

Las transparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, ...) y elaborar sus propios apuntes

Departamento: Ingeniería Eléctrica y Energética
 Área: Máquinas y Motores Térmicos

CARLOS J RENEDO renedoc@unican.es
 Despachos: ETSN 236 / ETSIIT S-3 28
<http://personales.unican.es/renedoc/index.htm>
 Tlfn: ETSN 942 20 13 44 / ETSIIT 942 20 13 82

1

- Introducción
- Panorama Energético Nacional
- Algunas “Curiosidades”
- Las EERR en la Unión Europea
- Visión de las Energías Renovables
- Búsqueda de Información Científica
- **Energías de las Olas, Mareas y Corrientes**
- Tecnologías de Aprovechamiento
- Turbinas Hidráulicas
- Energía Térmica Marina
- Velas
- Algas Marinas

Parte 1ª

Parte 2ª

Parte 3ª

Parte 4ª

Parte 5ª

Parte 6ª

Parte 7ª

Parte 8ª

Virtual

Virtual

2

Centrales en Europa:

United Kingdom			
Limpet	0,5 MW	2000	Connecté
Open Center Turbine	0,25 MW	2008	Connecté
SeaGen	1,2 MW	2008	Connecté
Pulse Stream 100	0,1 MW	2009	Connecté
Oyster 2	0,8 MW	2009	Connecté
E.ON Pelamis P2	0,75 MW	2010	En test
Scottish Power Pelamis P2	0,75 MW	2011	En test
Atlantis AK 1000	1 MW	2010	En test
DeepGen Tidal Generation	0,5 MW	2010	En test
Andritz Hydro Hammerfest	1 MW	2011	En test
Scotrenewables Tidal Power	0,25 MW	2011	En test
Volth Hydro	1 MW	2012	En Installation
Wello	0,6 MW	2012	En test
Neptune	NC	2012	Connecté
Portugal			
OWC Pico	0,4 MW	1998	Connecté
Pelamis	2,25 MW	2008	Suspendu

3

Centrales en Europa:

Objetivo en 2020 paso de 3.6 a 2.2 GW

United Kingdom			
Limpet	0,5 MW	2000	Connecté
Open Center Turbine	0,25 MW	2008	Connecté
SeaGen	1,2 MW	2008	Connecté
Pulse Stream 100	0,1 MW	2009	Connecté
Oyster 2	0,8 MW	2009	Connecté
E.ON Pelamis P2	0,75 MW	2010	En test
Scottish Power Pelamis P2	0,75 MW	2011	En test
Atlantis AK 1000	1 MW	2010	En test
DeepGen Tidal Generation	0,5 MW	2010	En test
Andritz Hydro Hammerfest	1 MW	2011	En test
Scotrenewables Tidal Power	0,25 MW	2011	En test
Volth Hydro	1 MW	2012	En Installation
Wello	0,6 MW	2012	En test
Neptune	NC	2012	Connecté
Portugal			
OWC Pico	0,4 MW	1998	Connecté
Pelamis	2,25 MW	2008	Suspendu
France			
Barrage de La Rance	240 MW	1966	Connecté
OpenHydro, Palmpol-Bréhat	0,5 MW	2011	En test
Hydro Gen 2	0,01 MW	2010	En test
Spain			
Mutriku OWC – volth Wavegen	0,3 MW	2011	Connecté
Denmark			
Poseidon	0,13 MW	2008	En test
Wave Star	0,055 MW	2009	En test
Ireland			
OE Buoy	0,015 MW	2006	En test
Netherlands			
Tocado	0,045 MW		En test
C-Energy	0,03 MW	2009	En test
Finland			
Wave roller	0,013 MW	2006	Connecté
Sweden			
Lysekil	0,1 MW	2005	En test

Source: EurObserver/ER 2012

4



1

Ocean energy capacity installed in the European Union at the end of 2018 (MW)

Ocean Energy (MW)

