



Modelado DAECs - AUTOMAR-2010



IV JORNADAS DE AUTOMÁTICA MARÍTIMA - AUTOMAR 2010

Centro Tecnológico Naval y del Mar (Murcia)

21-22 de octubre de 2010

Modelado y Simulación de Dispositivos Fondeados para el Aprovechamiento de la Energía de las Corrientes Marinas

Amable López Piñeiro

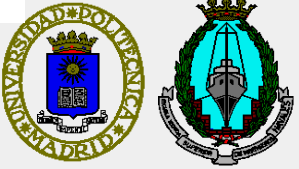
José Andrés Somolinos Sánchez

Luis Ramón Núñez Rivas

Miguel Santamaría Romojaro

Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales

Departamento de Sistemas Oceánicos y Navales

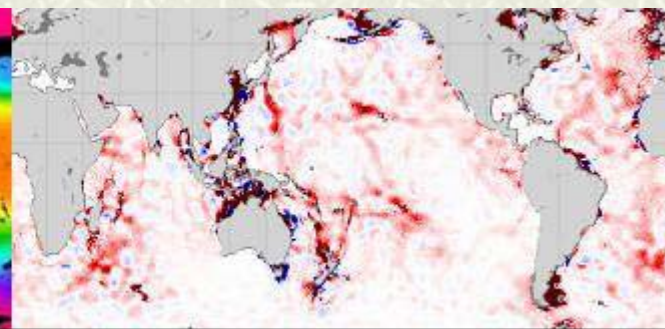
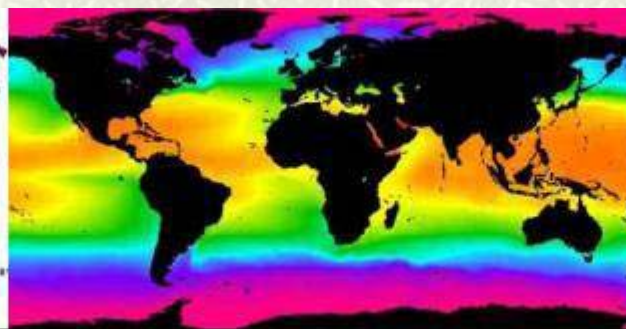


Contenido de la Presentación

- Interés del aprovechamiento de las ERM
- Estado del arte y tipos de DAECs más significativos
- Descripción del generador GESMEY (video)
- Modelado y simulación de DAECs fondeados:
 - Comportamiento hidrodinámico de la estructura y del rotor
 - Funcionamiento del dispositivo en operación
 - Maniobras de inmersión y emersión
 - Sistema electromecánico de potencia (PTO)

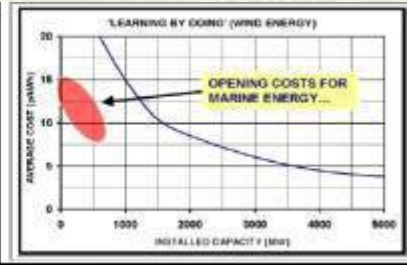
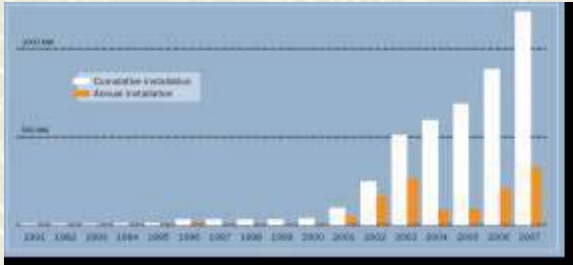
Alternativas de las Energías Renovables Marinas (ERMs)

- Océanos → 70% superficie Tierra
- $1,5 \cdot 10^{10}$ m³ de agua (colector y acumulador de energía)
- Diferentes tipos de energías
- Lugares con alta densidad de energía
- Distancia considerable a las redes eléctricas
- Mayores costes de instalación y mantenimiento
- Energía eólica offshore
- Energía de las Olas (unidimotriz)
- E. Potencial de las mareas (mareomotriz)
- E. de las Corrientes Marinas (ECM)
 - Inerciales Corriente del Golfo
 - E. cinética de las mareas
- OTEC (gradiente térmico)
- Energías Osmótica (gradiente salino)
- Biomasa Marina



Situación actual de las ERM

Madured de la Eólica Offshore



Diversidad de proyectos y tecnologías para la E. Undimotriz

Problema: supervivencia ante tormentas

Evolución de la Mareomotriz (presas) a la de las Corrientes (turbinas)



Figure 16 2 MW Archimedes Wave Swing prototype (Picture from INETI)



Figure 17 Aerial view of a farm of Pelamis devices (Picture from Ocean Power Delivery)



Figure 18 Mighty whale prototype

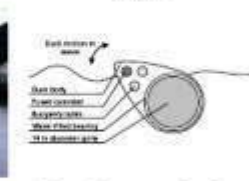


Figure 19 Schematic of the Salter Duck concept

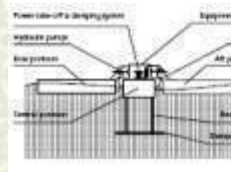
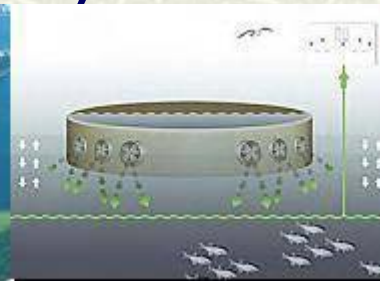
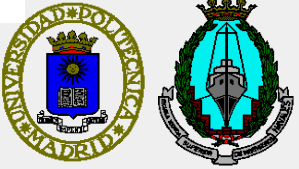


