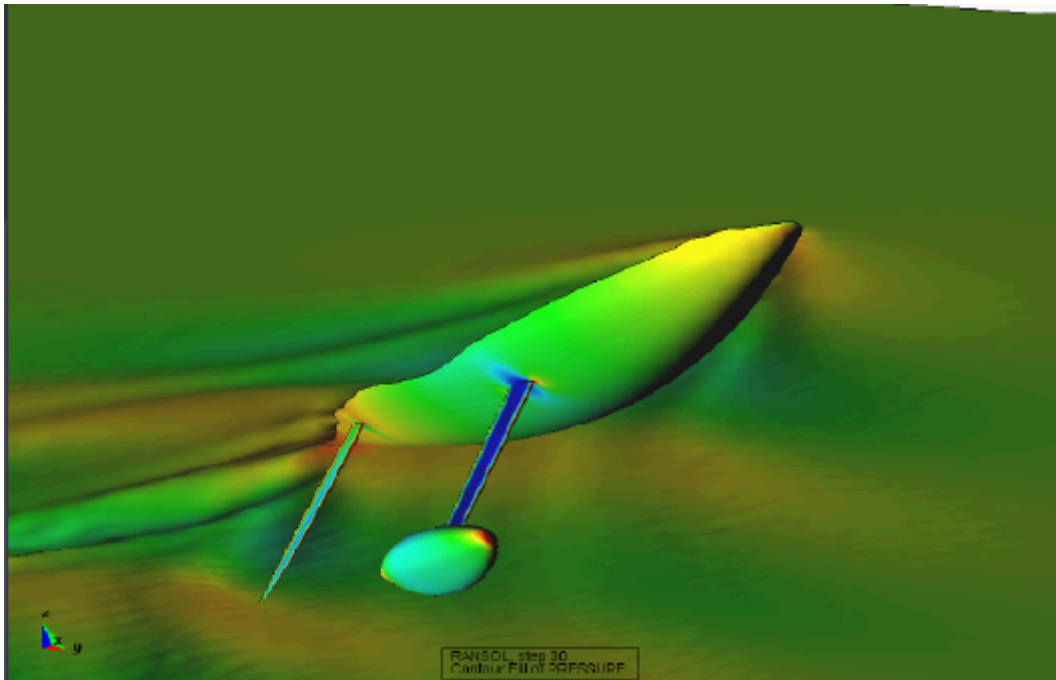


**Anàlisi hidrodinàmica del vaixell Rioja de España. Discretització del casc en elements