



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

COOPERACIÓN REGIONAL
PARA LOS PAÍSES ANDINOS

SEMINARIO INTERNACIONAL

LAS ENERGÍAS RENOVABLES HOY

PERSPECTIVAS DE COLABORACIÓN ENTRE AMÉRICA LATINA Y EUROPA

*Sede de la Secretaría General de la Comunidad Andina
Av. Andrés Aramburú cdra. 4 ,San Isidro
Lima, 1 y 2 de Marzo de 2012*

**COMUNIDAD
ANDINA**



Apoyando



Institut de recherche
pour le développement



UNIVERSIDAD
PERUANA
CAYETANO
HEREDIA

Las Energías Marinas Renovables

Marc Le Boulluec

Instituto Francès de Investigación para la Explotación del Mar

IFREMER

Francia

Las Energías Marinas Renovables

Sumario :

Algunos cifras

Las diferentes energías marinas renovables y sus recursos

- viento, marejadilla, corrientes, mareas, térmico, biomasa, osmótico

Recursos, técnicas y ejemplos de tecnologías

Medios de puesta a prueba

Los actores de las energías marinas renovables

Varias materias y actividades transversales

Instituciones impulsoras de colaboraciones en Francia y Europa

Algunos Cifras

Los compromisos de reducción de las emisiones de CO₂ :

Hoja de Ruta Europea para el 2020 (20/20/20)

- 20 % de disminución de las emisiones de gases con efecto invernadero
- 20 % de energías renovables en el consumo de energía
- 20 % de ahorros de energía

Hoja de Ruta Francesa (Grenelle de l'environnement) :

23% Energías Renovables, 3% Energías Marinas

Recursos potenciales muy importantes al nivel mundial :

3 600 TWh/año teóricamente explotables desde el 2030

(a modo de comparación, la producción eléctrica total en Francia es : 600 TWh/año)

Las distintas formas de energía marina renovables

Orígenes de los recursos marinos renovables:

- influencia de los astros
- intercambios océano-atmósfera
- biológica, química

Formas de los recursos energéticos marinos :

- viento
- marejadilla
- corrientes, mareas
- térmica
- biomasa
- osmótica

Conversión de estos recursos :

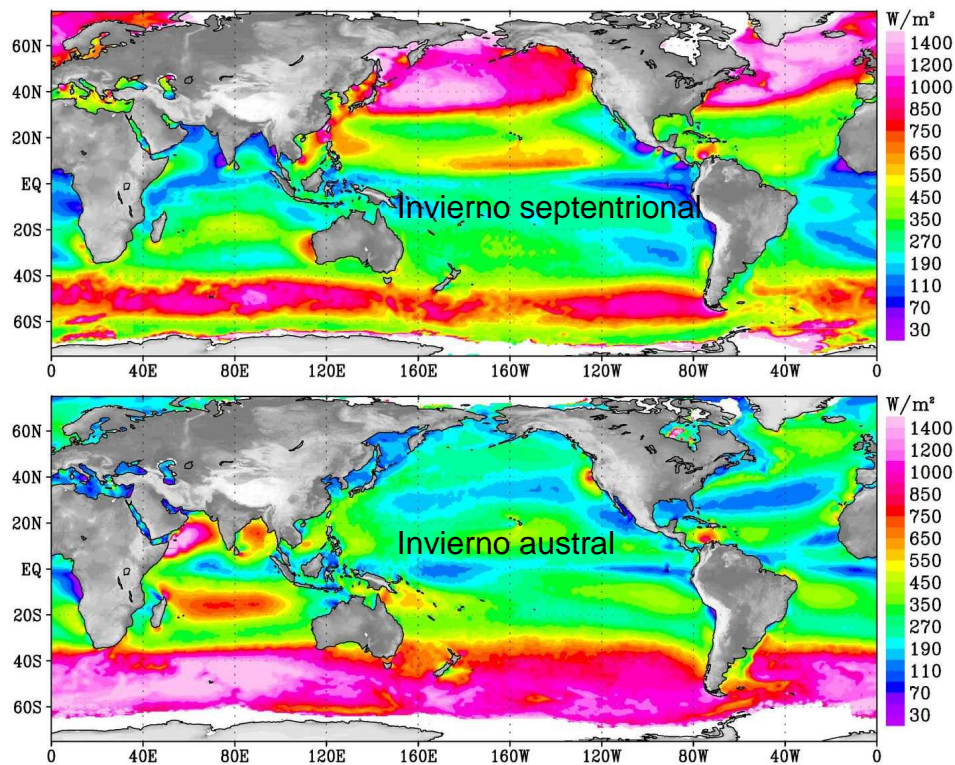
- principalmente en forma de energía eléctrica
- en forma de energía potencial (hidráulica)
- producción de hidrógeno (¿almacenamiento?)

Energía eólica

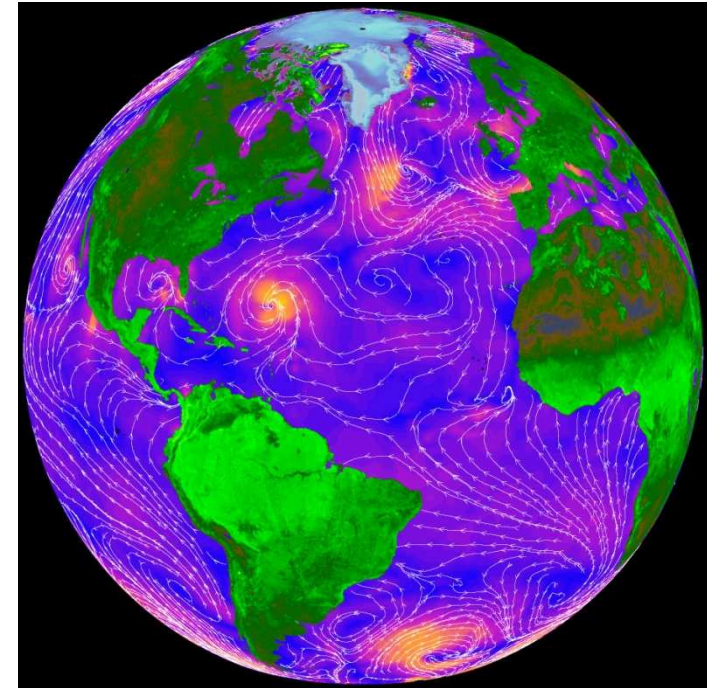
El recurso es intermitente, variable.

Las previsiones meteorológicas vuelven a ser más precisas a corto plazo.

Las tendencias anuales y geográficas se consiguen a partir de las observaciones a gran escala



Fuente : winds.jpl.nasa.gov



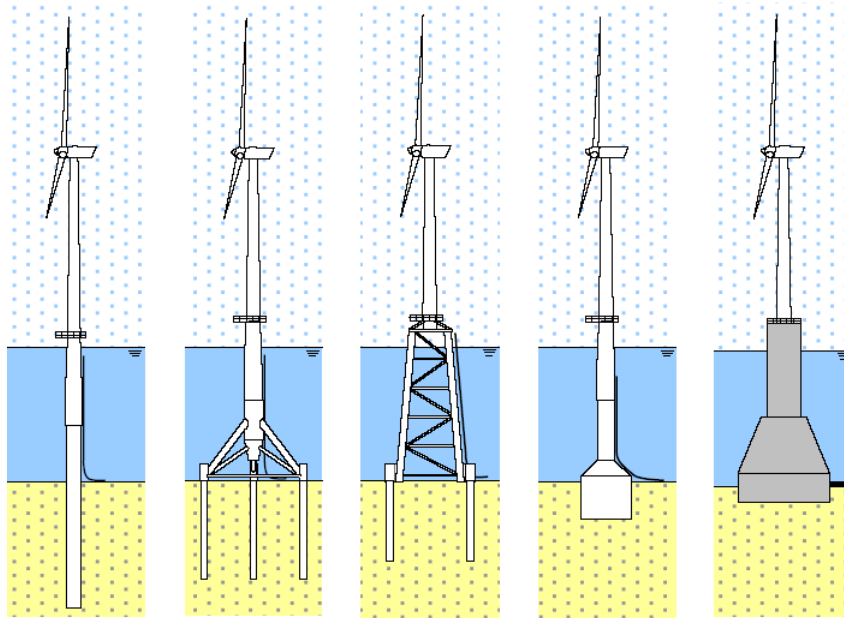
Energía Eólica

Los principios de conversión de la energía eólica son unos de los más desarrollados, sacando provecho de la experiencia del eólico terrestre.

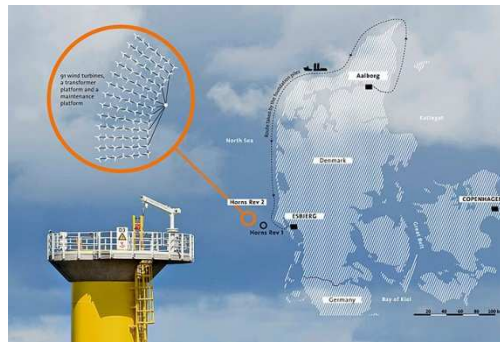
Diferencias eólico terrestre/marino :

- el viento marino es más fuerte, más regular y menos bullicioso en comparación del viento terrestre
- los sistemas fijos o flotantes dependen del entorno marino
- los motores de viento y sus estribadores interactúan por :
 - los efectos amortiguadores del rotor
 - los efectos giroscópicos del rotor
 - las tensiones dinámicas en la boya, el mástil y la barquilla

Energía Eólica



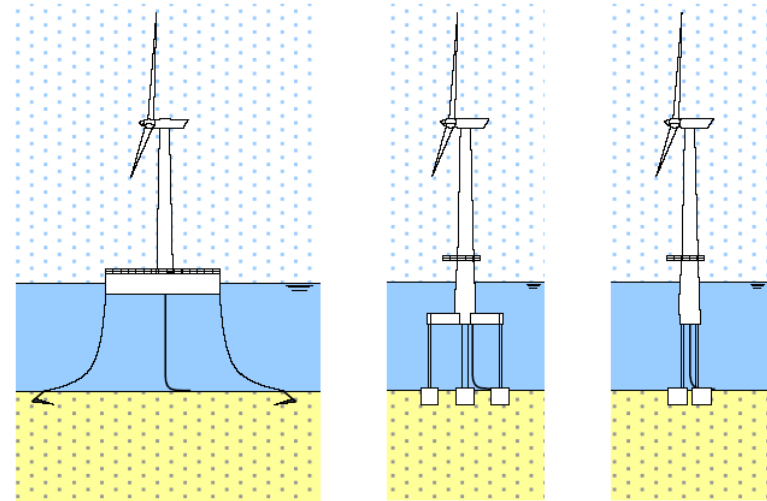
Ejemplos de estructuras con soportes fijos: mono-estaca, triple-pilares, jacket, base por succión, base por gravedad