Figure 20 Schematic of Mc Cabe wave pump



Figure 21 Scale model of the Wave Dragon concept (Picture from EMU)



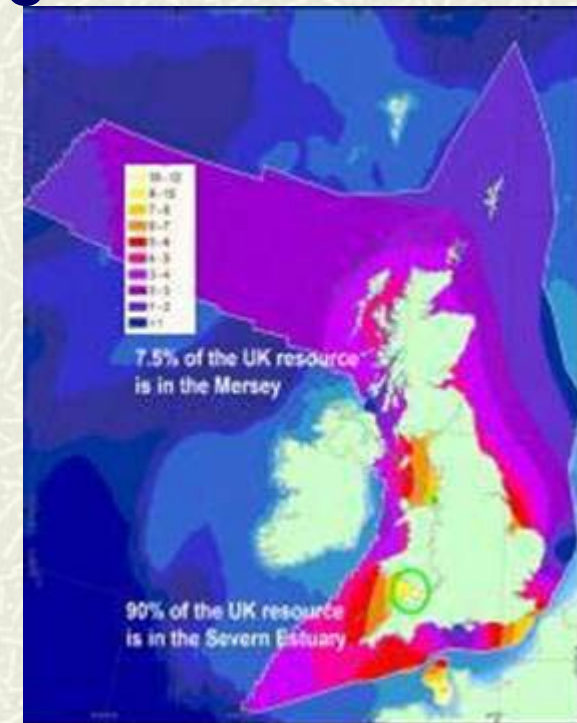


Ventajas de la ECM

- Lugares con alta densidad de energía
- Predicción fiable a largo plazo de la velocidad y la energía
- Mejor relación potencia media / máxima
- Menor impacto ambiental
- Mayor fiabilidad

Resource Study	Extractable Energy (TWh/y)				
	Europe		Strait of Messina	Strait of Gibraltar	Netherlands Coast
Total	(exc. UK & Ireland)				
JOULE 1996 [3]	48	17	0.186	3.6	-
OptCurrent 2001 [2]	-	-	0.089	-	-
RGU Scotland 2002 [27]	-	-	1.3	1	31

Table 4.2 - European Extractable Resource



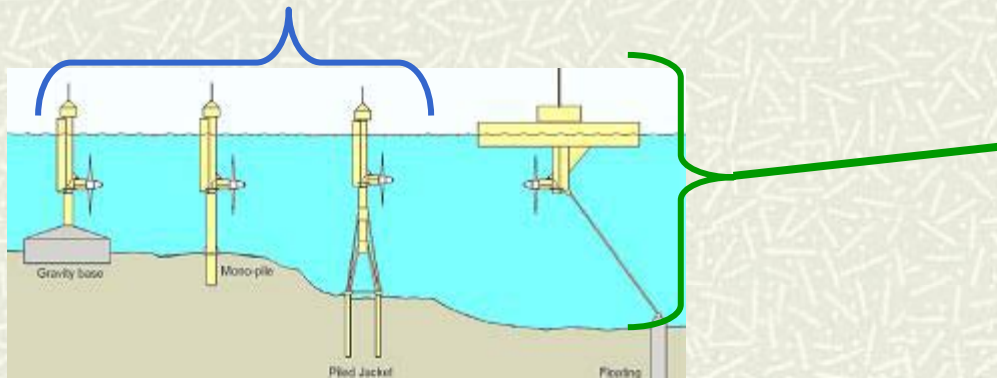
Dispositivos para el Aprovechamiento de la Energía de las Corrientes (DAECs)

Tecnología emergente:

- Multitud de conceptos (>70)
- Tiempo de desarrollo largo
- Riesgo tecnológico alto

1ª Generación: OCT (turbinas para corrientes marinas)

- Aguas someras / fijadas al fondo
- Problemas de mantenimiento



2ª Generación:

Aguas profundas

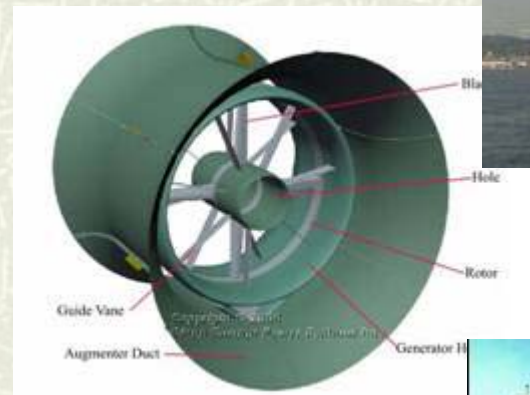
- Dispositivos flotantes
- Diseño GESMEY

Tipos significativos de DAECs de Primera Generación

- De eje horizontal (paralelo a la corriente)

