



Programa de Pós-Graduação em Energia - PPGE
Instituto de Energia e Ambiente - IEE
Universidade de São Paulo - USP

PEN 5002: Recursos e Oferta de Energia

Prof. Célio Bermann

Profa. Virgínia Parente

10ª aula - Energia Maremotriz e das Ondas

- . processos de conversão: aspectos tecnológicos
- . aspectos econômicos e ambientais

- . Grupo de alunos: usinas maremotrizes e das ondas em operação/potenciais (mundial, ALC e Brasil)

Tipologia de aproveitamentos energéticos no Mar:

- Energia Térmica dos Mares
- Energia dos gradientes de salinidade (Osmótica)
- Energia Maremotriz
- Energia das Correntes
- Energia das Ondas

Potencial e participação na oferta energética

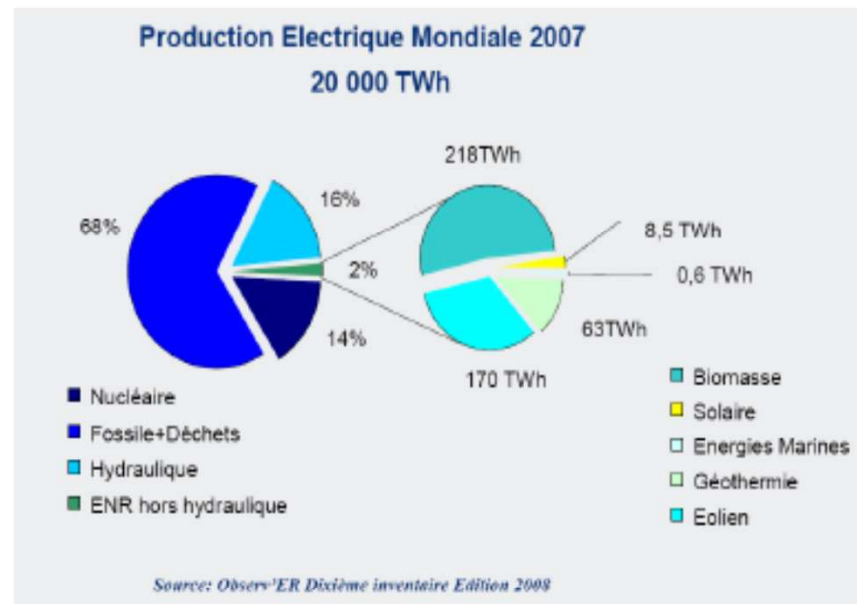
Enorme Potencial...

- Energia térmica dos mares: ~10.000TWh/ano
- Energia dos gradientes de salinidade (osmótica): ~2.000 TWh/ano
- Energia maremotriz: ~400TWh/ano
- Energia das correntes: ~450-800TWh/ano
- Energia das eólicas offshore: ~20.000TWh/ano
- Energia das ondas: ~8.000 a 80.000TWh/ano



No mínimo ~40.000TWh/ano

mas participação ainda modesta



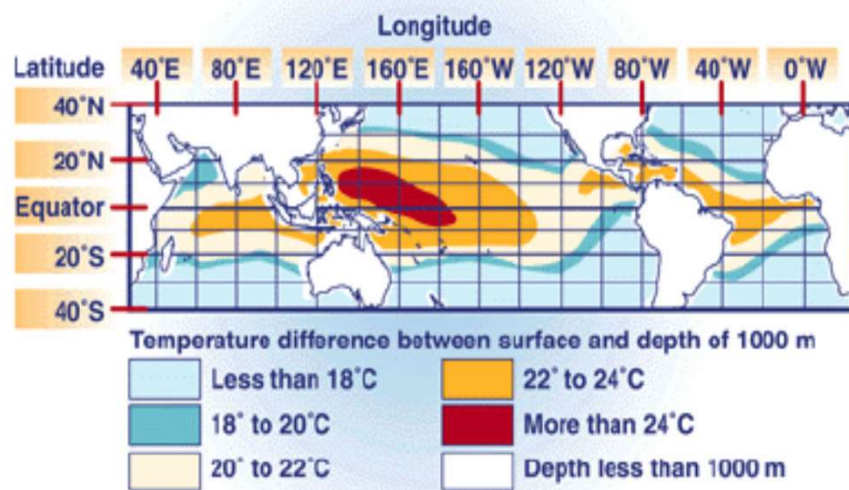
Fatores favoráveis ao desenvolvimento

- Muitos pontos de grande concentração populacional na costa
- Meta europeia de 20% em renováveis na oferta energética até 2020

Energia térmica dos mares

Princípio

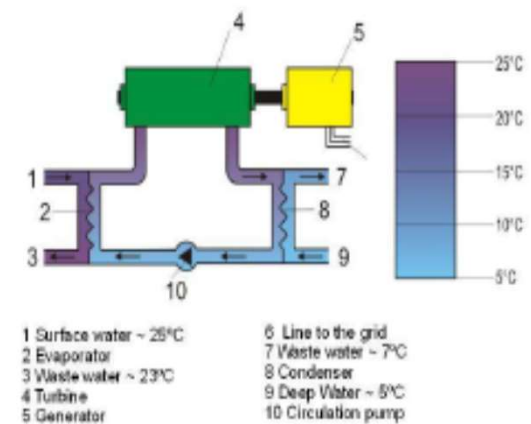
- Explorar a diferença de temperatura entre as águas da superfície e de grandes profundidades (~1000m)



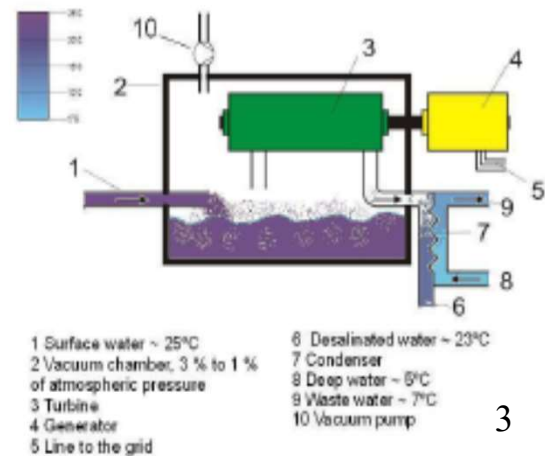
- Vantagem em relação às outras fontes:
 - Fonte contínua de energia
 - Associação a outros serviços (dessalinização, refrigeração...)