finits**

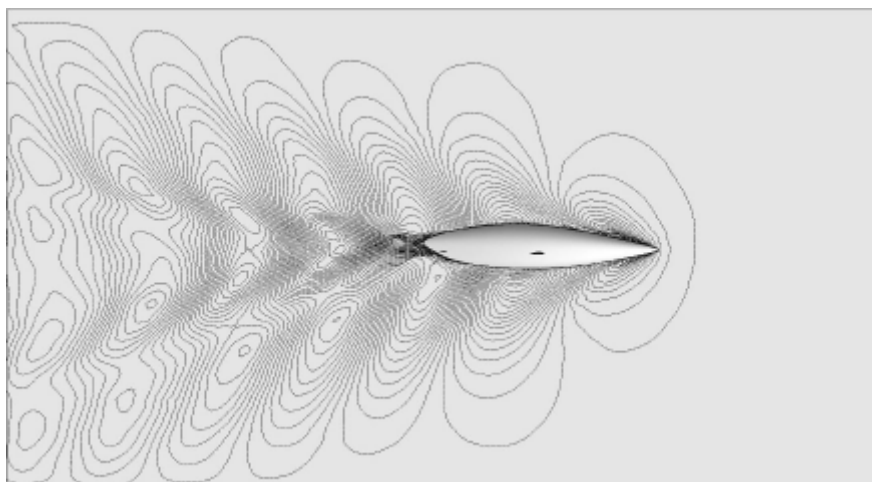
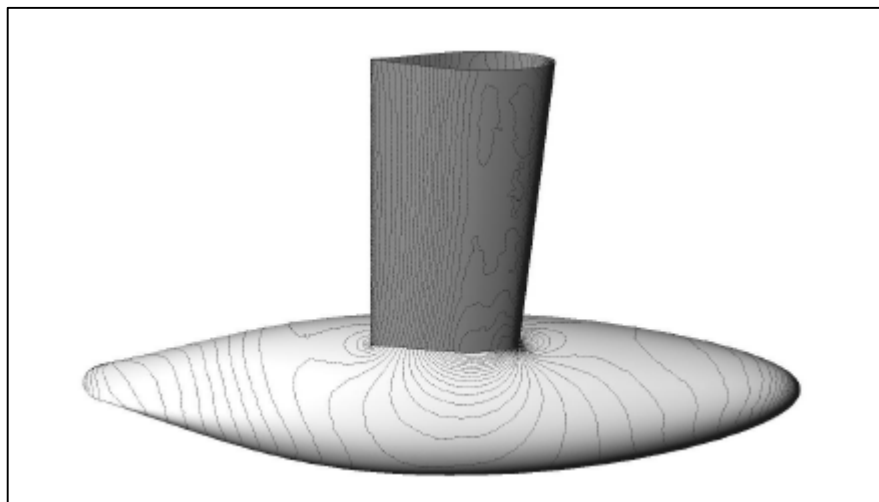
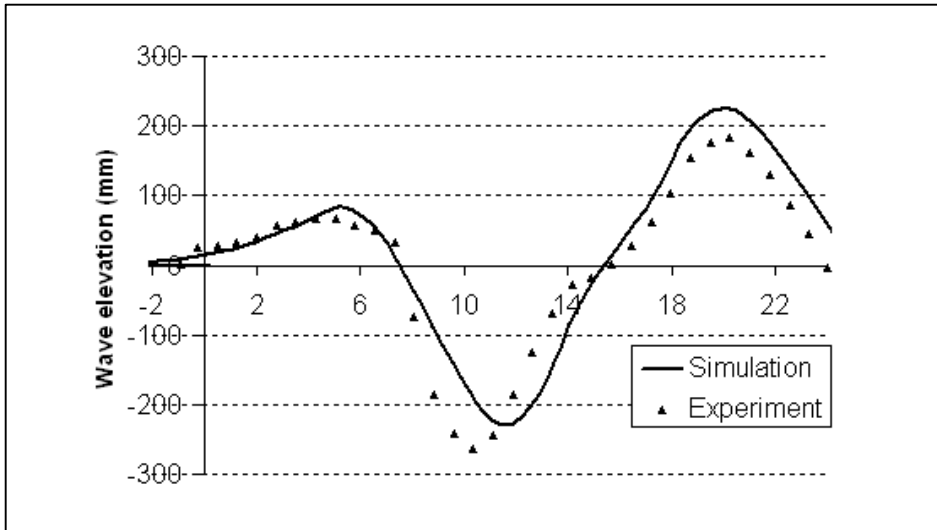