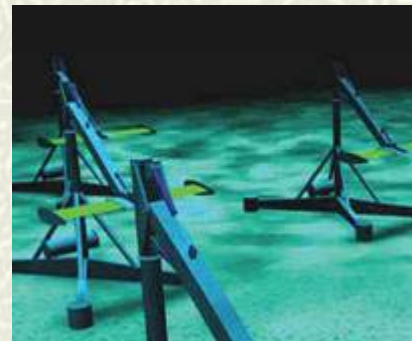
- De rotor abierto

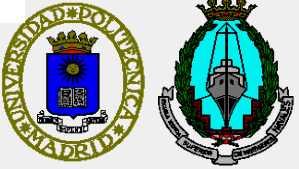
- Con tobera



- De eje vertical

- Con paletas oscilantes

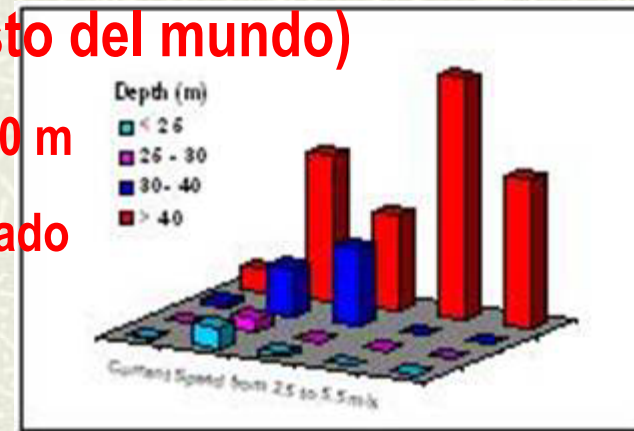


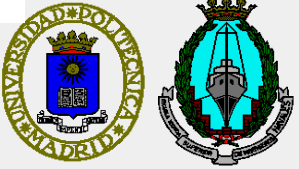


GESMEY

Generador Eléctrico SubMarino con Estructura en Y

- Objetivos de diseño:
 - **Instalación y MANTENIMIENTO simples, optimizar el ciclo de vida**
 - **Tecnología de frontera apta para el E. de Gibraltar:**
 - Profundidades muy diversas, batimetría compleja
 - Velocidad de la corriente limitada y multi-componentes
 - **Utilizable en OTROS lugares (Europa y resto del mundo)**
 - **Casi 80% del potencia en UK a profundidad > 40 m**
 - **No hay tecnología desarrollada para este mercado**





GESMEY. Fases de Investigación y Desarrollo

- Idea, diseño conceptual y estudio de viabilidad técnica
 - Patente UPM OEPM: P200700987- 4 (Prof. A. López)
 - Premio convocatoria 2008 Fundación Madri+D
 - Protección y explotación de las patentes



- Fase de Diseño Funcional (2008-09)
 - Colaboración SOERMAR – UPM
 - Participación de 18 investigadores
 - Financiada por el MICINN

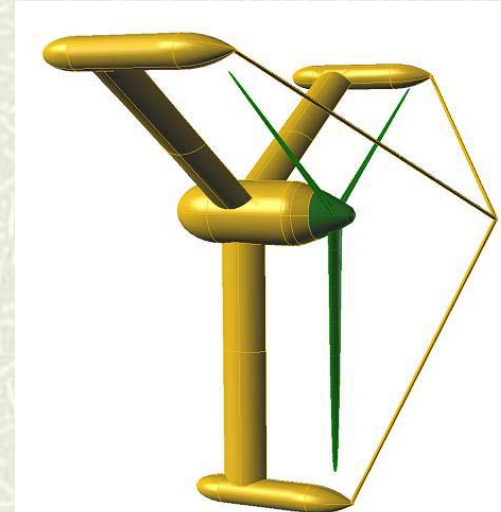
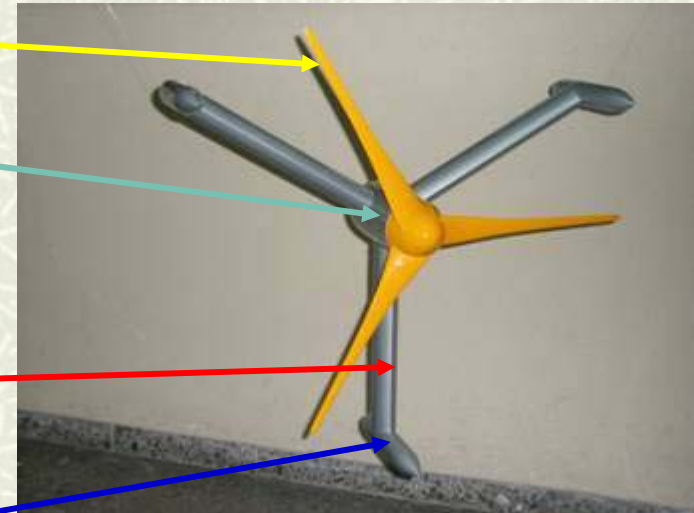
“Proyecto de investigación Industrial Aplicada” IAP-590000-2008-6

- Fases de Diseño Constructivo y Operativo
 - Convenio Marco UPM - Soermar
 - Participación de Astilleros +
 - Programa I+D+i (Ministerio Industria - GSN)



El concepto GESMEY

- **HÉLICE**
 - Palas esbeltas y de paso fijo
- **Domo central (POD)**
 - Soluciones COTS para:
 - PTO (multiplicadora, alternador...)
 - Sistemas auxiliares
- **Columnas**
 - Perfil currentiforme
 - Elementos estructurales principales
 - Espacio para tanques de lastre
- **Torpedos**
 - Tanques de lastre
 - Momento de estabilización en operación
 - Estabilidad en flotación