Horns Rev, Danemark

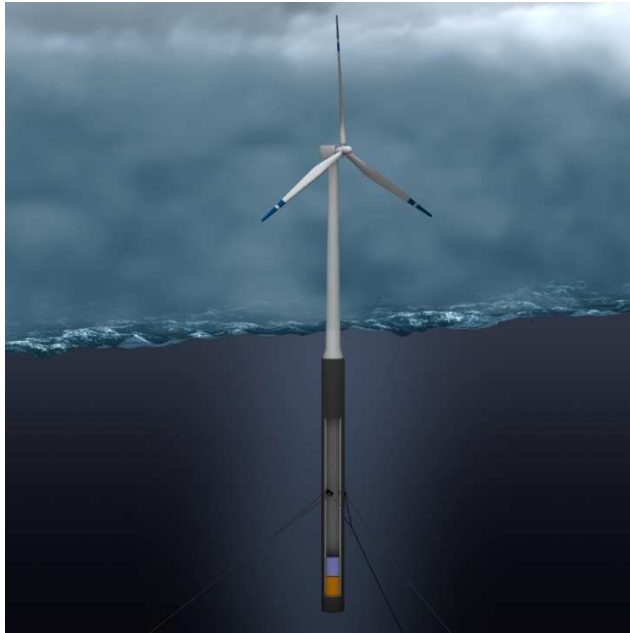
← Hondura reducida < 30 m

Hondura importante



Ejemplos de soportes flotantes: Semi-submersible, plataforma con líneas tensas, boya-pilar

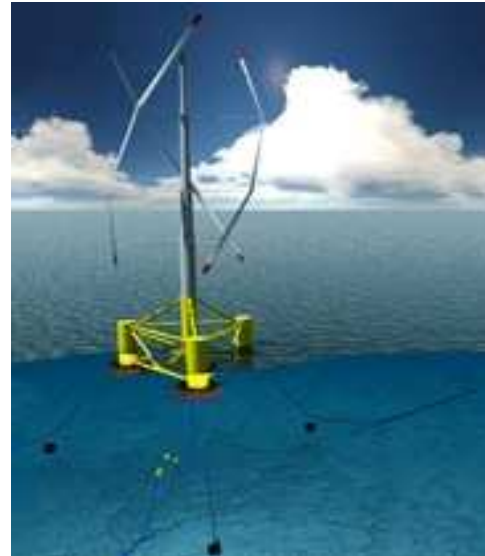
Energía Eólica



Concepto HyWind (Statoil, Norvège)
www.statoil.com **2.3 MW**



Concepto WINFLO (France)
nassetwind.com



Concepto Nenuphar (France)
www.nenuphar-wind.com



Concepto Windfloat (USA)
www.principlepowerinc.com/products/windfloat.html

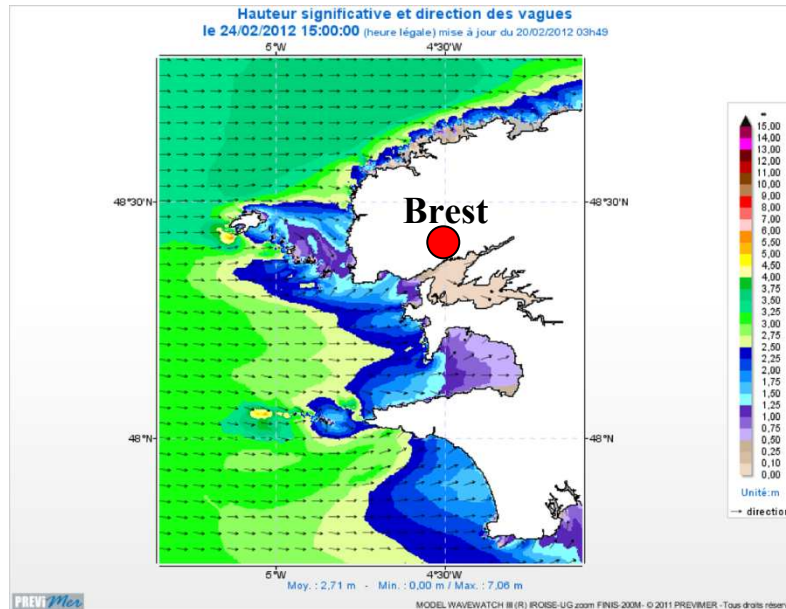
Potencias alcanzadas \approx 3.0-10MW
Diámetro del rotor \approx 120-170m
Altura de la turbina \approx 80-90 m
Peso de la barquilla \approx 225-315 tonne
Calado \approx 20 m
Hondura de agua $>$ 50 m

Fase 1 del desarrollo frente a las costas de Portugal de la Turbina Vestas V80-2.0MW

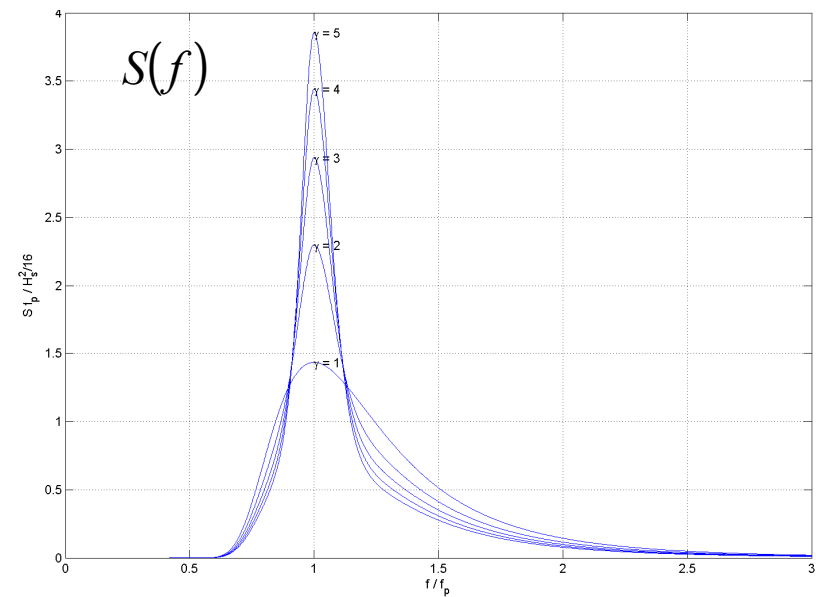
Energía de las Olas

El recurso es intermitente,
Vinculado con la generación lejana (marejadilla) o cercana (mar del viento),
caracterizada gracias a la probabilidad de ocurrencia de los espectros de marejadilla descritos en los atlas (resultante de medidas y simulaciones numéricas).

**Ejemplo de predicción numérica:
Mar de Iroise, France
Fuente: www.previmer.org/previsions/vagues**



**Una de las presentaciones analíticas de un
Espectro de marejadilla:
JONSWAP (*JO*int *N*orth *S*ea *W*ave *P*roject)**



Energía de las Olas

Estadísticas de los Estados del Mar

Ejemplo de estadísticas de estado del mar resultando de medidas

Ile de la Réunion, Francia

Correlograma: Altura espectral significativa de las olas– Periodo promedio energético



CANDHIS

Centre d'Archivage National de Données de Houle In-Situ

Campagne : 97405 - Saint Pierre

Coordonnées : 021°21,170'S - 055°28,660'E

Profondeur : 27.00 mètres

Corrélogramme - Hm0/Te - GLOBAL																					
(Hauteur significative spectrales des vagues / Priode moyenne nergtique)																					
hm0 (m)	te (Secondes)																				
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total
1	1			1	6	56	220	652	1202	1236	912	382	63	12	2						4745
2						12	447	1989	3659	4270	3700	2933	1724	694	163	24	11				19626
3							6	84	447	1001	1041	772	622	490	235	82	25	7	2		4814
4								6	7	132	185	156	155	139	89	41	4	1	1	1	917
5										1	34	70	74	46	39	12	10	3	1		290
6													6	2	2	5	3	3	1		22
7																3	1	1	2		7
8																	2	1			3
9												1									1
10													1		1	1	2	2	2	1	10
Total	1			1	6	68	673	2731	5315	6640	5872	4314	2645	1383	531	168	58	18	9	2	

Les valeurs du tableau sont exprimées en nombre d'éléments - Les case vides correspondent à des valeurs nulles.

Code des couleurs		
>= 10 %	>= 30 %	>= 50 %

Fuente: candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr

Energía de las Olas

La potencia promedio por unidad de amplitud del frente de ondas es:

$$\frac{\langle P \rangle}{B} = \rho \frac{g^2}{64\pi} H_s^2 T_e \quad (W/m)$$

Densidad absoluta del agua ρ (kg/m^3)

Altura significativa de la ola H_s (m)

Periodo de la energía T_e (s)

Intensidad del campo gravitatorio g (m/s^2)

Amplitud del frente de ondas B (m)

Frecuencia de la marejadilla f (Hz)