Tecnologias

Ciclo fechado



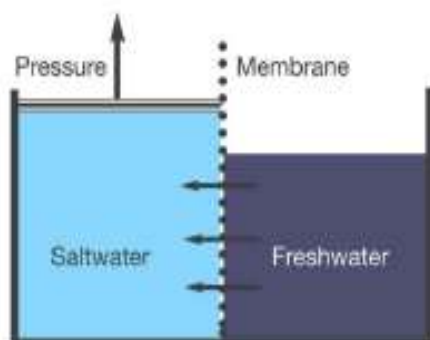
Ciclo aberto



Energia dos gradientes de salinidade (osmótica)

Princípio

- Explorar as diferenças de salinidade



- Os locais mais propícios são os encontros de rios com o mar

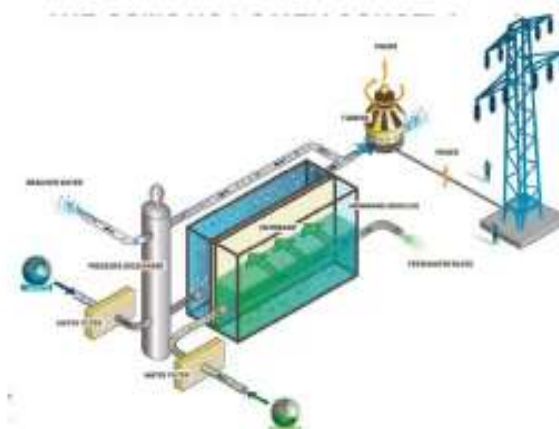


Obstáculos ao desenvolvimento:

- elevados custos de produção
- baixa capacidade das membranas

Tecnologias

Pressure retarded osmosis



Planta piloto na Noruega



Energia maremotriz

Princípios

- Derivada do movimento da água criado pelas marés, causadas pelas forças combinadas gravitacionais da lua e do sol
- Pode ser capturada de duas formas:
 - energia potencial (explorando mudanças no nível do mar)



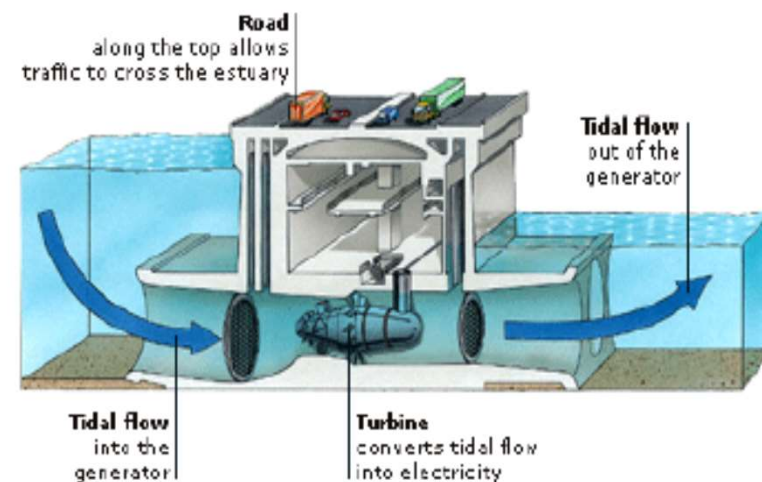
Barragens de maré

- energia cinética (explorando as correntes de maré)