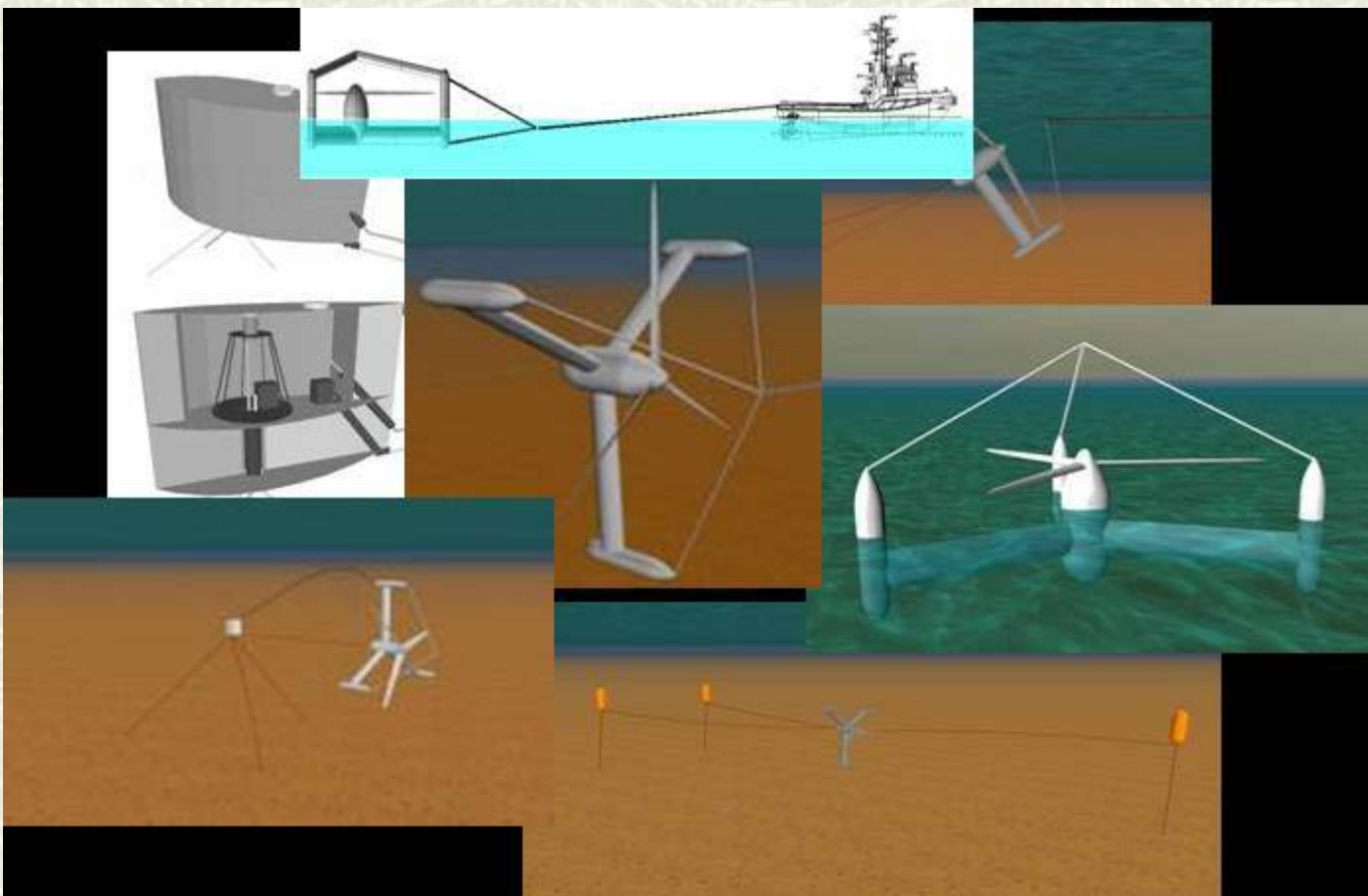




Modelado DAECs - AUTOMAR-2010

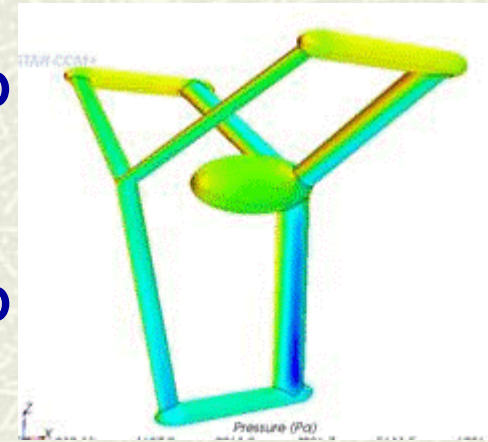


Video

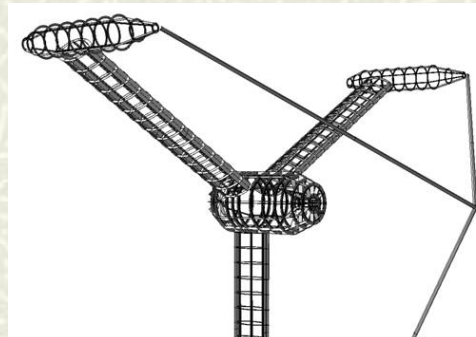
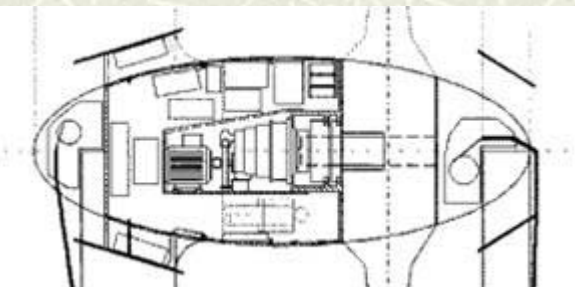


Objetivos del Diseño Funcional:

- Desarrollar un generador adaptado al Estrecho de Gibraltar
- Preparar el trabajo para la construcción y ensayo de los distintos prototipos
- Desarrollar métodos y herramientas para el diseño y la simulación del sistema