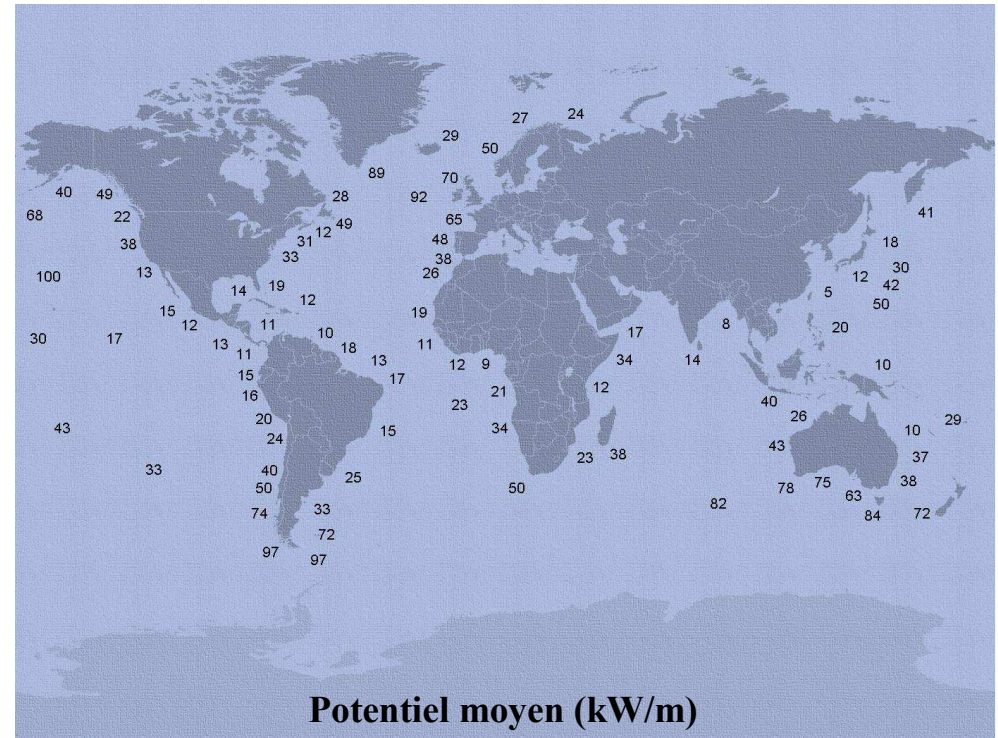
Densidad espectral de elevación $S(f)$ (m^2s)

Momento de orden 0 del espectro $m_0 = \int_0^\infty S(f) df$

Momento de orden -1 del espectro $m_{-1} = \int_0^\infty f^{-1} S(f) df$

$$H_s = 4\sqrt{m_0}$$

$$T_e = \frac{m_0}{m_{-1}}$$



Energía de las Olas

Los principios de captación de la energía de los sistemas ólico-motores son múltiples y dieron la luz a varios conceptos.

Estos sistemas han sido concebidos para funcionar alrededor de sus resonancias mecánicas y aguantar las tensiones inducidas por los sitios marinos más energéticos.

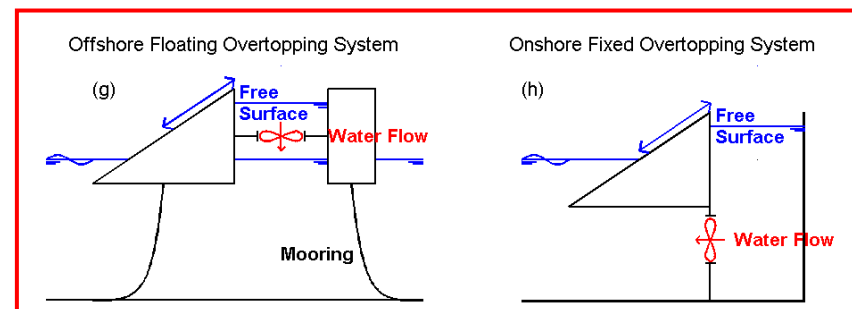
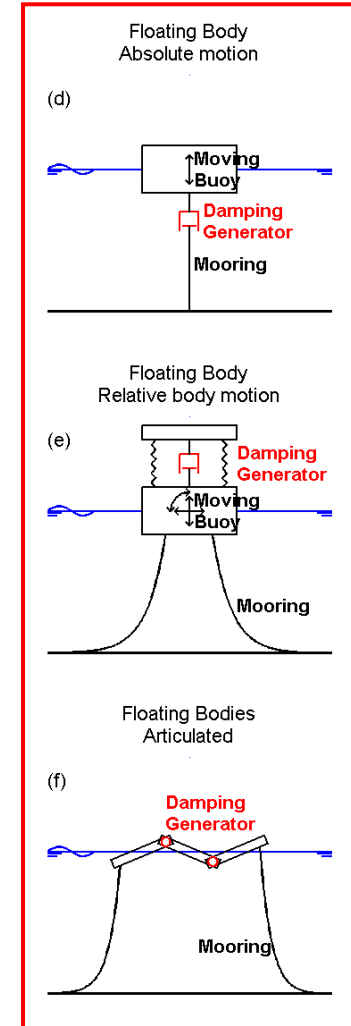
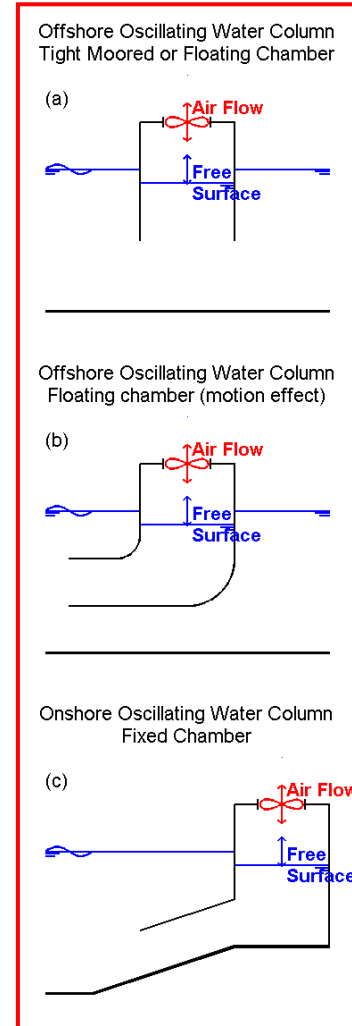
Estos objetivos van contra las especificaciones asociadas a las operaciones de la mayoría de los sistemas marinos (barcos, sistemas de producción petrolera offshore), cuya ley es la minimización de las súplicas y repuestas.

Además de la acción de las olas, cabe incluir los parametros del viento y de los corrientes en establecer el dimensionamiento de los sistemas en términos de generación eléctrica y resistencia estructural.

Energía de las Olas

Los principios de captación de la energía:

- columnas oscilantes de agua
- cuerpos movedizos
- sistemas con pasos
- otros (membranas,...)



Energía de las Olas

Los principios de captación de energía:

- columna oscilante de agua



Columna oscilante de agua de Pico (Açores)

www.pico-owc.net



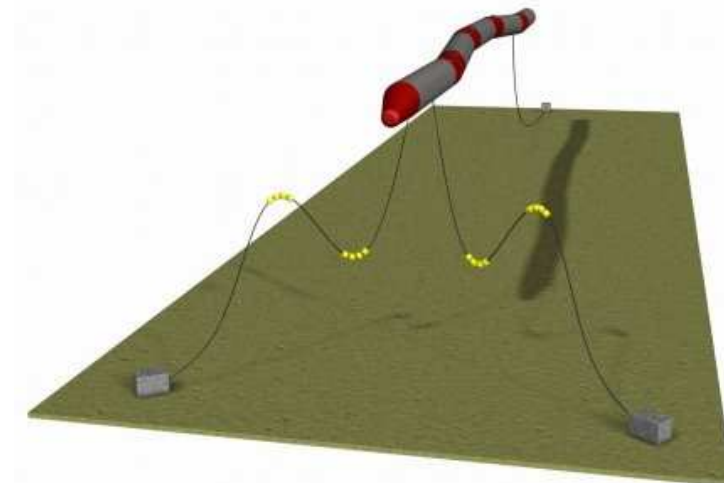
Energía de las Olas

Los principios de captación de la energía :

- cuerpos movedizos



Sistema articulado Pelamis
www.pelamiswave.com



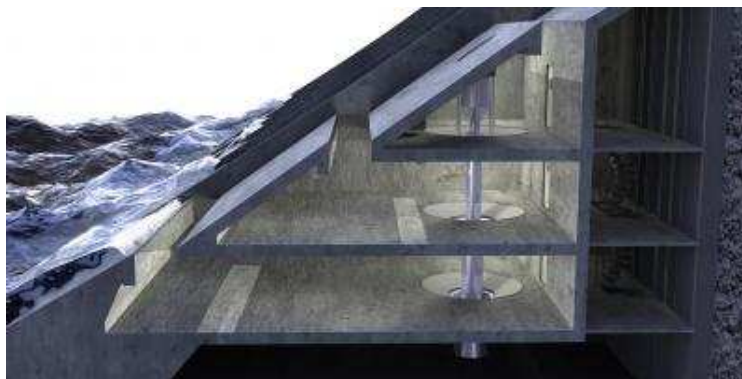
Energie des vagues

Los principios de captación de la energía :