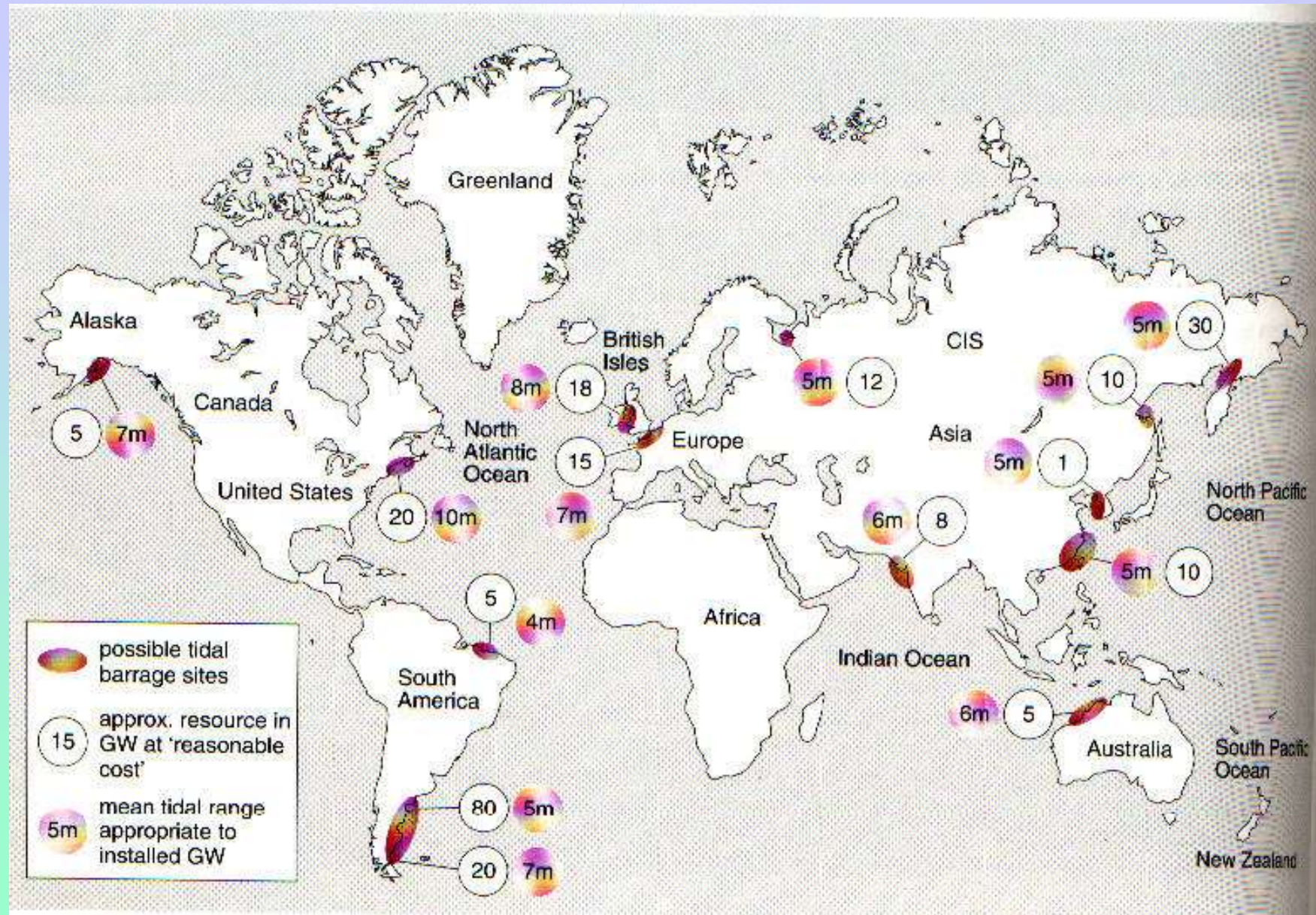


Geradores a fluxo de maré

Tecnologia



Energia das Marés



Energia Maremotriz

As ondas do mar possuem energia cinética devido ao movimento da água e energia potencial devido à sua altura. Energia elétrica pode ser obtida se for utilizado o movimento oscilatório das ondas. O aproveitamento é feito nos dois sentidos: na maré alta a água enche o reservatório, passando através da turbina, e produzindo energia elétrica, na maré baixa a água esvazia o reservatório, passando novamente através da turbina, agora em sentido contrário ao do enchimento, e produzindo energia elétrica.

A desvantagem de se utilizar este processo na obtenção de energia é que o fornecimento não é contínuo e apresenta baixo rendimento. As centrais são equipadas com conjuntos de turbinas bulbo, totalmente imersas na água. A água é turbinada durante os dois sentidos da maré, sendo de grande vantagem a posição variável das pás para este efeito. No entanto existem problemas na utilização de centrais de energia das ondas, que requerem cuidados especiais: as instalações não podem interferir com a navegação e têm que ser robustas para poder resistir às tempestades mas ser suficientemente sensíveis para ser possível obter energia de ondas de amplitudes variáveis. Esta energia é proveniente das ondas do mar. O aproveitamento energético das marés é obtido através de um reservatório formado junto ao mar, através da construção de uma barragem, contendo uma turbina e um gerador.