Variable	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Material
Datos de entrada			
Longitud cable (Lc) (m)	50,8		
Yc (m)	3,00		
Alura (Ho) (m)	26,2	Base (Bo) (m)	28,4
		Sep. Lateral (Pl) (m)	0,8
Gg (Párr)	22	Gd (Núcleo)	25
Datos al eje principal			
Fuerza inicial (M)	9,8	Gg (Párr)	8,78
Alura (Ho) (m)	26,5	Base (Bo) (m)	27,7
Ángulo alfa (°)	65,4	Ángulo gamma (°)	30,0
Datos de Salida			
Extremo superior (punto regular)	Fuerza restitutor (M)	Fx (kN)	-5,8
		Fy (kN)	9,8
	Ángulo sobre eje pp. (°)	Fz (kN)	-3,3
Extremo inferior (bando)	Fuerza restitutor (M)	Fx (kN)	-0,5
		Fy (kN)	0,0
	Ángulo sobre eje pp. (°)	Fz (kN)	0,0

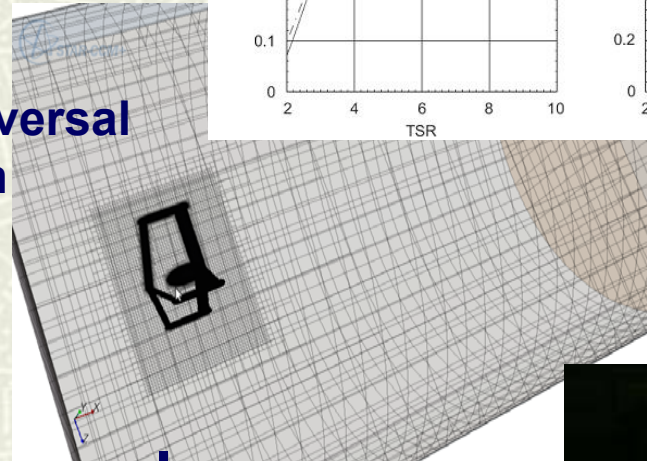
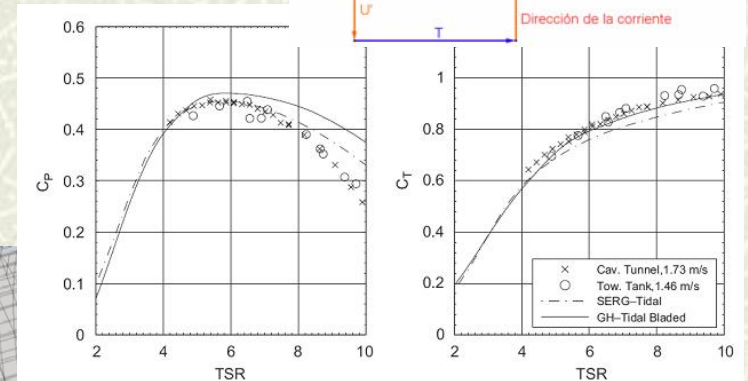


Modelado Hidrodinámico

- **Rotor**
 - Funcionamiento inverso a la hélice de un buque
 - Curvas C_p , C_t , C_q
 - Modelo elemento de pala (CEHINAV)

- **Elementos estructurales**
 - Resistencia longitudinal y transversal
 - Modelo paramétrico (incluido en HACERIC)
 - Simulación con CFDs

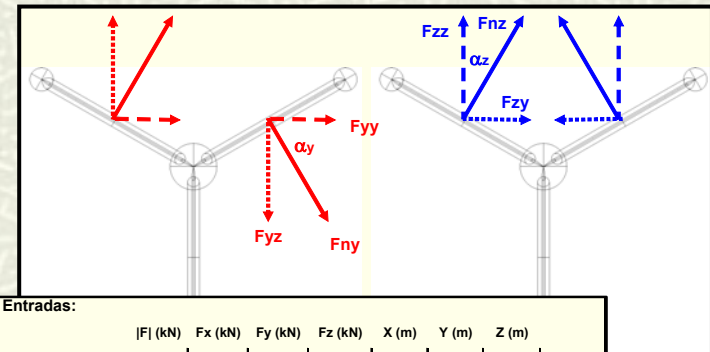
- **Validación con ensayos en canal**



Modelado y simulación del DAEC en Operación

- Aspectos principales
 - Resistencia hidrodinámica frente a la corriente
 - Comportamiento del sistema de fondeo
 - Equilibrio de fuerzas y pares

- Herramientas
 - Matlab-Simulink ↓
 - Aplicación HACERIC (comportamiento estático)
 - Integración elementos y equipos (M y V)
 - Cálculos hidrodinámicos
 - Ángulos de equilibrio
 - ORCAFLEX (comportamiento dinámico)

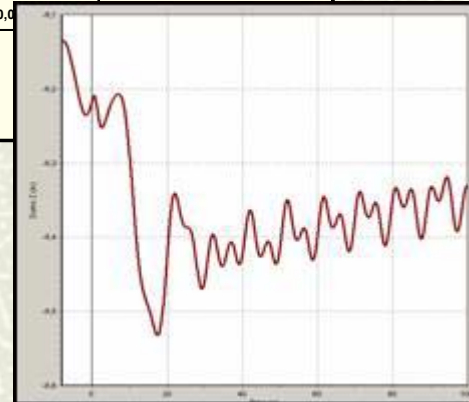


Entradas:							
	F (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	X (m)	Y (m)	Z (m)
Peso estructura y hélice	905	0	0	905	2,45	0,00	0,00
Empuje hidrostático	3442	0	0	-3442	0,93	0,00	0,00
Peso Equipos y elementos varios	402	0	0	402	1,72	0,00	-0,04
Peso Tanques lastre controlable	2038	0	0	2038	0,29	0,00	1,13
Otros pesos	94	0	0	94	-0,80	0,00	9,63
Empuje Hélice (Fr)	1002	1002	0	0	6,20	0,00	0,00
Resistencia Hidrod. Estructura (Fd)	31	31	0	0	0,93	0,00	0,00
Fza. cable salida		2	0	-1	16,20	0,00	0,00