- sistemas con pasos

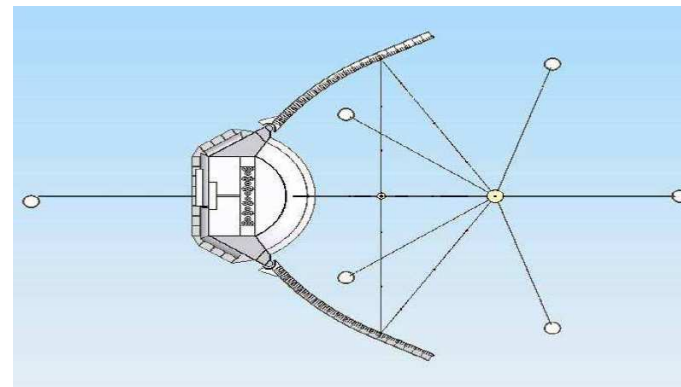


Sistema flotante Wave Dragon
www.wavedragon.net

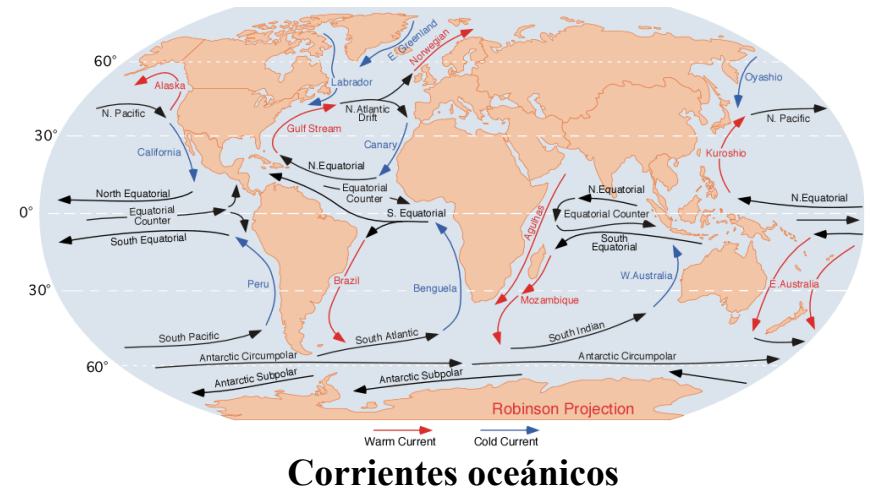
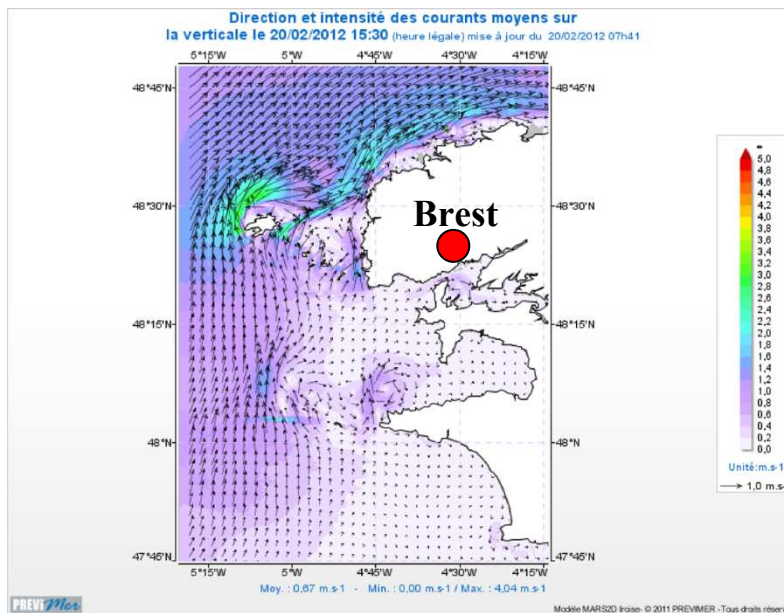
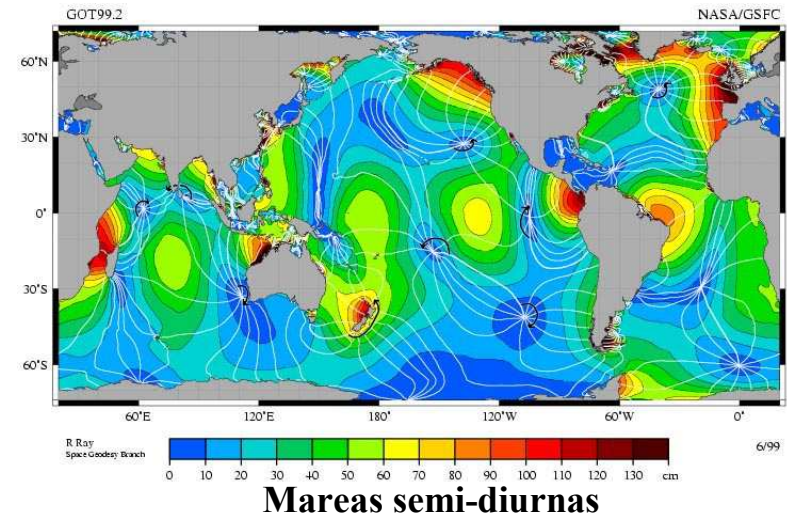
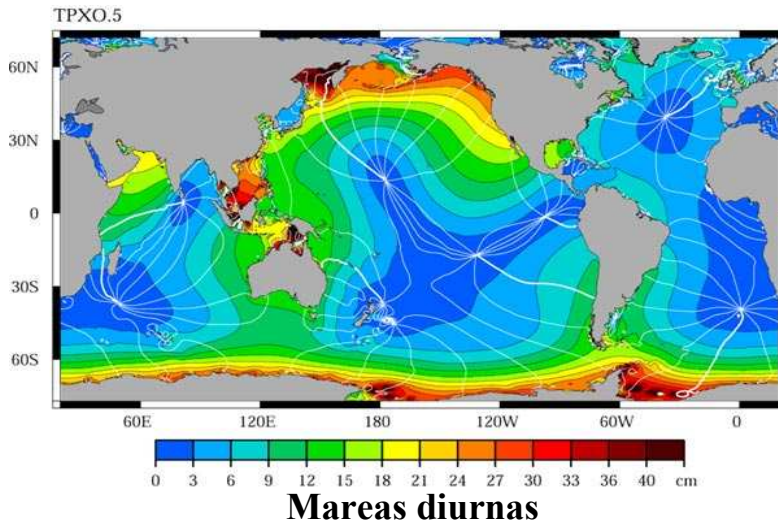


Sistema fijo Seawave Slot Cone Generator

www.waveenergy.no



Energías de las mareas y corrientes



www.previmer.org/previsions/courants/

Corrientes costeros

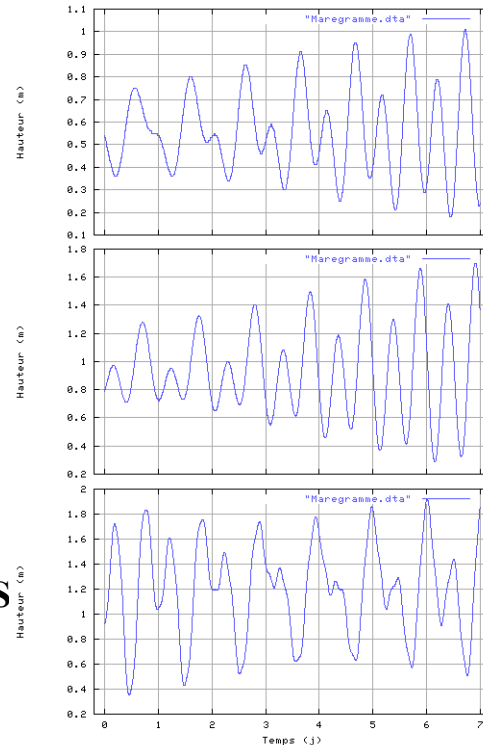
Energías de las mareas y corrientes costeros

Se predice el recurso en tiempo y lugar :

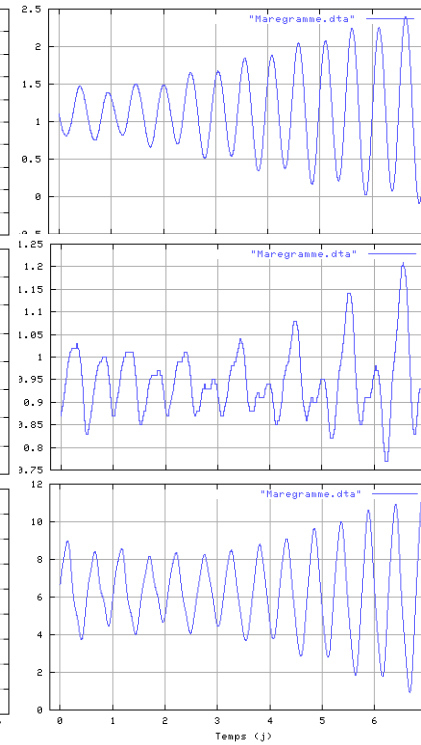


www.shom.fr

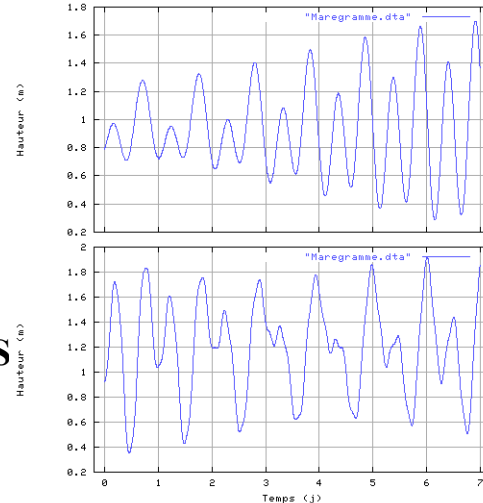
CALLAO



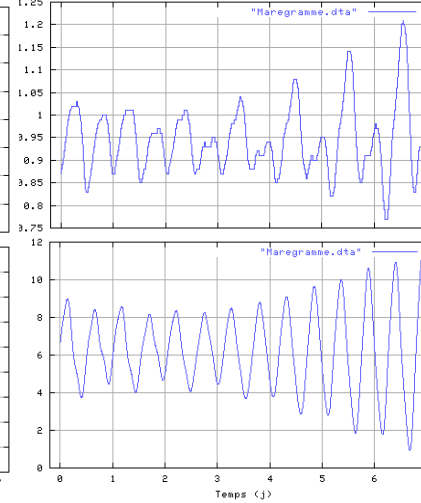
RECIFE



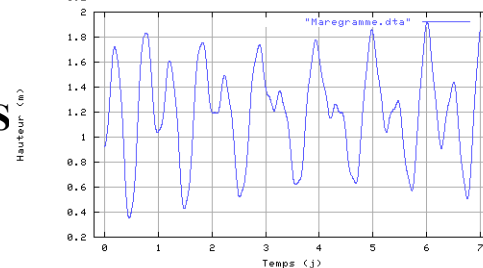
VALPARAISO



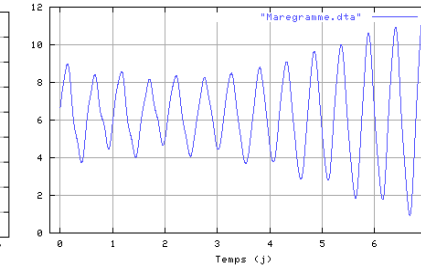
MONTEVIDEO



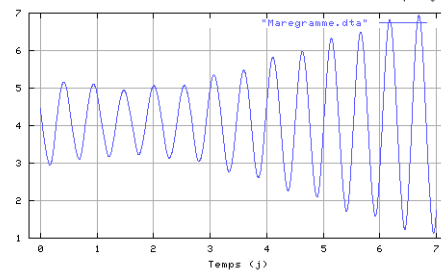
PUNTA ARENAS



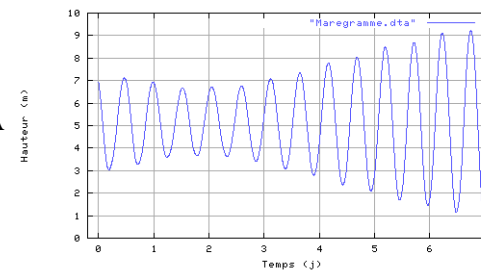
PUERTO GALLEGOS



**BREST
Francia**



**SWANSEA
RU**



del 1 al 7 de Marzo del 2012

Energía de las mareas y corrientes costeros

P : potencia

η : rendimiento (0.3 à 0.4 más con tobera)