**Resultats de l'anàlisi hidrodinàmic del vaixell Rioja de España amb TDYN**





**Resultats de l'anàlisi hidrodinàmic del vaixell Rioja de España**

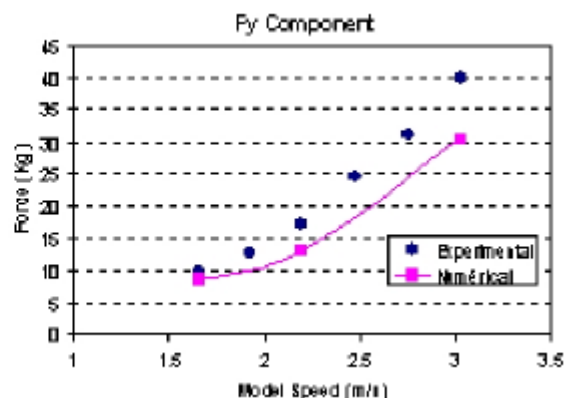
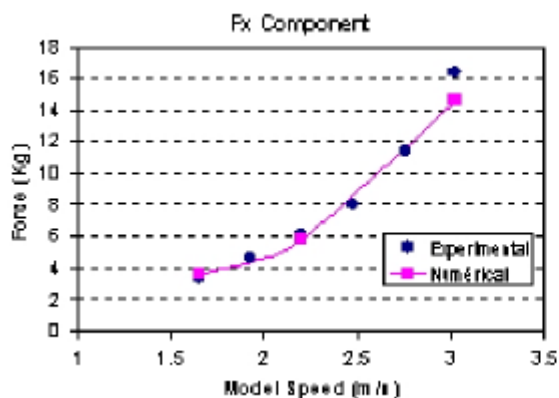
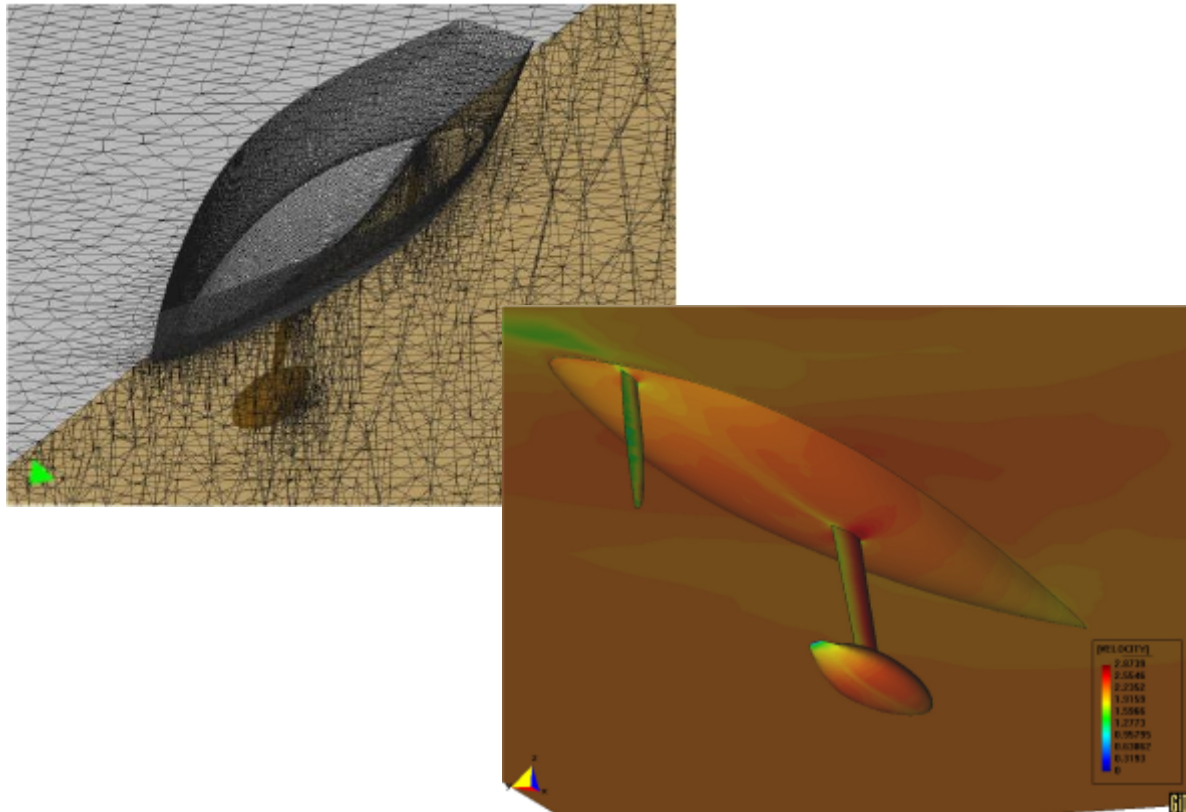