Orientación	eje X	eje Y	eje Z	X (m)	Y (m)	Z (m)
F. gravitatorias	0	0	1	Pto.de.enganche	-4,5	0
F. Hidrodinámicas	1	0	0			

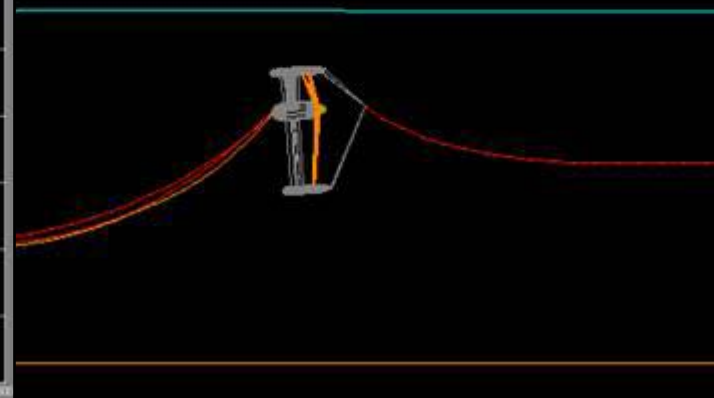
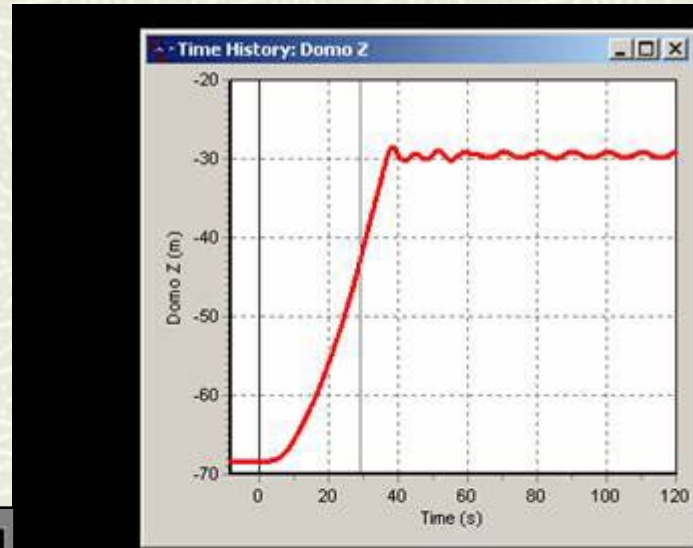
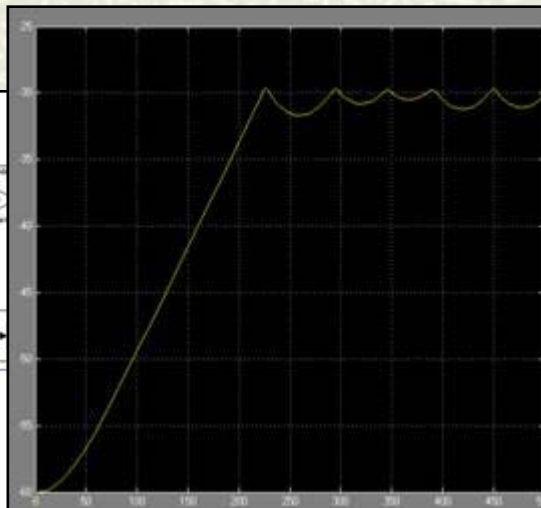
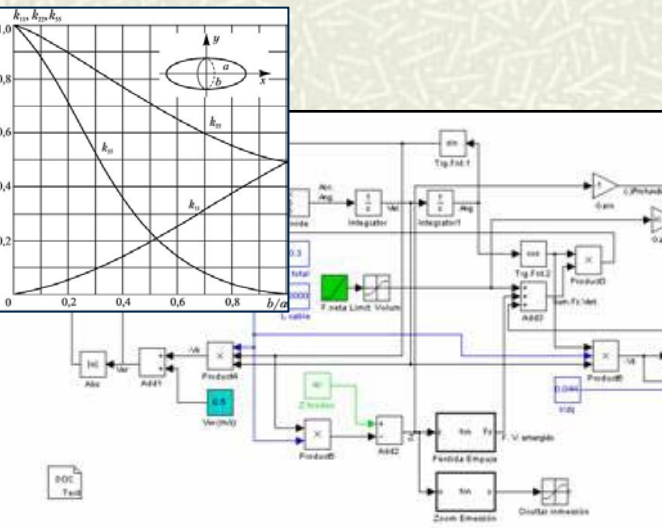
Salidas:						
Fuerza ejercida sobre los cables de retención:	F (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Par motriz hélice (kNm):	797
	1034	1034	0,0			