	2017					2018				
	Wave	Tidal stream	Tidal range	Others	Total	Wave	Tidal stream	Tidal range	Others	Total
France*	0.0	0.0	218.9	0.0	218.9	0.0	0.0	218.0	0.0	218.0
United Kingdom**	5.7	12.7	0.0	0.0	18.4	5.7	14.7	0.0	0.0	20.4
Spain	0.3	0.0	0.0	4.5	4.8	0.3	0.0	0.0	4.5	4.8
Portugal***	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4
Total EU 28	6.4	12.7	218.9	4.5	242.5	6.4	14.7	218.0	4.5	243.6

* In France only the capacity of La Rance tidal power plant is taken into account in official statistics. The total power of this plant is 240 MW but includes a pumped storage device. Only renewable capacity part is taken into account in this table. ** In the UK, devices are not permanently deployed at test sites, therefore operational project does not mean that the devices are in the water permanently. *** In Portugal, the Pico Wavec plant (0.4 MW), located in the Azores was disconnected on 17th April 2018. Source: Eurostat (technology breakdown by EuroObservER)

2019
EDITION
19th EuroObserv ER Report

2

Electricity production from ocean energy in the European Union in 2017 et 2018 (GWh)

Ocean Energy (GWh)

	2017					2018				
	Wave	Tidal stream	Tidal range	Others	Total	Wave	Tidal stream	Tidal range	Others	Total
France*	0.0	0.0	521.7	0.0	521.7	0.0	0.0	479.9	0.0	479.9
United Kingdom	0.0	4.2	0.0	0.0	4.2	0.0	9.3	0.0	0.0	9.3
Portugal	0.006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0
Spain	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total EU 28	0.0	4.2	521.7	0.0	525.9	0.0	9.3	479.9	0.0	489.2

* The electricity production of La Rance tidal power plant, taking into account pumped storage, was 565 GWh in 2017 and 522 GWh in 2018. Source: Eurostat (technology breakdown by EuroObservER)

5



3

List of European Union plants harnessing ocean energy at the end of 2018

Summary	Device Developer	Technology	Commissioning year	Location	Total capacity (kW)	Number of turbines
France						
Estuary of the Rance*	EDF	Tidal Range	1966	Richardais-Saint Malo	240.0	1
EEL at Brest	EEL	Tidal Stream	2017	Port of Brest	0.010	1
Ouessant	Sabella	Tidal Stream	2018	Brittany - Fromveur	1.0	1
Test in La Rochelle	HACE	Wave energy	2018	Port of la Rochelle	0.050	1
Test in Seeneoh	DesignPro Renewables and Mitsubishi Electric	Tidal Stream	2018	Seeneoh	0.025	1
Test p66	Guinard Energies	Tidal Stream	2018	Port of Brest	0.004	1
Total France					241.089	
United Kingdom						
Open Hydro scale demonstration	Naval Energies	Tidal Stream	2006	EMEC, Scotland	0.250	1
Eco Wave Power - Gibraltar	Eco Wave Power	Wave energy	2016	Gibraltar	0.100	1
MeyGen phase 1A	Andritz	Tidal Stream	2016	Pentland Firth, Scotland	4.500	3
Scotrenewables Tidal Power Ltd	Orbital Marine Power	Tidal Stream	2016	EMEC, Scotland	2.0	2
MeyGen phase 1A	SIMEC Atlantis Energy	Tidal Stream	2016	Pentland Firth, Scotland	1.500	1
Shetland tidal array	Nova Innovation	Tidal Stream	2016	Bluemull Sound, Shetland, Scotland	0.300	3
Mingary Bay	Albatern	Wave energy	2016	Mingary Bay, Scotland	0.045	1
EMEC	Wello Oy	Wave energy	2017	EMEC, Scotland	1.0	1
Nautricity demonstration EMEC	Nautricity	Tidal Stream	2017	EMEC, Scotland	0.500	1
Sustainable Marine Energy Platform	Schottel Hydro	Tidal Stream	2017	Connell Sound, Scotland	0.280	4
InToTidal	Tocado	Tidal Stream	2017	EMEC, Scotland	0.250	1
HiWave	CorPower Ocean	Wave energy	2017	EMEC, Scotland	0.025	1
Marine Power Systems	Marine Power Systems	Wave energy	2017	Ramsey Sound, Pembrokeshire, Wales	0.010	1
Magallanes Renewables EMEC demonstration	Magallanes Renewables	Tidal Stream	2018	EMEC, Scotland	2.0	1
Fish farm shetland	Aqua Power Technologies	Wave energy	2018	Shetland, Scotland	0.005	1
Holyhead Deep	Minesto	Tidal Stream	2018	Anglesey, Wales	0.5	1
Total United Kingdom***					13.265	