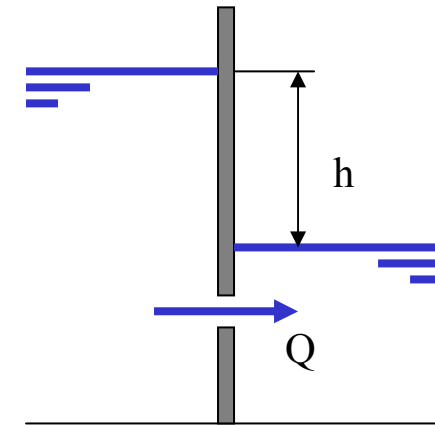
ρ : densidad absoluta del agua

g : intensidad del campo gravitatorio

- Energía potencial asociada a la amplitud de la marea:

Q : flujo volúmico

h : desnivel de la marea

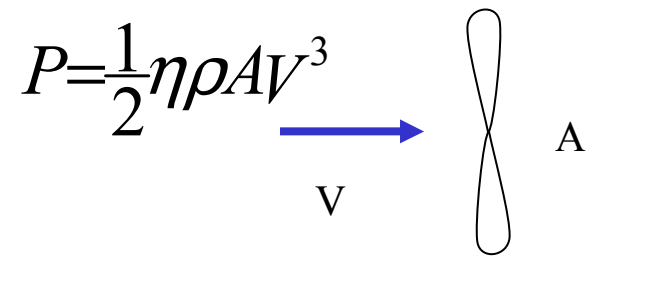


$$P = \eta \rho g Q h$$

- Energía cinética asociada a la velocidad del corriente:

A : área del disco

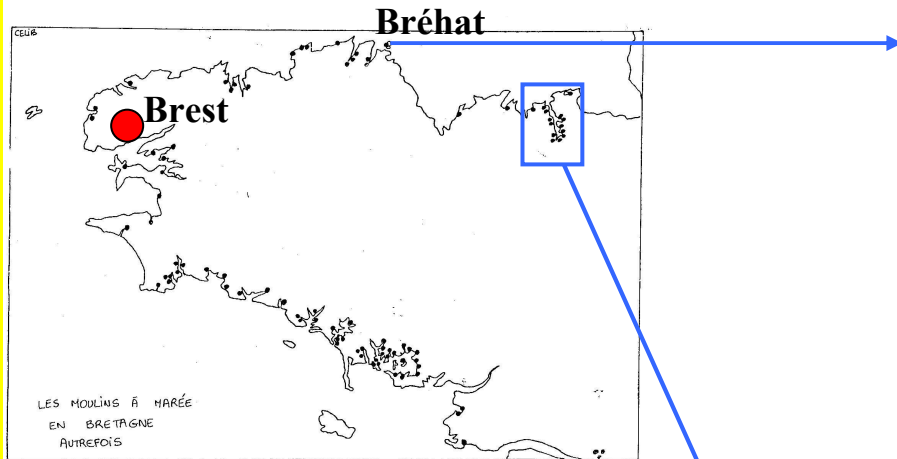
V : velocidad del corriente



$$P = \frac{1}{2} \eta \rho A V^3$$

Energía de las mareas

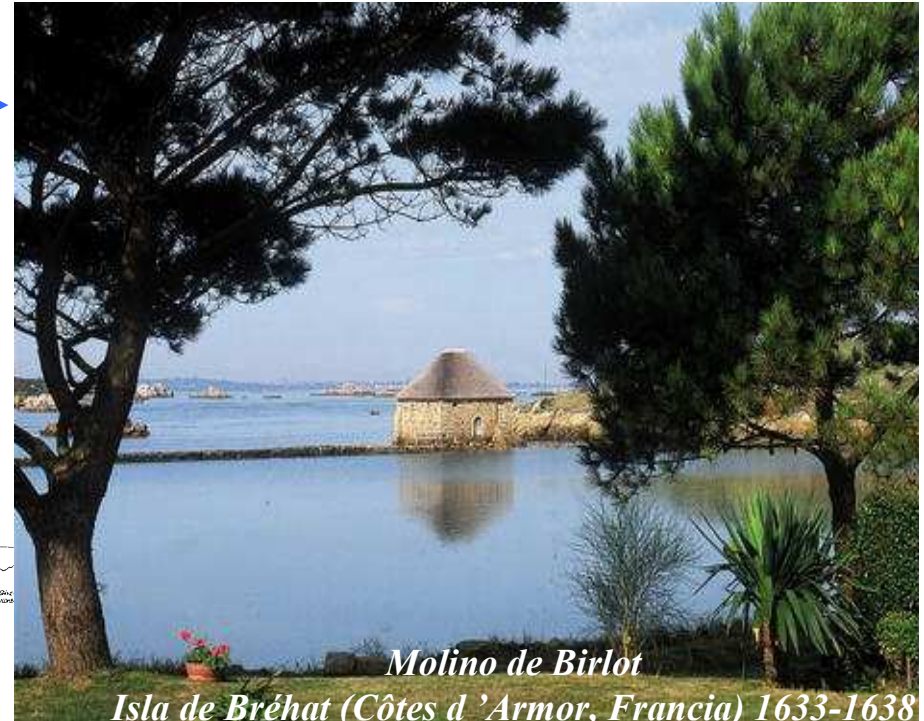
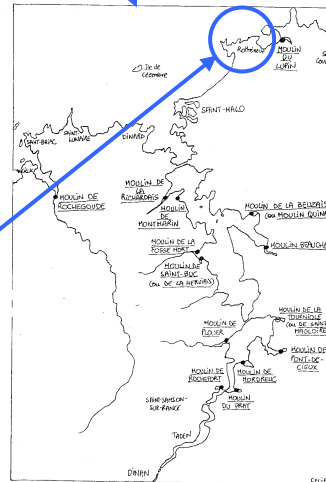
El antiguo principio de los molinos de marea:



Distribución de molinos de marea a lo largo de las costas de Britania (France).

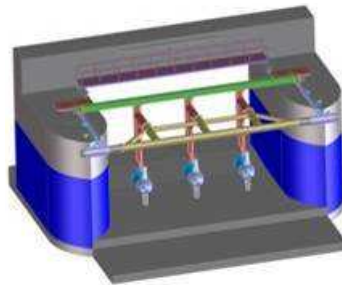
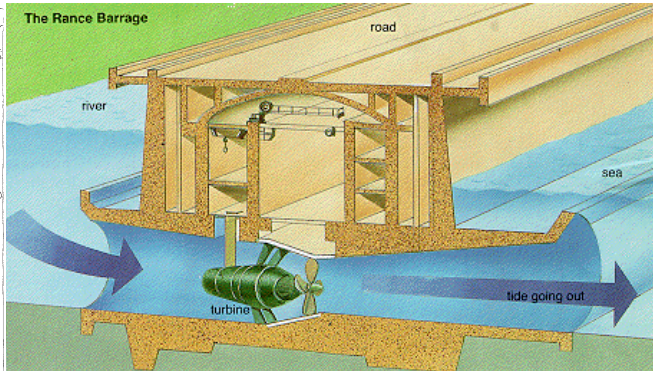
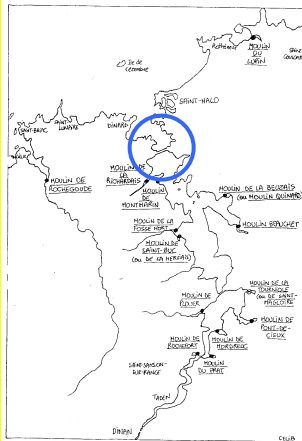
Estudio de Michel Paillard, 1980

El molino de marea más antiguo podría ser el molino de Lupin en Saint Coulomb (cerca de Rothéneuf – testimonios de existencia desde el año 1181)



Energía de las mareas

Uso de tanques artificiales :



**Represa de protección costera
Sitio experimental de
Den Oever, Holanda**

Fuente: www.tidaltesting.nl

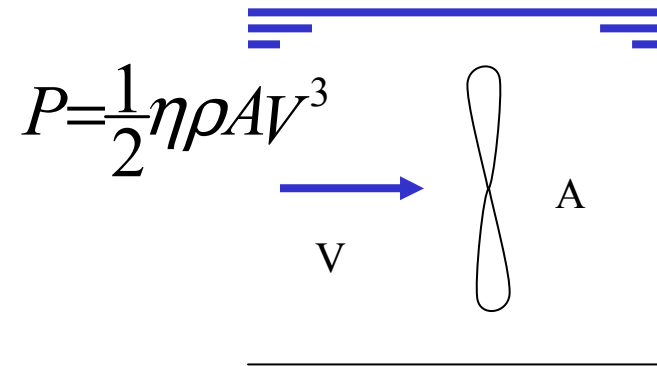


Fuente: www.tocado.com
Turbina 45 kW T50

Energía de los corrientes

Comparación entre un motor de viento y un motor de corriente :

P : potencia
 η : rendimiento
 ρ_{eau} : densidad absoluta del agua
 ρ_{air} : densidad absoluta del aire
 D : diametro del disco
 V : velocidad del corriente



$$P = \frac{1}{2} \eta \rho A V^3$$

$$\frac{\rho_{\text{eau}}}{\rho_{\text{air}}} \approx 800$$

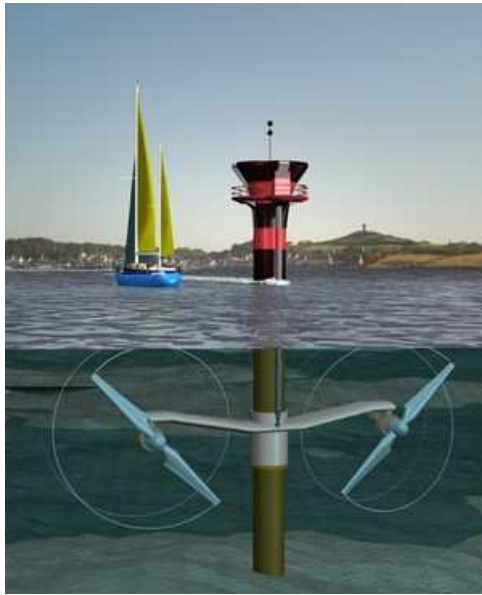
$$\rho_e D_e^2 V_e^3 \approx \rho_a D_a^2 V_a^3$$

Los esfuerzos físicos sobre un motor de corriente son más grandes que para un motor de viento de potencia equivalente :

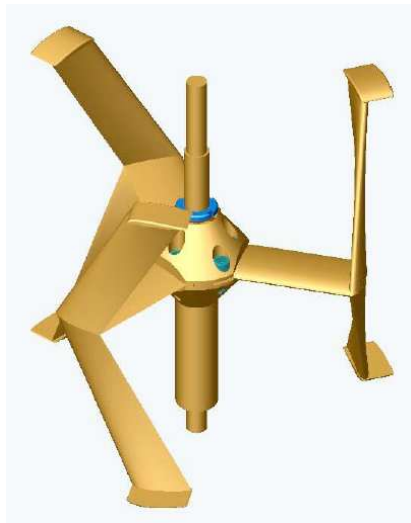
$$\rho_e D_e^2 V_e^2 > \rho_a D_a^2 V_a^2$$

A esto, se añaden los esfuerzos de las olas sobre el motor de corriente.