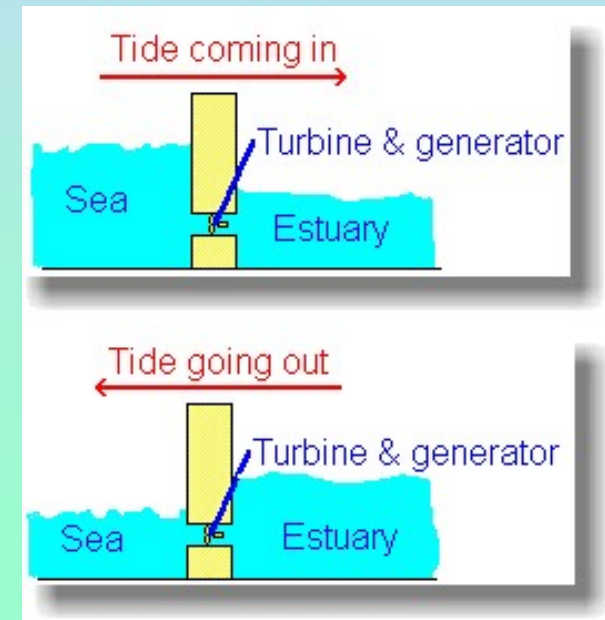
Sistema Maremotriz - *com reservatório*



Fonte: www.unisanta.com.br /Diretoria de Ensino/Santos

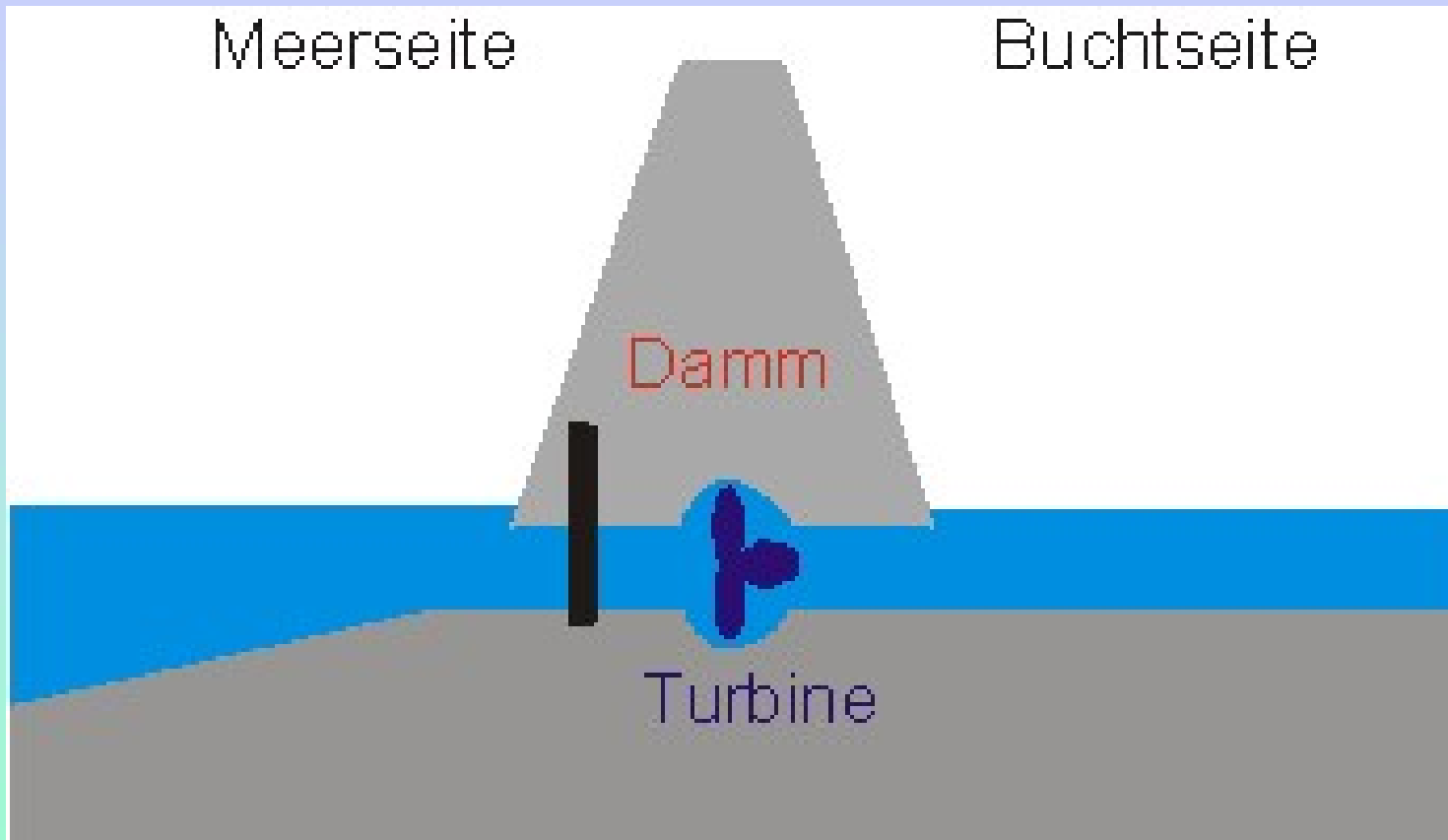
Aproveitamento energético:

- Reservatório junto ao mar - barragem;
 - Turbina (s) imersa (s) e gerador;
 - Sentido único ou sentido duplo;
-
- Movimento de fluxo das marés;
 - Movimentação comporta ligada a um sistema de conversão;
 - Geração de eletricidade.



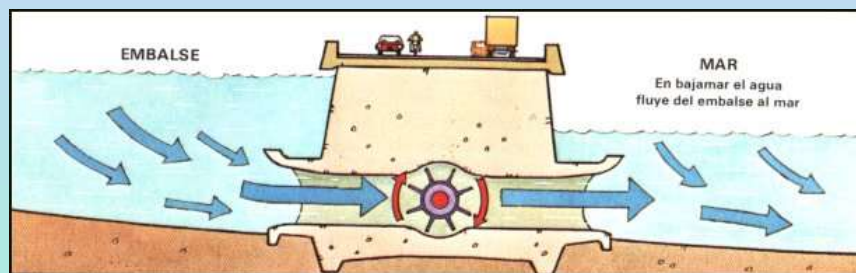
Fonte: www.unisanta.com.br /Diretoria de Ensino/Santos

Sistema Maremotriz - *com reservatório, sentido duplo*



Fonte: www.geocities.com.br

Sistema Maremotriz - *com reservatório*



Fonte: www.feg.unesp.br

Os Impactos das barragens

- ✓ Bloqueio / Redução da navegação;
- ✓ Reservatórios interferem em ciclos biológicos, impactos na biosfera;
- ✓ Impede a migração de peixes;
- ✓ Interferência na localização e tamanho das zonas intertidais;
- ✓ Alterações na turbidez da água - afetando fauna e flora locais;



Usina Maremotriz La Rance – França: 240 MW

A Usina de La Rance começou a ser construída em 1960, na costa da Bretanha (França). O sistema consiste em uma barragem de 332,5 m de comprimento que se estende por 750 m no estuário, e 22 km² de área da bacia, com o aproveitamento de um desnível de 8 m. A construção foi completada em 1967 com 24 turbinas tipo bulbo, de 5,4 m de diâmetro e capacidade de 10 MW cada unidade, conectada à rede de transmissão numa tensão de 225 kV.



Detalhe da turbina da Central Maremotriz La Rance (França)



Custo de geração: 18 cents €/kwh
contra 25 cents €/kwh da energia
nuclear.