ÁNGULOS (°)	
Escora (fi) :	14,5
Trimado (theta) :	-0,8
Guiñada (psi) :	0,0



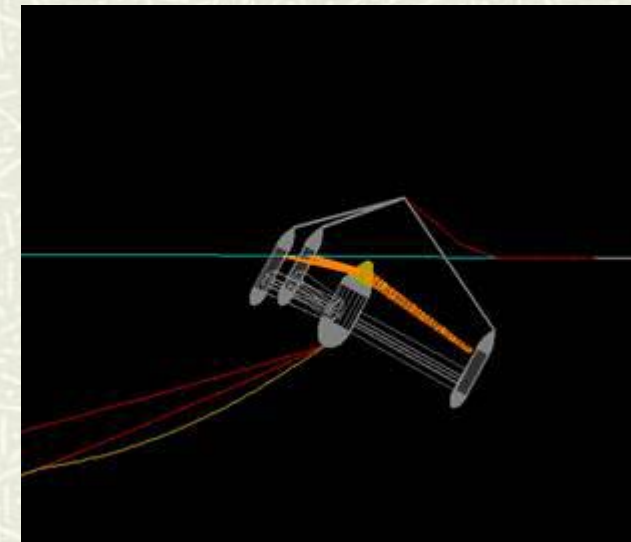
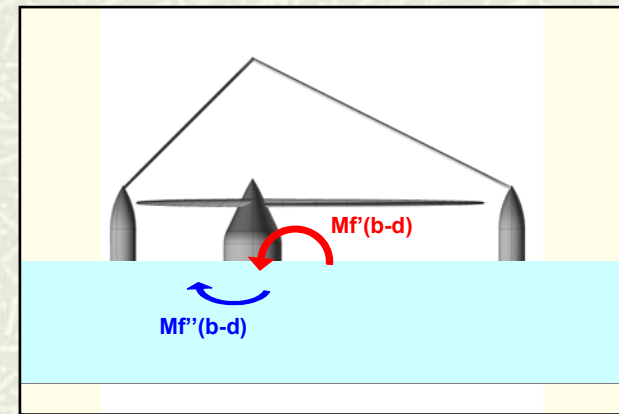
Modelado y Simulación de las maniobras de emersión e inmersión (I)

- Fase sumergida
 - Modelo 2D simplificado (Simulink)
 - Modelo 3D completo (ORCAFLEX)
 - Representación fuerzas y momentos:
 - Restaurativas (pesos y empujes)
 - Disipativas (resistencia y sustentación)
 - Inerciales (masas reales y añadidas)

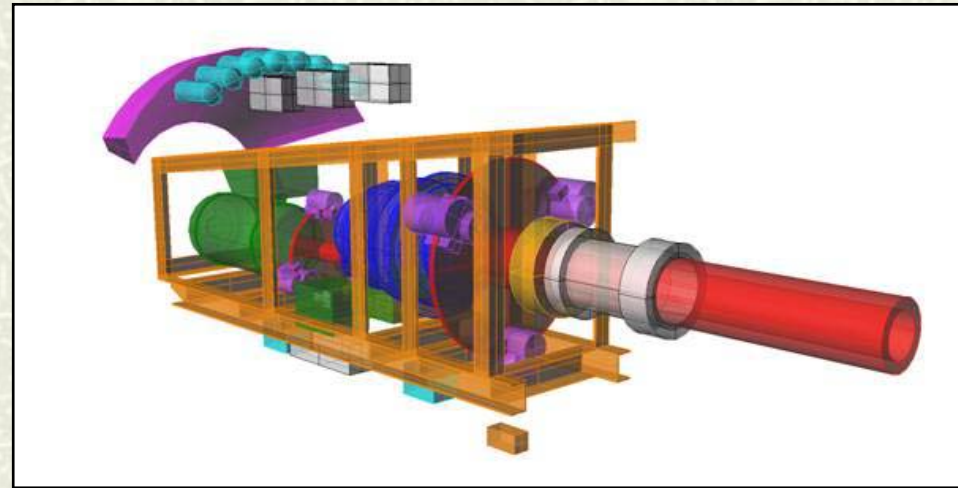


Modelado y Simulación de las maniobras de emersión e inmersión (II)

- Flotando en superficie
 - Método de RAOs
 - Simplificación por elementos
 - Sumergidos totalmente
 - En el aire (sólo afecta el peso)
 - Sumergidos parcialmente (proporción)
- Fase de giro
 - Problemas modelado fuerzas exteriores (similar al anterior)
 - Problemas modelado movimientos tanques de lastre
 - Primera aproximación con ORCAFLEX
 - Trabajo futuro importante

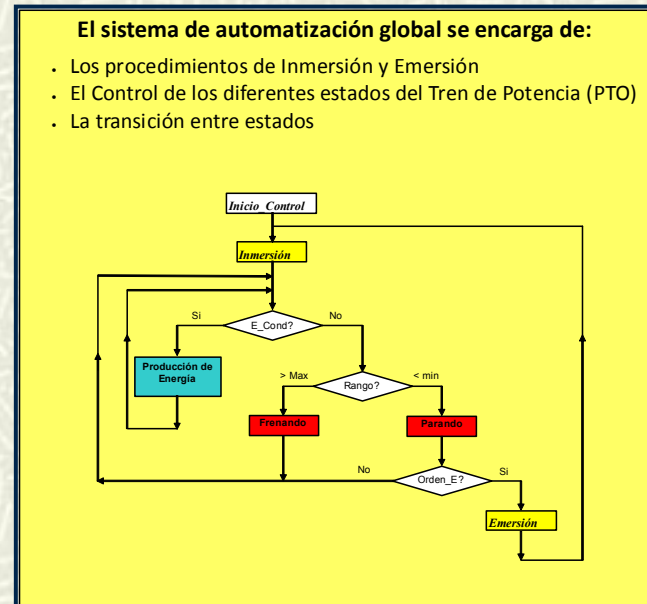


Modelado del PTO



- Sistema complejo.
- Elementos principales:
 - Rotor
 - Ejes (se consideran rígidos en primera aproximación)
 - Multiplicadora
 - Alternador
 - Convertidores de Electrónica de Potencia
 - Frenos