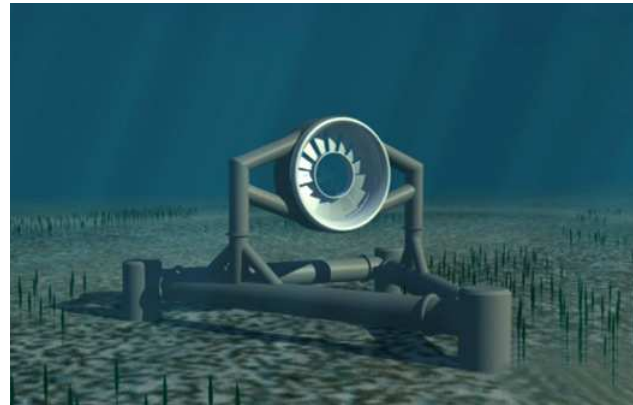
Energía de los corrientes



SeaGen (MCT Ltd)



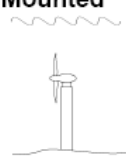

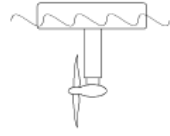


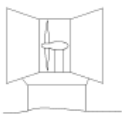

HARVEST (LEGI)



Open Hydro



Clean Current

<p>Pile Mounted</p>  <p>A tower is built on the seabed which supports the rotor at a predetermined depth.</p>	<p>Tethered</p>  <p>A buoyant system anchored to the seabed via a cable or rigid arm.</p>
<p>Moored</p>  <p>The turbine is mounted underneath a moored, floating platform on the surface.</p>	<p>Sheath System</p>  <p>Surface piercing tower installed on the seabed. The rotor and generator are mounted on a sheath and moved up and down mechanically.</p>
<p>Guyed Tower</p>  <p>The buoyancy of the nacelle is used to tension multiple chain anchors</p>	<p>Shroud Concept</p>  <p>A cylindrical shroud or duct surrounds the rotor, the middle section of which can be separated for removal and maintenance. The device weight and use of anchor chains fixes it to the seabed</p>
<p>Telescopic</p>  <p>A system of telescopic towers is used to maintain the turbine at the required depth for operation.</p>	

Energía de los corrientes

Energía cinética de los corrientes de reflujo

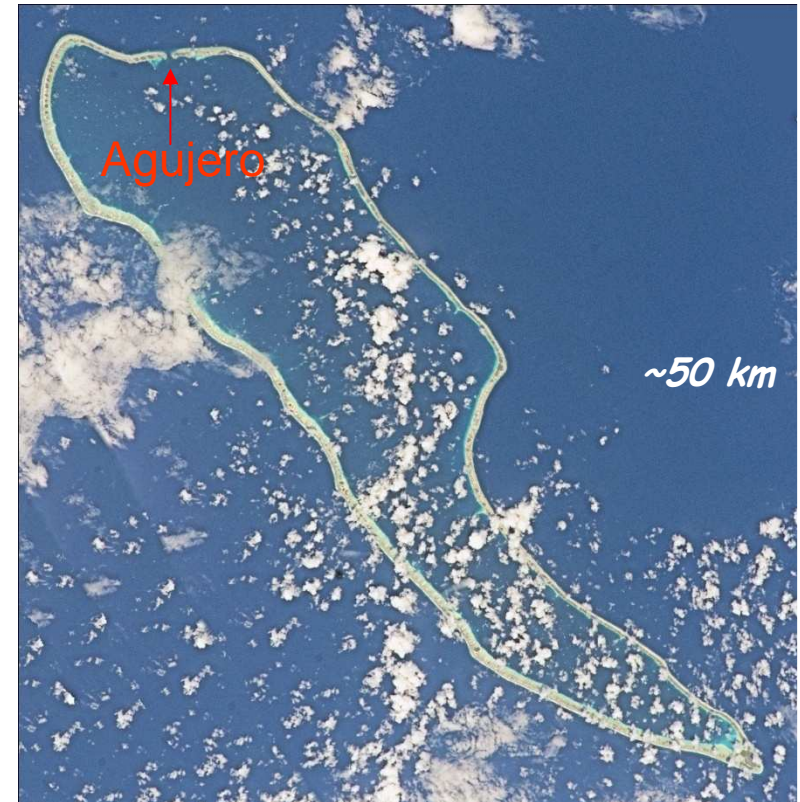


Sitio Tapchan (Tapered Chanel)
Cerca de Bergen , Noruega



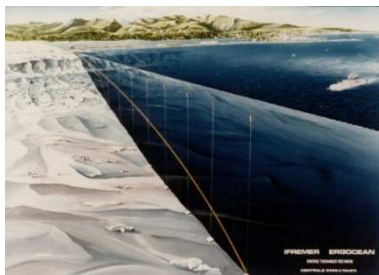
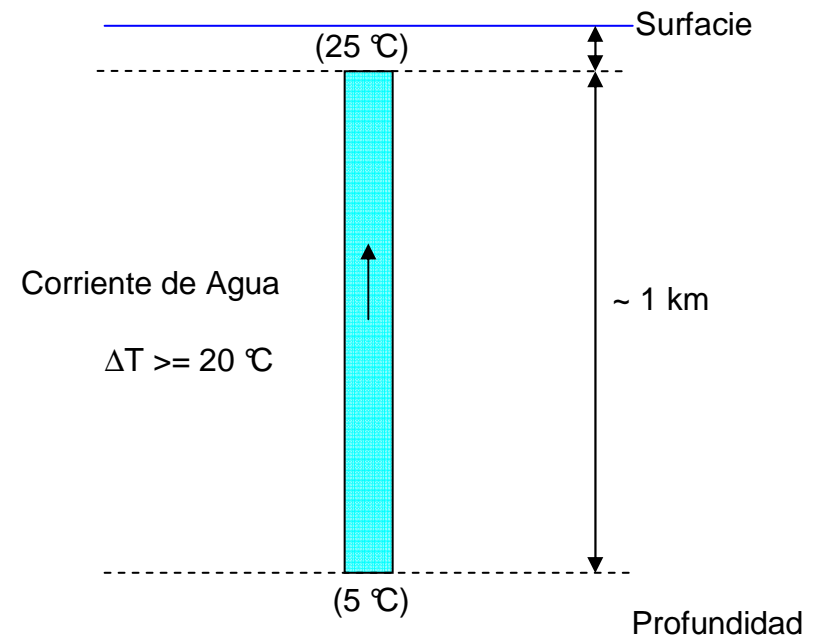
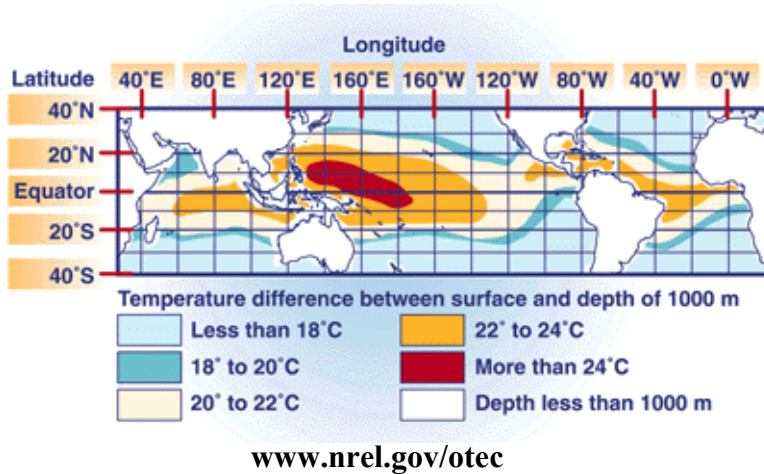
Sitio natural de la Isla Maré, Islas Loyauté (no explotado)

Atoll de Hao, archipel de Tuamotu
(no explotado)



Energía Térmica de los Mares (ETM)

El recurso radica en la diferencia de temperature del agua salina de superficie y honda en las zonas inter tropicales.



www.ifremer.fr



projet à Tahiti années 80

Barreras técnicas: - tubo de agua fría de gran diámetro y largitud
- intercambiador

Otras aplicaciones: desalación, climatización

Energías de biomasa (huiros marinos)

Las micro-algas almacenan ácidos grasos hasta el 50% de su peso en seco, su rendimiento por hectárea es 10 veces superior a lo de las especies oleaginosas terrestres.

Logran reciclar nitrógeno y fósforo por acoplamiento con una estación de depuración.

Las microalgas consumen directamente el dióxido de carbono resultante de la industria.

Se estima que existen entre 200 000 y varios millones de especies de huiros ; Tal diversidad inexplorada constituye un verdadero potencial para la investigación y la industria (producción de biocarburantes y biodiesel en particular).