**Distribució d'ones obtingudes amb TDYN i amb assaigs experimentals. Perfils d'ones en els apèndixs i en la superfície de l'aigua**

## Anàlisi del veler Bravo España de la Copa Amèrica (1999)

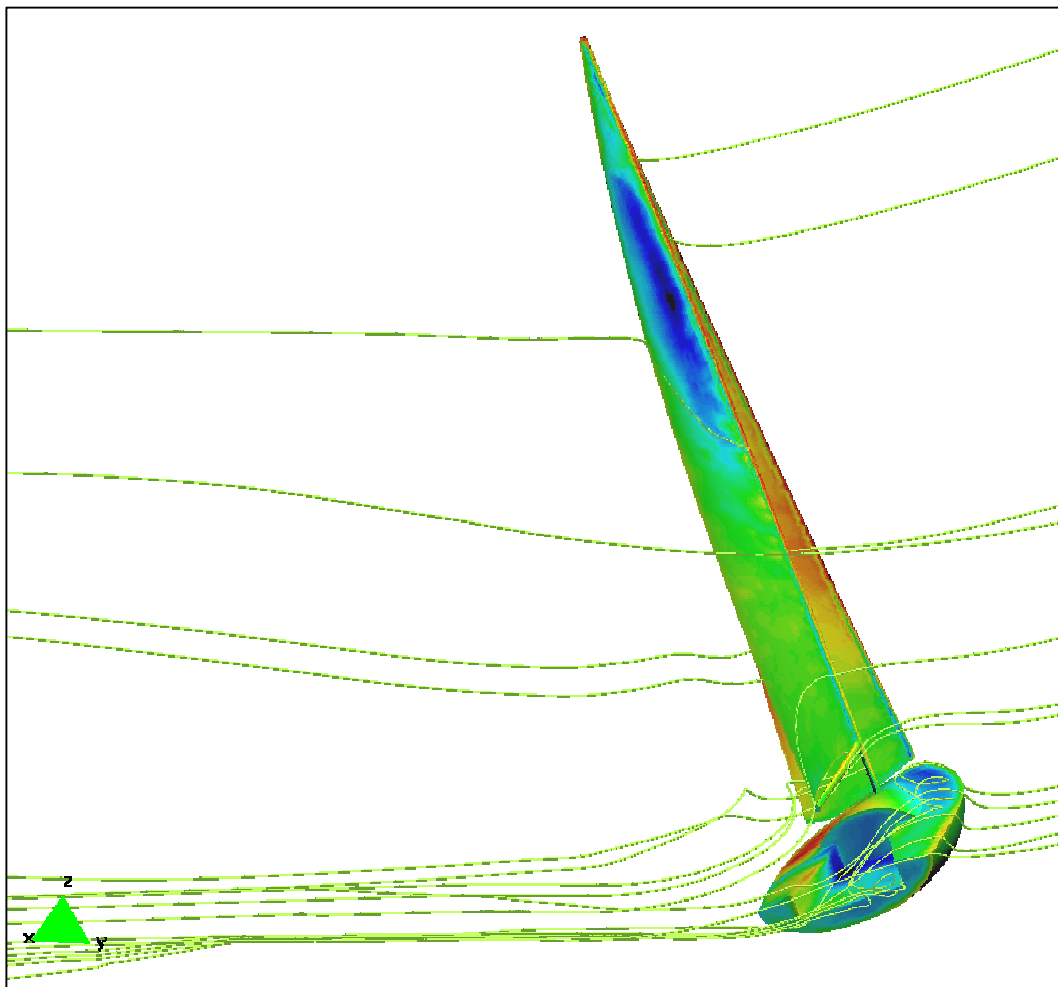
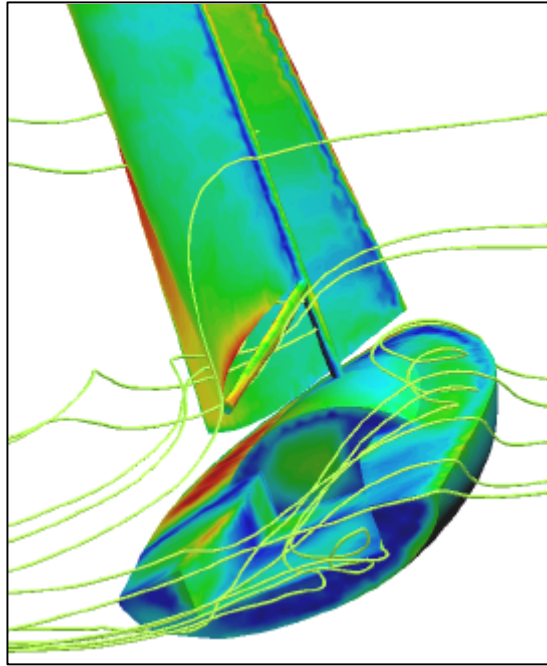
El darrer exemple mostra alguns resultats de l'anàlisi realitzat amb TDYN de la hidrodinàmica del veler Bravo España que va participar a la Copa Amèrica de l'any 1999. Novament es va obtenir una molt bona concordància entre els resultats de TDYN i els experimentals obtinguts al Canal d'Assaigs utilitzant un model a escala [6, 8, 18].