Spain							
Voith Hydro, Ente Vasco de la Energía (EVE) Project	Voith Hydro	Wave energy	2011	Pais Vasco	0.296	16	
Planta de Huelva, OTEC (between ocean and Liquefied natural gas)	Enagas	OTEC	2013	Huelva, Andalusia	4.5	1	
Wedge	Wedge	Wave energy	2014	Plocan, Gran Canaria	0.2	1	
Oceantec - oscilating water column prototype	Oceantec	Wave energy	2016	Biscay Marine Energy Platform	0.030	1	
Total Spain					5.026		
Netherlands							
IHC Merwede	IHC Merwede	Wave energy	2009	Western schelde	0.030	1	
Afsluitdijk project (reverse electrolysis techno)	Redstack	Gradient Salinity	2014	Afsluitdijk	0.005	1	
Oosterschelddedam	Tocado	Tidal Stream	2015	Oosterschelddedam	1.250	5	
Tocado Afsluitdijk	Tocado	Tidal Stream	2015	Afsluitdijk	0.3	3	
Total Netherlands					1.585		
Sweden							
Seabased - Sotenas Phase 1A**	Seabased	Wave energy	2016	Sotenäs	1.080	36	
Total Sweden					1.080		
Portugal							
Wavec	n.a.	Wave energy	1999	Azores	0.4	1	
Total Portugal					0.4		
Italy							
Messina Strait	ADAG	Tidal Stream	2000	Strait of Messina	0.050	1	
Wave for Energy	Wave for Energy	Wave energy	2015	n.a.	0.2	1	
Port of Naples	University of Campania	Wave energy	2015	Port of Naples	0.003	3	
Wavenergy	Wavenergy	Wave energy	2016	Civittavecchia	0.020	1	
40South Marina di Pisa	40South energy	Wave energy	2018	Marina di Pisa	0.050	1	
Adriatic	OPT	Wave energy	2018	Adriatic	0.003	1	
Total Italy					0.326		
United Kingdom							
demonstration	vables	Tidal Stream	2020	EMEC, Scotland	2.0	1	
Fish farm shetland	Aqua Power Technologies	Wave energy	2018	Shetland, Scotland	0.005	1	
Holyhead Deep	Minesto	Tidal Stream	2018	Anglesey, Wales	0.5	1	
Total United Kingdom***					13.265		