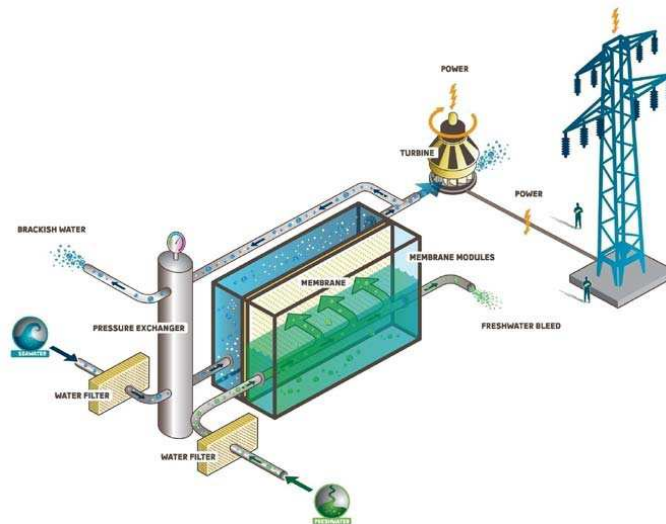
Laboratorio de Fisiología y Biotecnología de los huiros (IFREMER Nantes)

Energía osmótica (gradiente de salinidad)

La energía osmótica estriba en las presiones que ejercen los unos sobre los otros volúmenes de agua poca salina y fuertemente salina.

Colocar una membrana en el interfaz permite generar electricidad.

Varias técnicas complejas son disponibles.



Statkraft – Noruega

www.statkraft.com/energy-sources/osmotic-power/

Los modos de puesta a prueba

El conocimiento y el dominio de los métodos de dimensionamiento de los sistemas convertidores de energías marinas necesitan una puesta a prueba práctica a varias escalas :

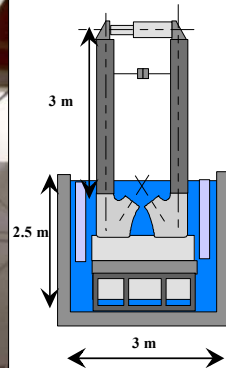
- ensayo de los materiales en bancos de prueba con análisis de su adaptabilidad al entorno marino
- ensayo de sistemas eléctricos en bancos
- ensayos en barreños de carena o de genie oceánico con análisis de las acciones de las olas, de los corrientes y del viento (escala $\sim 1/50$ a $1/10$)
- ensayos in situ en sitios dedicados (échelle $\sim 1/4$ à $1/1$)

Modos de puesta a prueba

Ensayos mecánicos en entorno marino:

Aleaciones metálicas

- Fenómenos de corrosión y protección
- Cansancio



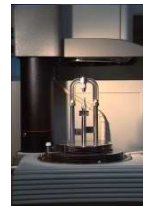
Ensayo de cansancio sobre un elemento de una estructura offshore

Compuestos y polímeros

- Evaluación de las propiedades
- Envejecimiento/vencimiento



Caracterización de líneas sintéticas



Filamento



Yarn 30 T

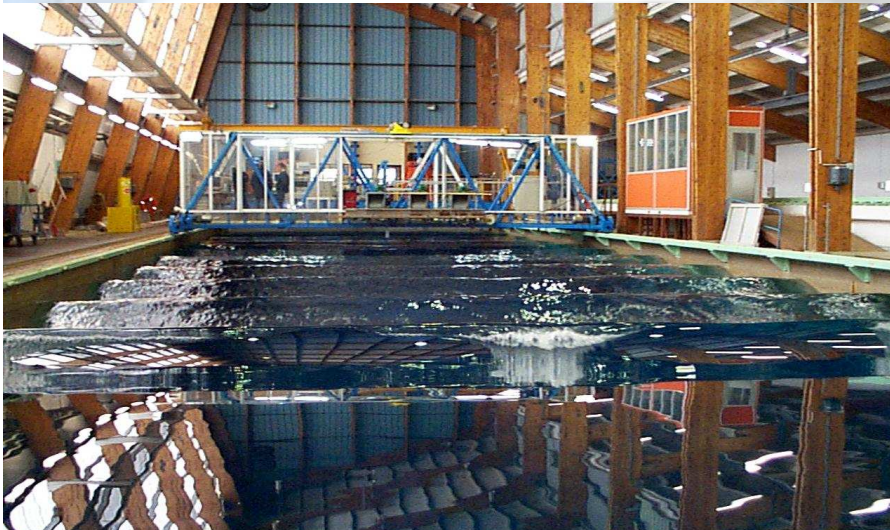


Rope 450-700T

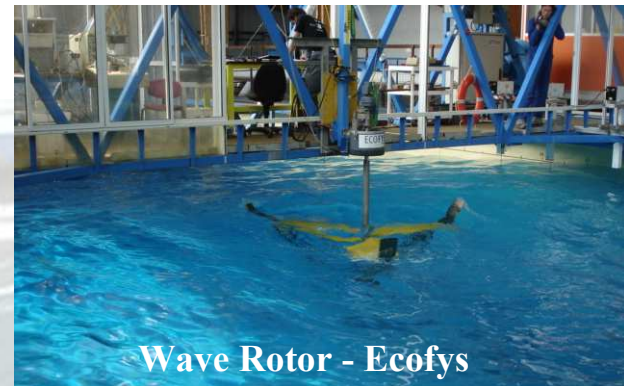
Corto plazo: rigidez- Largo plazo: deformación

Modos de puesta a prueba

Ensayos en barreños a escala reducida:



Fuente: www.ifremer.fr/boulogne/pages/activites/hydrodynamique/newsletter/index.htm



Wave Rotor - Ecofys

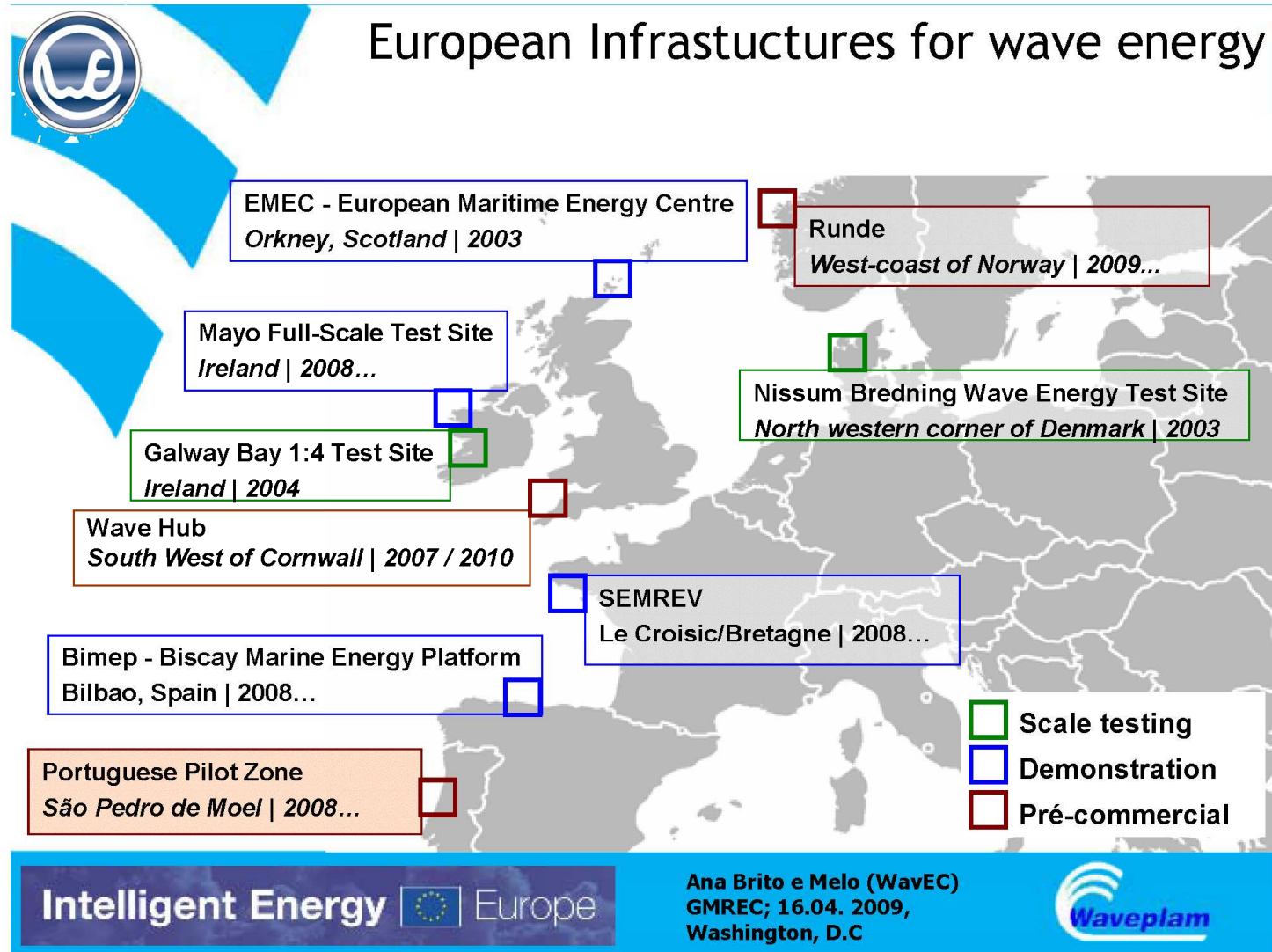


Multiple Oscillating Water Column
Orecon



Modos de puesta a prueba

Sitios de ensayo mar adentro a escala 1 :



Modos de puesta a prueba

Sitios de ensayo mar adentro a escala 1:

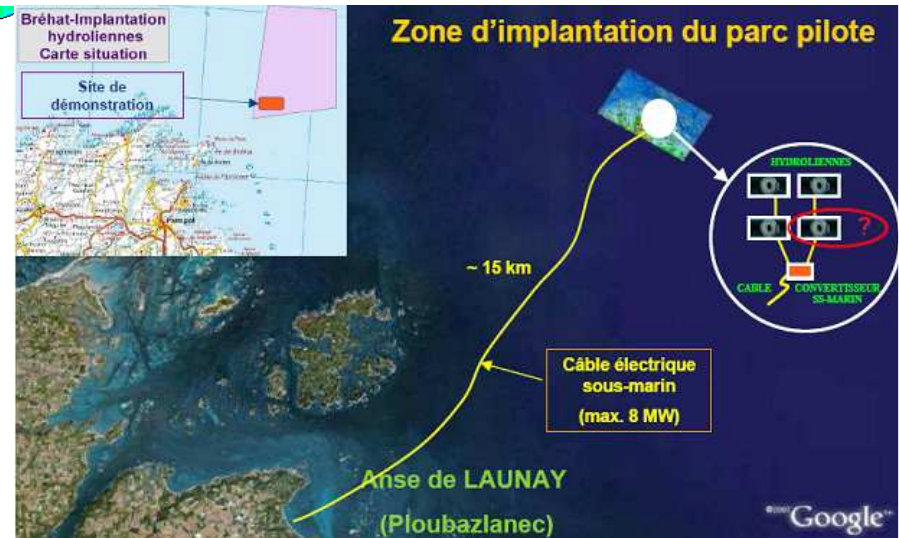
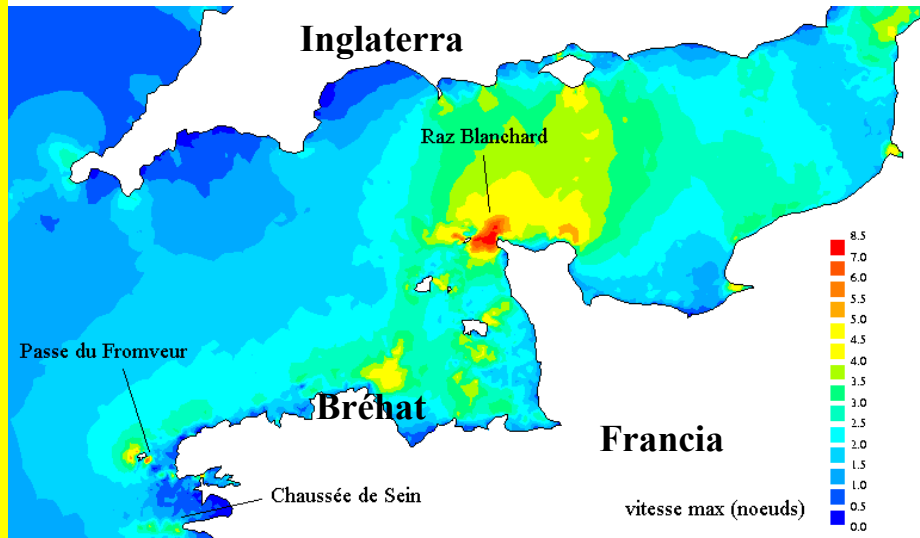
Sitio EMEC, Islas Orkney, Escocia www.emec.org.uk

Estudio de los sistemas de motor de corriente

Estudio de los sistema con motor de olas



Sitio de Bréhat, Francia, dedicado al estudio de los motores de corriente



Los actores de las energías marinas renovables

Los desarrolladores:

- « inventores » aislados
- grupos petroleros offshore
- astilleros (civiles, militares)
- suministradores de energía eléctrica
- suministradores de equipamiento (eléctricos, mecánicos)
- universidades asociados con industrias socias
- sociedades ingeniería y organismos de clasificación

Actores del estado:

- gobiernos, ministerios
- regiones, ayuntamientos
- agencias de desarrollo económico y medioambiental

Socios académicos :

- modelización teórica, numérica y experimental
- medios experimentales y de calculo
- sociología, derecho, economía, formación

Númerosas materias y actividades transversales :

- Oceanografía física, meteorología
- Mecánica de los fluidos, hidrodinámica
- Mecánica de estructuras, de materiales, química, corrosión
- Ingeniería oceanográfica, de control y medidas
- Ingeniería eléctrica
- Termodinámica,
- Geotécnica, geología
- Acoústica
- Biología
- Sociología, economía, derecho marítimo

Númerosas materias y actividades transversales que permiten estudiar:

- Los recursos energéticos marinos
modelización numérica, medidas in situ
- Reacción y rendimiento de los sistemas
modelización numérica
ensayos de laboratorio, sitios de ensayo mar adentro
- Traslado de la energía, conexión a las redes, almacenamiento
- Impactos medioambientales
acústicos, electromagnéticos, biológicos, sobre la sedimentación
- Impactos sociales
perjudicios, beneficios
conflictos y colaboraciones entre los utilizadores del dominio marítimo
empleos, formación,

Algunas fuentes de colaboración en Francia:

AMI ADEME

Peticiones de interés organizadas por la Agencia del Medioambiente y del Control de la Energía (AMI ADEME)

AAP IEED

Peticiones de Proyectos de Institutos de Excelencia Energías sin Carbono
IEED France Energies Marines

Proyecto EMACOP : Energías Marinas Costeras y Porteñas

Grupos de Trabajo al nivel nacional: IPANEMA, ANCRE, ...

Conferencias: Journées de l'Hydrodynamique, Clarom, SeaTechWeek,...

Formaciones: Maestría Energías Marinas Renovables (ENSTA Bretagne)



**Objetivo de creación de un
instituto especializado**



Terrenos



Construir un leadership industrial a escala mundial

- confluencia de sectores en punta (*off-shore petrolero, astillero, energético*)
- promover la sostenibilidad de esas tecnologías (*criterios de la UE*)

Consolidar la excelencia científica

- multi-disciplinaridad (*más allá de los equipos mono-temáticos de hoy*)
- sinergias privado/público (*varios estados de desarrollo tecnológico*)

Confirmar la validez de aquellas energías y reducir sus costos

- demostraciones / prototipos / proyectos pilotos (*gama de intervenciones con análisis*)
- compartir los medios (*simulación, experiencias, sitios de ensayo*)

Preparar los empleos futuros via una formación adecuada

- determinar las necesidades de formación inicial y continua
- difundir las herramientas pedagógicas (*junto a una base de datos e informaciones*)

Eólico Offshore

Motores de corriente

Mareomotor

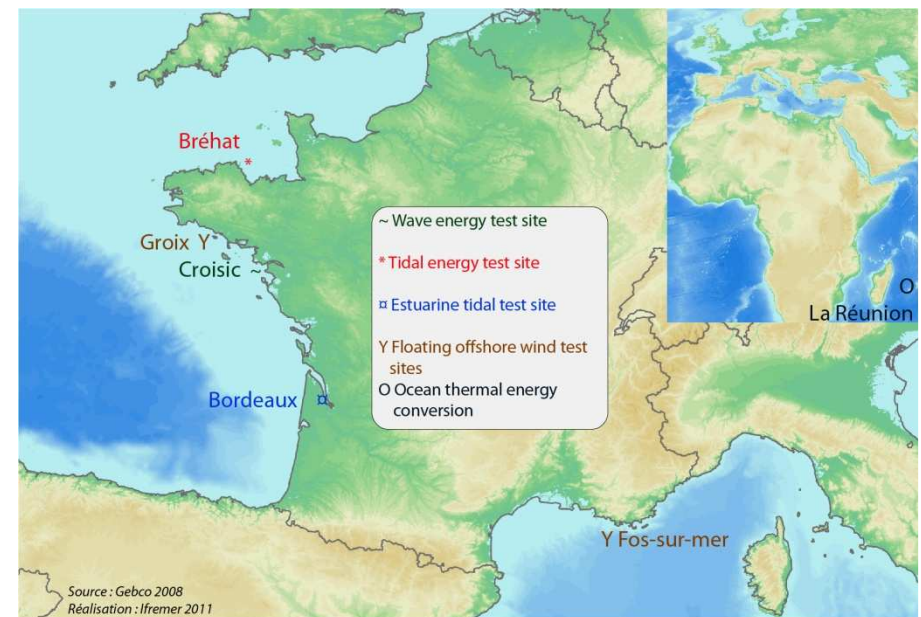
Motores de Olas

Energía térmica del mar

Asociaciones Públicas-Privadas involucrando más de 30 empresas y 20 instituciones públicas abarcando la totalidad de los actores principales del sector y la integralidad de los litorales franceses en Francia continental y ultramar



70 investigadores, ingenieros y técnicos
142 M€ en 10 años incluido 43 M€ en IA
5 sitios de ensayo





Socios:

Sector Público



Privado



Algunos impulsores de colaboraciones europeos :

Proyectos Europeos FP7 :

- **EQUIMAR** : Equitable Testing and Evaluation of Marine Energy Extraction Devices
in terms of Performance, Cost and Environmental Impact
www.equimar.org
www.wiki.ed.ac.uk/display/EquiMarwiki
- **MARINET** : **M**arine **R**enewables **I**nfrastructure **N**etwork
www.fp7-marinet.eu
- **INTERREG IV : MERIFIC**
« Energías Marinas en los Territorios Insularios y Periféricos »

Conferencias: **EWTEC**
www.ewtec.org

ICOE
www.icoe2012dublin.com

Formación e Investigación: varias universidades involucradas en el
terreno de las Energías Marinas Renovables

Agradezco su gentil atención

Marc LE BOULLUEC

El señor Marc Le Boulluec ha sido varias veces diplomado de la Escuela Nacional Superior de Mecánica de Nantes, en Francia, con especializaciones en mecánica e hidrodinámica. Se desempeña ahora como ingeniero en hidrodinámica en el Instituto Francés de Investigación para la Explotación del Mar (IFREMER), enfocándose en las energías renovables marinas. Ha liderado peritajes para instituciones tales como la Agencia Espacial Europea. Es autor de varias publicaciones alrededor de sus temas sucesivos de estudio que fueron la análisis de los cuerpos flotantes, el estudio de las estructuras de explotación petrolera offshore, y las técnicas renovables de energías marinas.

Contacto : Marc.Le.Boulluec@ifremer.fr

- El Instituto Francés para la Explotación del Mar (IFREMER), activo desde 1984, es el organismo público encargado de la observación científica y de la vigilancia del mar. También lidera la investigación (experimentaciones, peritajes, recomendaciones para las políticas públicas) con destino de lograr la sostenibilidad de las actividades marinas, tejiendo cooperaciones con otros organismos franceses y extranjeros en dicho campo.
- El IFREMER está desarrollando un Instituto de Excelencia para las Energías sin Carbono (IEED) dedicado a las Energías Marinas Renovables : Francia Energías Marinas.
- El IFREMER se ubica en Brest, Francia.
- Mayor Información en www.france-energies-marines.org para Francia-Energías-Marinas y www.ifremer.fr para el IFREMER.
- Contacto: contact@france-energies-marines.org

La Corporación Andina de Fomento y la Cooperación Regional para los Países Andinos dan las gracias a los expositores por haber compartido su peritaje, al público por su presencia y a todas las personas que trabajaron para que este acontecimiento tuviera el éxito que conoció.

Corporación Andina de Fomento
(CAF)

IGARCIA@caf.com

www.caf.com/

Cooperación Regional
para los Países Andinos

clement.larrauri@diplomatie.gouv.fr

<http://www.franceamsud.org/site/>