Com ja s'ha mencionat el codi TDYN es va utilitzar també pel disseny del casc dels vaixells Alinghi i GBR de la Copa Amèrica 2003. Els resultats d'aquests estudis és encara confidencial.

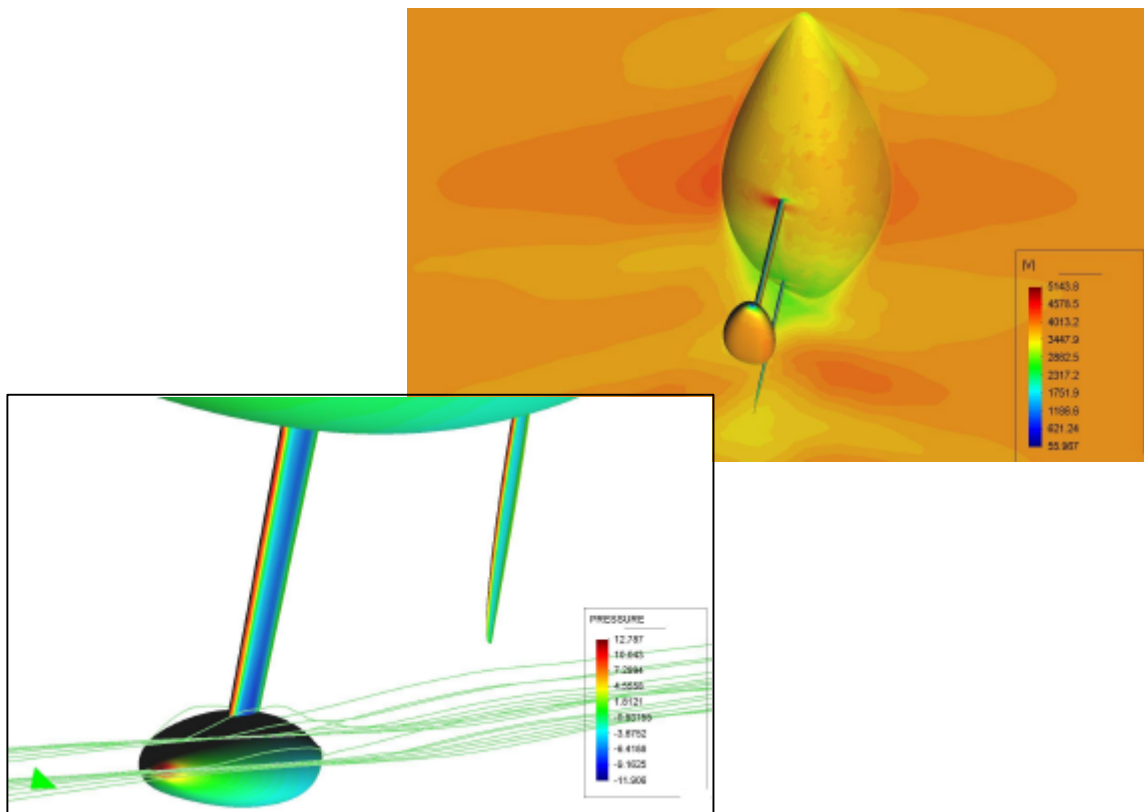
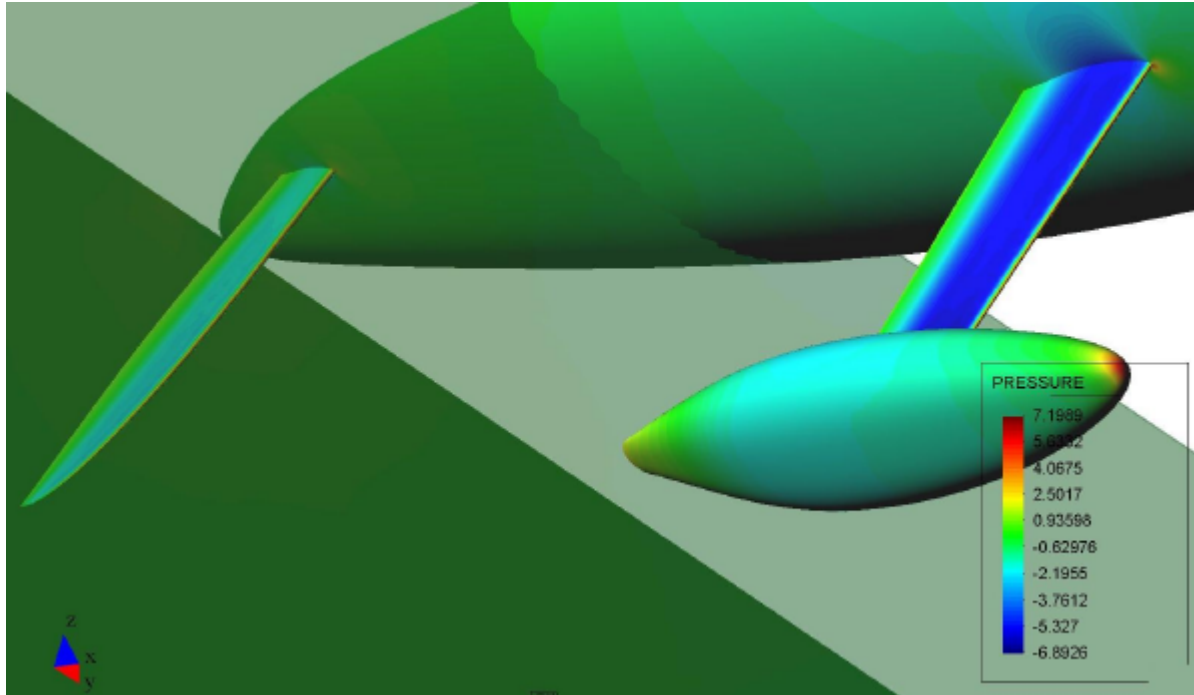


## Anàlisi hidrodinàmica del vaixell Bravo España. Discretització en elements finits. Força de l'aigua sobre el casc. Resultats numèrics i experimentals





**Primers resultats obtinguts en l'aplicació de TDYN a l'estudi de l'aerodinàmica de velers**



Detalls de l'anàlisi hidrodinàmic del Bravo España amb TDYN