FC = 40% (Geração anual: $240.000 \times 8760 \times 0,4 = 840.960.000$ kWh)



Project Name	Annapolis Royal Tidal Generating Station
Location	Annapolis River, Nova Scotia
Installed capacity	20MW
Technology Type	Tidal Impoundment Barrage
Project Type/Phase	Full scale experimental power plant
Year	Operational since 1984

Cálculo da Energia de uma Usina Maremotriz:

$$E_{\max} = \eta \times \rho \times g \times R^2 \times S$$

onde:

η = eficiência da conversão da energia mecânica em eletricidade

ρ = densidade da água do mar

g = aceleração da gravidade

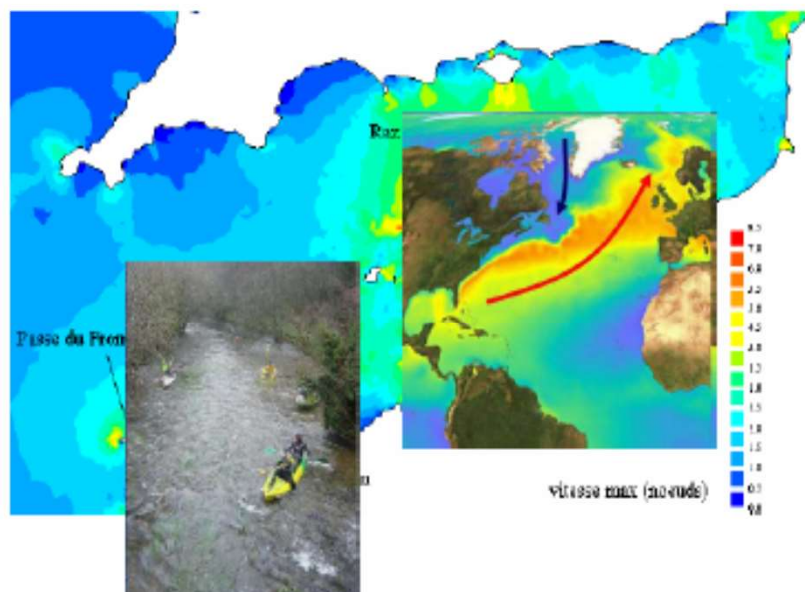
R = altura da maré

S = área total da baía

Energia das correntes

Princípio

- Semelhante às eólicas (energia cinética do fluido → energia mecânica → energia elétrica)
- Correntes de maré
- Correntes oceânicas
- Correntes fluviais



Tecnologias

Conceito	Construtor e país	Potência e estado de desenvolvimento
Seagen	Marine Current Turbines Ltd País : R.U.	2X600kW : já instaladas no estreito de Strangford
Open Hydro	OPENHYDRO Group Ltd País : Irlanda	500kW : em testes e conexão à rede prevista para 2012 (projeto Paimpol-Bréhat, EDF)
Tidal Generation	Tidal Generation Ltd País : R.U.	500kW : em testes no EMEC (European Marine Energy Centre) desde dez 2010.
HS1000	Hammerfest Stroem País : Noruega	300kW: Protótipo instalado e operando 1 MW: deve ser colocado em testes em breve no EMEC (previsão verão 2011)
Sabella D10	Sabella SAS País : França	200-500kW : em busca de financiamento
Pentland Firth (semi-submersible turbine)	TidalStream País : R.U.	Até 10MW por instalação (6 rotores – 1,67MW por rotor) Protótipo pequeno em testes no rio Tâmisa (Londres)

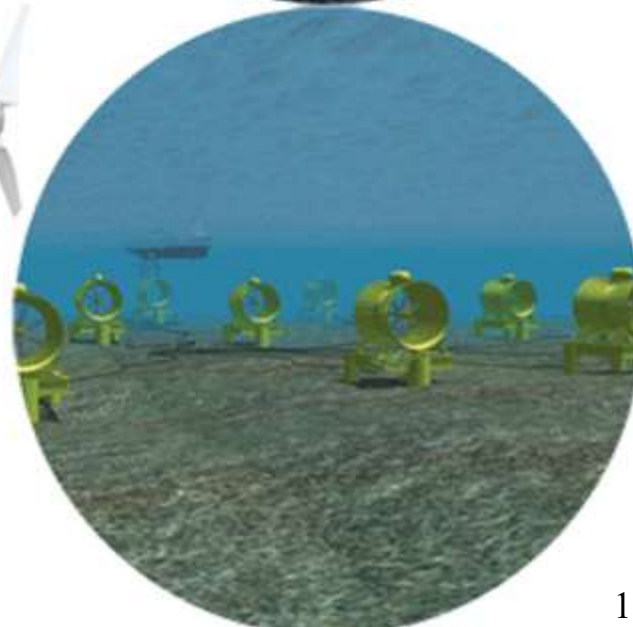
Correntes de Marés

Tal como acontece com as centrais de energia de contenção de água das marés, as tecnologias de correntes de marés dependem das marés criadas pela influência gravitacional da lua e do sol nos mares. Contudo, enquanto a tecnologia de contenção de água das marés utiliza a subida e descida do nível das águas do mar e a *energia potencial* das alturas de água num reservatório, a tecnologia de correntes de marés utiliza a *energia cinética* das correntes que entram e saem das zonas de marés.

É possível aproveitar a energia das correntes marítimas. As turbinas marítimas têm poucos componentes; engrenagens de posicionamento orientam as lâminas das turbinas na direção da corrente marítima e um gerador acoplado ao eixo da turbina fornece a energia elétrica.

Fonte: Aquaret

As tecnologias de correntes de marés estão concebidas para extrair a energia de fluxos rápidos nas correntes de marés.



Correntes de Marés

Project Name	Hammerfest Strøm
Location	Norway
Installed capacity	300 kW
Technology Type	Tidal stream horizontal axis turbine (Blue Concept)
Project Type/Phase	Prototype testing
Year	Installation, 17 September 2003

A Hammerfest Strøm desenvolveu a primeira turbina de marés com ligação à rede que foi instalada em Setembro de 2003 em Kvalsundet, ao largo de Hammerfest (Noruega), a uma profundidade de 50 metros. A turbina tem três pás de 10 metros que giram com as marés para produzirem mais de 300 kW de eletricidade e está assentada em tripés de 20 metros ancorados no fundo do mar.