Spain							
Voith Hydro, Ente Vasco de la Energía (EVE) Project	Voith Hydro	Wave energy	2011	Pais Vasco	0.296	16	
Planta de Huelva, OTEC (between ocean and Liquefied natural gas)	Enagas	OTEC	2013	Huelva, Andalusia	4.5	1	
Wedge	Wedge	Wave energy	2014	Plocan, Gran Canaria	0.2	1	
Oceantec - oscilating water column prototype	Oceantec	Wave energy	2016	Biscay Marine Energy Platform	0.030	1	
Total Spain					5.026		
Denmark							
Wavepiston at DanWEC prototype project	Wavepiston	Wave energy	2017	Danish Wave Energy Centre, Hanstholm	0.012	1	
Test in Denmark	Crestwing	Wave energy	2018	Port of Fredrikshaven	0.3	1	
Wavepiston at DanWEC prototype project	Wavepiston	Wave energy	2018	Danish Wave Energy Centre, Hanstholm	0.012	1	
Total Denmark					0.324		
Belgium							
Demo antwerp	Water2Energy	Tidal Stream	2018	Port of Antwerp	0.150	1	
Total Belgium					0.150		
Greece							
Port of Heraklion	SINN Power	Wave energy	2016	Heraklion	0.024	1	
Port of Heraklion	SINN Power	Wave energy	2017	Heraklion	0.048	2	
Port of Heraklion	SINN Power	Wave energy	2018	Heraklion	0.048	2	
Total Greece					0.120		
Total EU28					263.365		
<p>* The 240 MW La Rance Tidal range power station includes some pumped storage capacity. ** Because of the increased efficiency of the new generators, the 36 WECs of the Seabased Sotenas project suggest an installed capability up to 3 MW instead of 1 MW. *** There is a discrepancy between the BEIS official data on the total capacity of marine energy installed in the United Kingdom and those from the Ocean Energy Europe database, which has withdrawn some projects, considering that they are no longer operational. Source: Ocean Energy Europe 2019 (for wave and tidal stream projects). EurObserv'ER 2019 (for tidal range projects, salinity gradient and ocean thermal energy projects)</p>							
Italy							
Port of Naples	University of Campania	Wave energy	2015	Port of Naples	0.003	3	
Wavenergy	Wavenergy	Wave energy	2016	Civittavecchia	0.020	1	
40South Marina di Pisa	40South energy	Wave energy	2018	Marina di Pisa	0.050	1	
Adriatic	OPT	Wave energy	2018	Adriatic	0.003	1	
Total Italy					0.326		
United Kingdom							
demonstration	vables	Tidal Stream	2020	EMEC, Scotland	2.0	1	
Fish farm shetland	Aqua Power Technologies	Wave energy	2018	Shetland, Scotland	0.005	1	
Holyhead Deep	Minesto	Tidal Stream	2018	Anglesey, Wales	0.5	1	
Total United Kingdom***					13.265		

Energía de las Olas (Wave Energy)

http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

Centrales en Operación

CENTRAL	MW	PAIS
Orkney Wave Power Station	2,4	United Kingdom
Aguçadoura Wave Farm	2,25	Portugal
Islay Limpet	0,5	United Kingdom
Mutriku Breakwater Wave Plant	0,3	Spain
SDE Sea Waves Power Plant	0,04	Israel

9

Energía de las Olas (Wave Energy)

http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

DISPOSITIVO	FABRICANTE	METODO DE CAPTACION
Anaconda Wave Energy Converter	Checkmate SeaEnergy	Surface-following attenuator
AquaBuOY	Finavera Wind Energy, SSE Renewables Limited	Buoy
AWS-III	AWS Ocean Energy	Surface-following attenuator
CETO Wave Power	Carnegie	Buoy
Cycloidal Wave Energy Converter	Atargis Energy Corporation	Fully Submerged Wave Termination Device
Flanders Electricity from the Sea	FlanSea	Buoy
Islay LIMPET	Islay LIMPET	Oscillating water column
Lysekil Project	Uppsala University	Buoy
Oceanlinx	Oceanlinx	Buoy

10

Energía de las Olas (Wave Energy)

http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

DISPOSITIVO	FABRICANTE	METODO DE CAPTACION
OE Buoy	Ocean Energy	Buoy
Oyster Wave Energy Converter	Aquamarine Power	Oscillating wave surge converter
Pelamis Wave Energy Converter	Pelamis Wave Power	Surface-following attenuator
PowerBuoy	Ocean Power Technologies	Buoy
40South Energy Wave Energy Converter	40South Energy	Underwater attenuator
SDE Sea Waves Power Plant	SDE Energy Ltd.	Buoy
SeaRaser	Alvin Smith (Dartmouth Wave Energy)\ Ecotricity	Buoy

11

Energía de las Olas (Wave Energy)













http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

DISPOSITIVO	FABRICANTE	METODO DE CAPTACION
Ocean Wave-Powered Generator	SRI International	Buoy
Wavebob	Wavebob	Buoy
Wave Dragon	Erik Friis-Madsen	Overtopping device
WaveRoller	AW-Energy Oy	Oscillating wave surge converter
Wave Star	Wave Star A/S	Multi-point absorber

12

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_wave_power_stations (2021)


Wave farms [edit]