- Modelos para:
 - Sistemas de seguridad
 - Control de regulación (P, N, V, I)

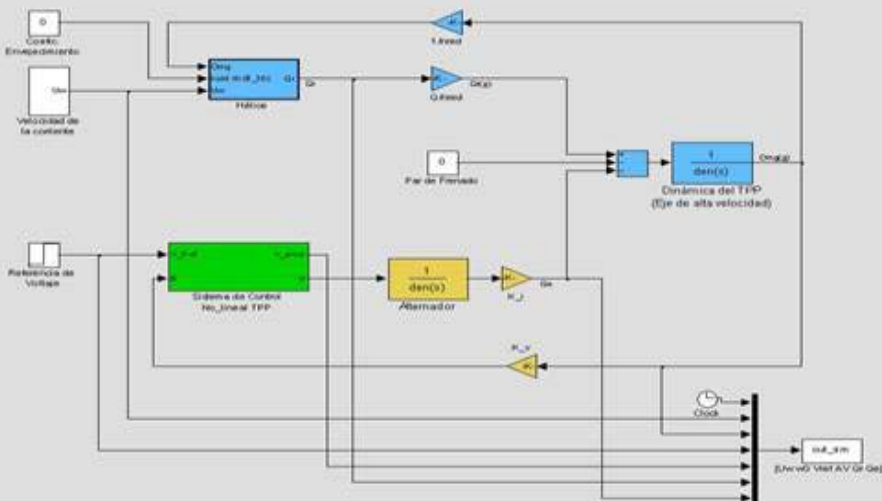


Simulación del comportamiento dinámico del PTO

- **Primera aproximación** (alternativas de conversión)
- **Herramienta: Simulink**
- **Centrado en el Generador y en la Hélice**
- **Control ideal del Convertidor Electrónico**
- **Objetivos: Regular la tensión y maximizar la potencia**

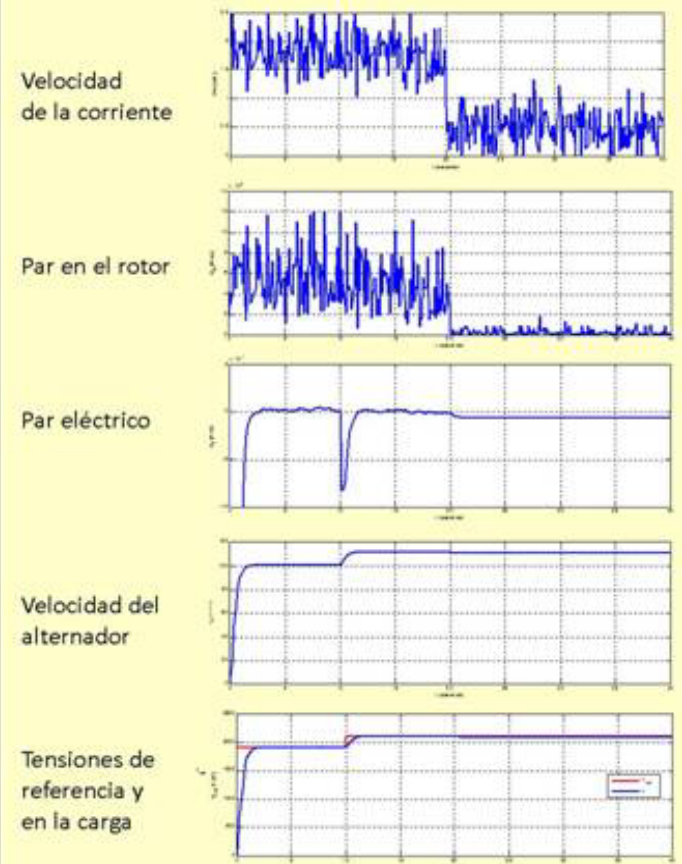
Modelo dinámico del prototipo:

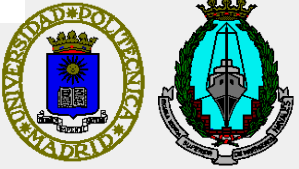
- Adaptación a los cambios de la velocidad de la corriente marina.
- No disponibilidad de la regulación del paso de las palas.
- La única variable de control es la corriente eléctrica.
- Limitada controlabilidad del sistema, pero se consigue una buena respuesta del sistema.



Resultados de las simulaciones:

- Velocidad de la corriente de entrada con ruido blanco y cambio brusco en $t = 20$ s
- Cambio de la tensión de referencia (10% de V en $t = 10$ s)





Conclusiones:

El aprovechamiento de las ERM en los próximos años supone un reto importante desde el punto de vista de:

- **Desarrollo empresarial**
 - Financiación
 - Organización de nuevas empresas
 - Sistemas de conexión eléctrica
 -
- **Desarrollo técnico**
 - Herramientas de diseño (adaptación de las existentes??)
 - Desarrollo y prueba de prototipos
 - Normativa: Seguridad, Medidas, Impacto Ambiental...
 - Métodos de producción
 - Procedimientos de instalación y mantenimiento
 -
- **Desarrollo científico**
 - Medida de la energía y condiciones ambientales (Metocean)
 - Elementos de absorción de energía, PTO, estructurales y de fijación..
 - Estudio del comportamiento dinámico (fatiga, ...)
 - Sistemas de Seguridad, Instrumentación y Control
 -



Modelado DAECs - AUTOMAR-2010



Gracias por vuestra atención