Kvalsund county

- 1.088 habitantes; Consumo de eletricidade: ~ 21 GWh/ano
- Energia fornecida pela turbina 700 MWh/ano para 35 domicílios noruegueses

Meio Ambiente e Condições Naturais

- A parte mais estreita do estreito é de 400 m;
- A velocidade media da localidade é 1.8 m/s;
- a profundidade é de 50 m, permitindo barcos com calado de até 19 m.;
- artéria do trafego de navios;
- mamíferos marinos são comuns;
- área utilizada para pesca pela população local;

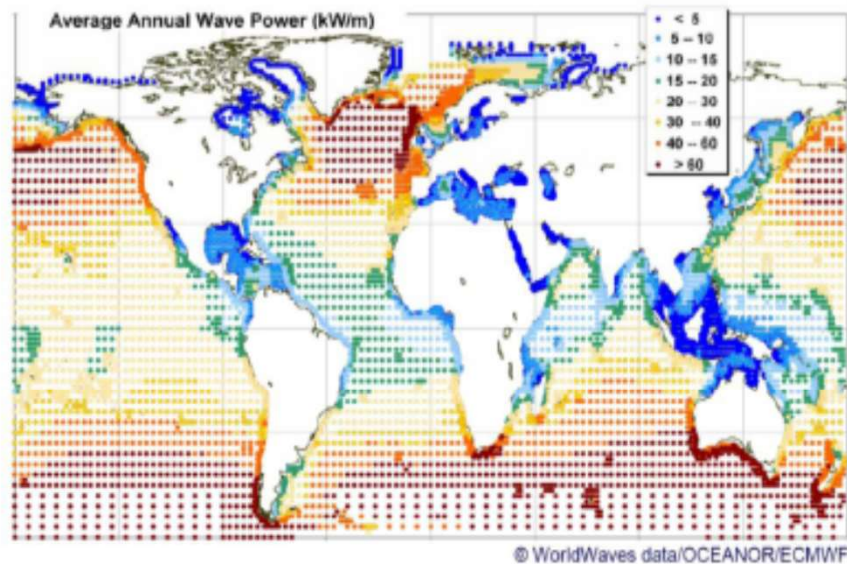


Deployment of the first grid connected marine turbine in Kvalsundet (Norway)

Energia das ondas

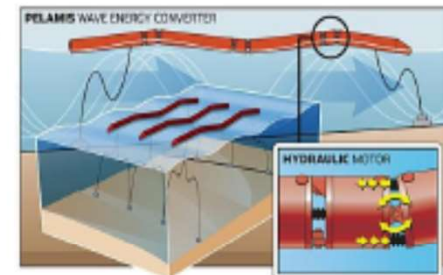
Princípio

- Sistemas variam muito em forma, tamanho e princípio operacional
- Localidades “complementares” à ETM

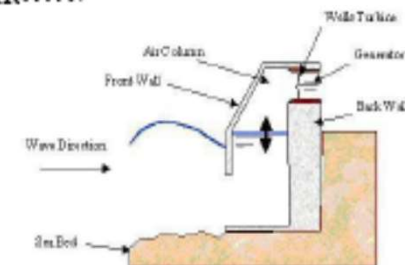


Tecnologias

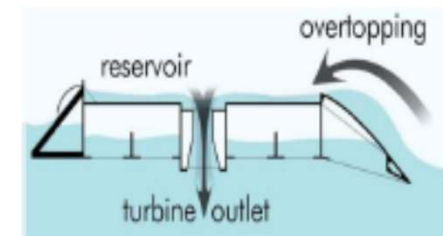
- Corpos oscilantes



- Coluna de água oscilante



- Overtopping



Energia das Ondas:

Os geradores utilizam o quase incessante movimento das ondas para gerar energia. Uma câmara de concreto construída na margem é aberta na extremidade do mar de maneira que o nível da água dentro da câmara suba e desça a cada onda sucessiva. O ar acima da água é alternadamente comprimido e descomprimido, acionando uma turbina conectada a um gerador