Station	Country	Location	Capacity (MW)	Type	Comm	Ref
Ada Foah Wave Farm	 Ghana		0.4	Point absorber	2016	[1]
Agucadoura Wave Farm	 Portugal	 41°25'57"N 08°50'33"W	2.25	Surface-following attenuator	2008	[2][3]
Azura	 United States		0.02	Point absorber	2015	[4]
BOLT Lifesaver	 United States		0.03	Point absorber	2016	[5]
Islay Limpet	 United Kingdom	 55°41'24"N 06°31'15"W	0.5	Oscillating water column	2000	[6][7]
Mutriku Breakwater Wave Plant	 Spain	 43°18'26"N 2°23'6"W	0.3	Oscillating water column	2009	[8][9][10]
Orkney Wave Power Station	 United Kingdom	 58°56'12"N 02°44'38"W	2.4	Oscillating wave surge converter	Proposed	[11]
Pico Wave Power Plant	 Portugal		0.4	Oscillating water column	2010	[12]
SDE Sea Waves Power Plant	 Israel	 32°05'59"N 34°46'24"E	0.04	Oscillating wave surge converter	2009	[13]
SINN Power wave energy converter	 Greece	 35.352161°N 25.156061°E	0.02	Point absorber	2015	[14]
Sotenäs Wave Power Station	 Sweden	 58°22'45"N 11°08'57"E	3	Point absorber	2015	[15]

13

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_wave_power_projects (2021)

Albatern WaveNET	Albatern	Scotland, UK	Multi Point Absorber array	Offshore	Hydraulic / electric / DC	2010	Albatern are working with their third iteration devices with a 14-week deployment on a Scottish fishfarm site in 2014, ^[1] and a 6 unit array deployment for full characterisation at Kishorn Port in 2015. ^[2] Initially working with smaller devices and arrays, the company is targeting off grid markets where diesel generation is presently used in offshore fish farms, coastal communities and long endurance scientific platforms. Demonstration projects are under development for fishfarm sites and an island community. ^[3]
AMOG, AEP WEC	Falmouth	Cornwall, UK	Surface dynamic vibration absorber	Offshore	Electric	2019	<p>AMOG are progressing through a technology readiness level stage gated approach applying oil and gas offshore experience to the wave energy sector. A 1/3rd scale device was successfully deployed in the European 2019 summer at FaBTest. Financial support for the deployment came from the Marine-i scheme under the European Union Regional Development Grant and Cornwall Development Company. The device was built by Mainstay Marine in Wales, installed by KML from SW England and tank tested at AMC/Uni of Tasmania and Uni of Plymouth.^{[4][5]} It has a barge shaped hull with an in-air pendulum tuned to absorb the wave motion, rather than the hull. A PTO is situated on top of the pendulum with electricity generated and dissipated locally through immersion heaters submerged in the seawater. The device's maximum rating is 75 kW.</p>  <p>The AMOG Wave Energy Converter (WEC), in operation off SW England (2019)</p>

Anaconda Wave Energy Converter	Checkmate SeaEnergy [25]	UK	Surface-following attenuator	Offshore	Hydroelectric turbine	2008	In the early stages of development, the device is a 200 metres (660 ft) long rubber tube which is tethered underwater. Passing waves will instigate a wave inside the tube, which will then propagates down its walls, driving a turbine at the far end. ^{[8][9][10][11]}
AquaBuOY	Finavera Wind Energy, later SSE Renewables Limited	Ireland-Canada-Scotland	Buoy	Offshore	Hydroelectric turbine	2003	In 2009 Finavera Renewables surrendered its wave energy permits from FERC.[27] In July 2010 Finavera announced that it had entered into a definitive agreement to sell all assets and intellectual property related to the AquaBuOY wave energy technology. ^{[8][9][10][11]}
Atmocean	Atmocean Inc.	USA	Point Absorber array	Nearshore & offshore	Pump-to-shore	2006	The Atmocean array consists of 15, 3m diameter surface buoys. Instead of direct seafloor connections, the entire array is anchored at 6 points. Each buoy uses passing waves to pump seawater into the system and send it onshore where it goes directly into an R/O desalination process without the need for an external energy source. Advantages of smaller modular system include using standard shipping containers and small boat operations. Two full scale trials were deployed off the coast of Ilo Perú in 2015. Additional are set for 2017. ^[12]  Single Atmocean pump being deployed in Ilo, Perú (2015)
AWS-iii	AWS Ocean Energy	UK (Scotland)	Surface-following attenuator?	Offshore	Air turbine	2010	The AWS-III is a floating toroidal vessel. It has rubber membranes on the outer faces which deform as waves pass, moving air inside chambers which in turn drive air-turbines to generate electricity. AWS Ocean tested a 1/9 scale model in Loch Ness in 2010, and are now working on a full sized version which will be 60m across and should generate 2.5 MW. It is envisage these will be installed in offshore farms moored in around 100m depth of water. ^{[13][14][15][16]}
CCell	Zyba Renewables	United Kingdom	Oscillating wave surge converter	Nearshore & offshore	Hydraulic	2015	CCell is a directional WEC consisting of a curved flap operating mainly in the surge direction of wave propagation. Being curved gives the device two advantages over flat paddle oscillating wave surge converters: the energy is dissipated over a long arc reducing the wave height, and the shape cuts through the waves which reduces turbulence on the boundaries. In addition, unlike other oscillating wave surge converters, the latest version of CCell is designed to float just under the water surface, maximising the available wave energy. The developers claim this makes CCell the world's most efficient wave energy device. ^[17]