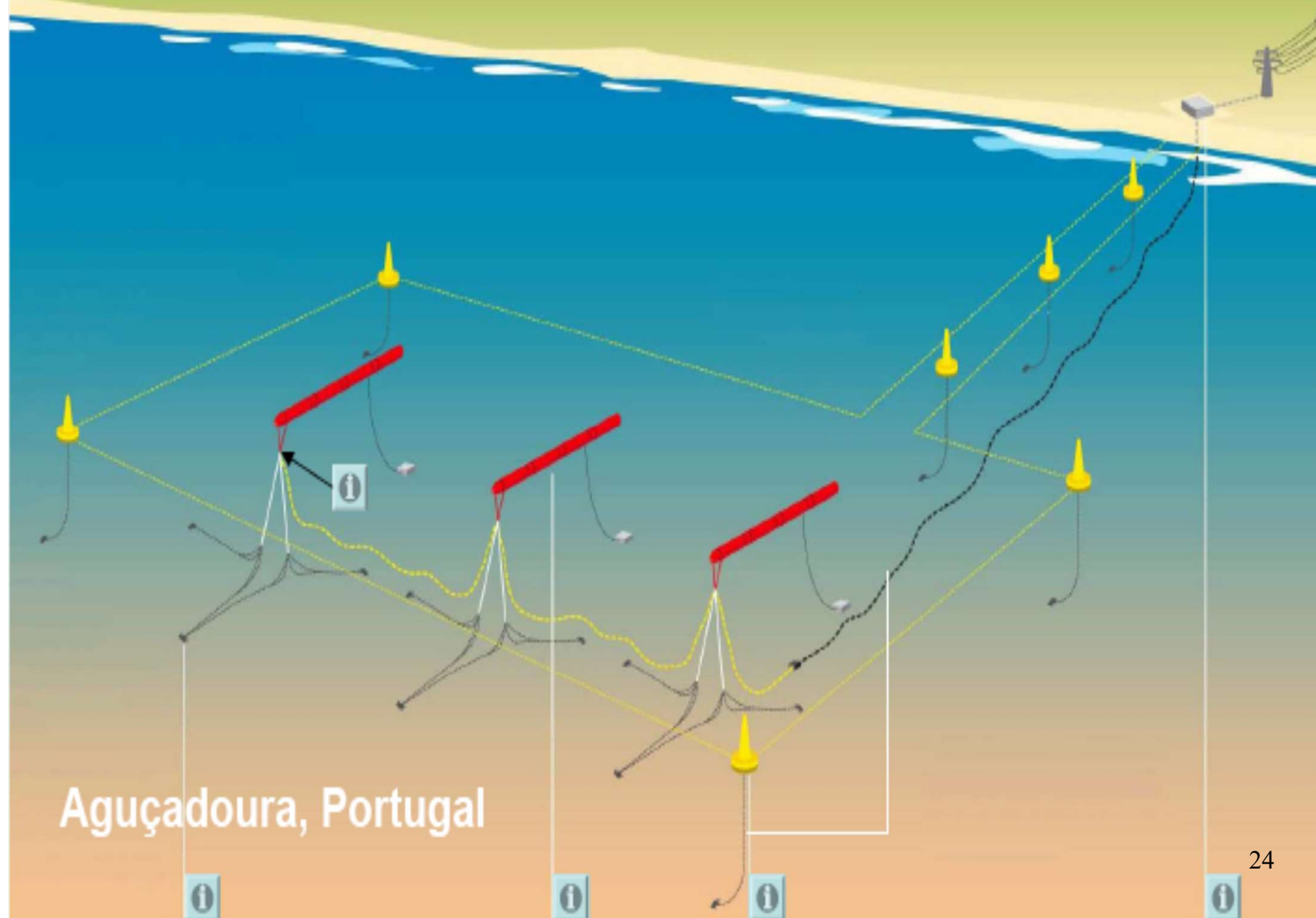
Project Name	Okeanós: Pelamis wave energy farm Portugal Project Three P1-A Pelamis machines
Location	Aguçadoura/ Póvoa de Varzim, Northern Portugal
Installed capacity	3 * 750 kW = 2.25 MW; plans exist to extend to 30 devices (22.5 MW)
Technology Type	Pelamis: Floating articulated attenuator
Project Type/Phase	Commercial contract
Year	Construction of devices terminated in 2006, later assembly and partly testing by early 2008; installation summer 2008

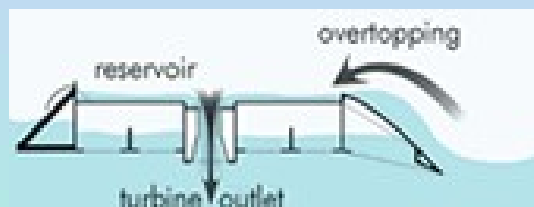
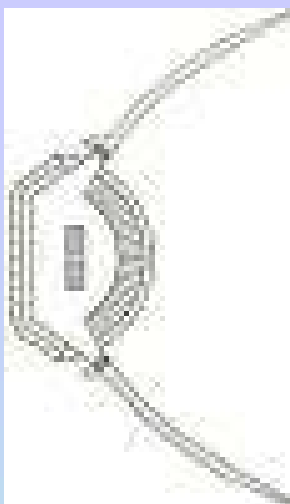
O parque de ondas Aguçadoura utiliza três conversores Pelamis Wave Energy, os quais são estruturas cilíndricas articuladas, semi-submersas e compostas por secções ligadas por juntas articuladas. As máquinas têm um comprimento total de aproximadamente 142 metros e um diâmetro de 3,5 metros, pesando cada uma aproximadamente 700 toneladas. Em cada um dos três módulos de potência existem dois geradores com potência nominal de 125 kW. Cada máquina tem assim uma potência global de 750 kW.

Fonte: Aquaret



ESQUEMA DO PARQUE DE ONDAS DA AGUÇADOURA





Energia-das Ondas - Wave Dragon (Dinamarca)

A usina Wave Dragon produz energia elétrica a partir das ondas do mar. O protótipo está em fase de ensaio e possui uma capacidade de 4 – 7 MW cada unidade.

Esta construção, que em sua totalidade alcança 250 metros, é composta por dois braços de 126 metros que encaixam a força das ondas até o corpo central, construído em aço de 8 mm de espessura, pesando mais de 150 toneladas, ao que se deve somar outras 87 toneladas de peso da água, obtendo assim o peso ideal para que a plataforma possa trabalhar.

Apesar das aparências seu funcionamento é muito simples. As ondas são dirigidas até o corpo central mediante os braços da plataforma, onde a água recolhida faz girar as turbinas instaladas. É a rotação das turbinas que gera a eletricidade. De modo que a localização da planta, seu tamanho e sua capacidade dependerão, em grande medida, das circunstâncias e da força das ondas em cada lugar.





Energia das Ondas:

Dada uma onda de largura L , a potência disponível em um ciclo de onda é dada por:

$$P = \frac{P}{L} = \rho \times g^2 \times h^2 \times T / 32 \pi$$

onde:

ρ = densidade da água do mar

g = gravidade

h = amplitude total da onda (do ponto mais alto para o ponto mais baixo)

T = período da onda em segundos (igual ao inverso da frequência)

A Energia das Ondas: impactos

As interações ambientais das tecnologias de energia das ondas são limitadas, tendo em conta que a seleção dos locais é feita de modo prudente e que o seu desenvolvimento em locais sensíveis é feito de modo controlado. O ruído pode ter uma interação potencialmente negativa em zonas com cetáceos, mas ainda não existem provas disso e é necessário estudar esta questão mais detalhadamente. Existem outros impactos resultantes da instalação de cabos elétricos e dos sistemas de funcionamento e de ancoragem, mas são controláveis.

A interação mais problemática pode ser a utilização do espaço do oceano, o que pode competir com atividades de pesca e de navegação. A interação visual pode ser significativa para os dispositivos na linha costeira e perto da costa, todavia, espera-se que estes tipos de dispositivos tenham apenas uma contribuição marginal na exploração deste recurso.

Um argumento potencialmente forte para as sinergias entre a energia das ondas e as pescas é que a criação de reservas será um efeito secundário de grandes parques de energia das ondas, que, em geral, estarão fechados ao tráfego marítimo numa área de vários quilômetros quadrados.

Plataformas multi-energéticas

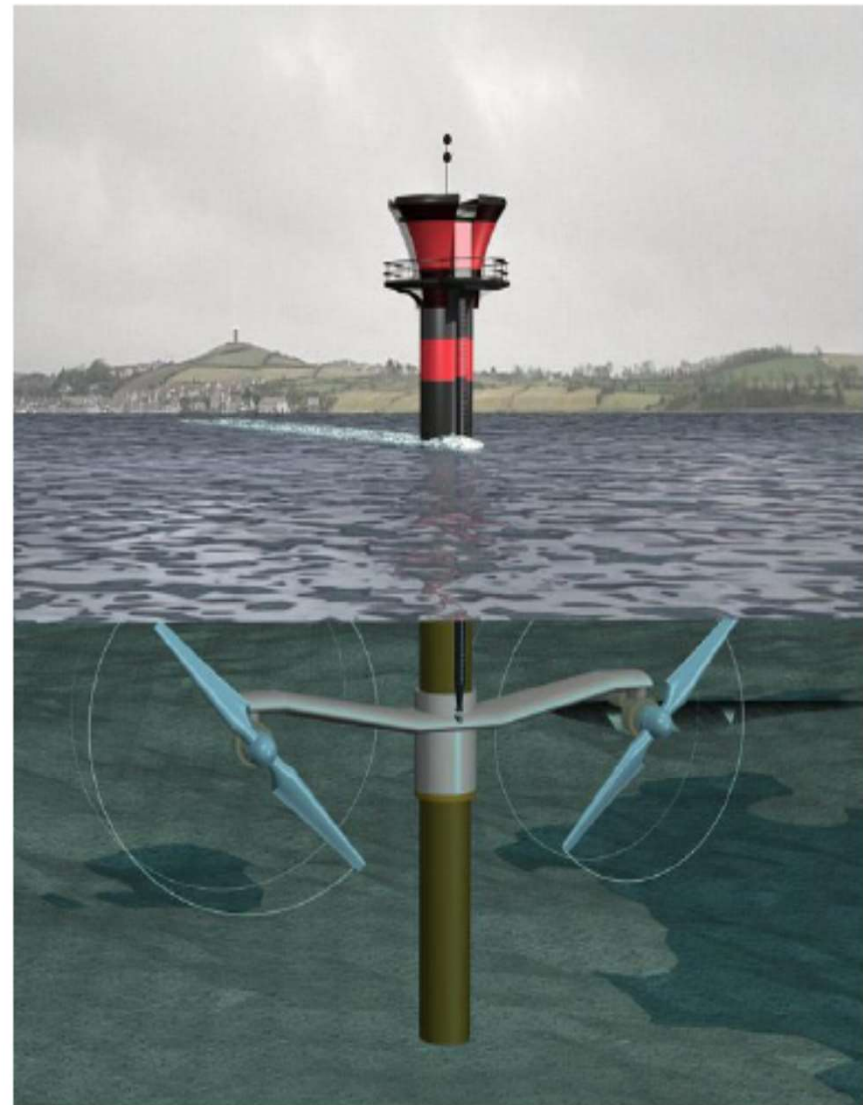


Strangford Lough - Irlanda do Norte

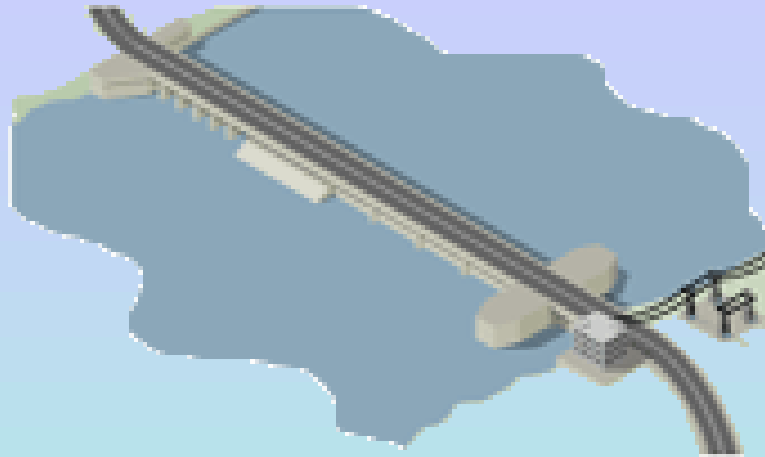


Turbinas

- Sistema duplo de turbinas
- Pilar de suporte de 3m de diâmetro, 9 m acima do nível médio do mar
- Rotores: 8 m de raio e iniciam a geração de energia a 1 m/s de velocidade de corrente



A Energia do mar



Energía del Mar

Las mareas y las olas producen fuerzas que pueden utilizarse
para la generación de energía eléctrica

pulsa

Para acceso ao infográfico:

http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2005/02/23/140205.php