Resumen de los principales dispositivos OWC

Project	Country	Position	Inst.	Power	Status	Note
Kværner Brug's OWC	Toftesfjallen (Norway)	Fixed Onshore	1985	500 kW	Decommissioned	Damaged by a severe storm in 1988. 29 MWh produced.
Vizhinjam OWC	Trivandrum (Kerala, India)	Fixed Nearshore	1990	150 kW	Decommissioned in 2011	Production under the expectation, with high variability. Inactive for a long period.
Limpet	Islay (Scotland, UK)	Fixed Onshore	2000	500 kW	Decommissioned in 2012	High level of noise. The attenuation causes malfunctions.
Pico OWC	Pico Island (Azores, Portugal)	Fixed Onshore	1999	400 kW	The project concluded in 2018	Malfunction due to the Wells turbine and its supports.
Mutriku plant	Mutriku (Spain)	Fixed Onshore (harbor integrated)	2011	296 kW	Operating	Total electrical production 2.1 GWh (end of September 2020)
REWEC3	Civitavecchia (Italy)	Fixed Onshore (harbor integrated)	2016	2.5 MW	Operating	Annual production between 500 and 800 MWh/y
Yongsoo plant	Jeju Island (Republic of Korea)	Fixed Offshore (1 km to the coastline)	2016	500 kW	Operating	Adoption of two impulse turbines, connected to different generators
Wave Swell	King Island (Tasmania, Australia)	Fixed Nearshore (100 m to the coastline)	2019	200 kW	Operating	The device will test for a year
Backward Bent-Duct Buoy	Japan	Floating	1960-70	Concept		
Sloped IPS Buoy	Edinburgh (UK)	Floating	1970-80	Concept		
Spar Buoy	Portugal	Floating	2000-15	Concept		
Mighty Whale	Gokasho Bay (Japan)	Floating Offshore (1.5 km to the coastline)	1998	120 kW	Decommissioned in 2002	

Resumen de los principales dispositivos WAB

Project	Country	Position	Inst.	Power	Status	Note
Lysekil Project	Lysekil (Sweden)	Offshore (2 km to the coastline)	2006	30 kW (10 kW each)	Operating	Currently operating and enlarged with 2 WEC (June 2009)
Wavebob	Galway Bay (Ireland)	Offshore	1999	Prototype scale 1:4	Decommissioned in 2015	In 2013 end of the funding
Powerbuoy	Atlantic City (New Jersey, USA)	Offshore (22.5 km to the coastline)	2005	Up to 7.5 kW	Operating	Upgrade in 2020 with photovoltaic panels
Archimedes Wave Swing	Portugal	Offshore	2004	Pilot plant	Decommissioned	Available upgrade up to 16 kW
CETO 6	Albany, Western Australia	Offshore	2014	1.5 MW	Discontinued	Project discontinued on 31 October 2019
Salter's Nodding Duck	Edinburgh (UK)	Nearshore	1970-1980		Concept	
Pelamis P1	Aguçadoura, Portugal	Offshore (5 km to the coastline)	23 September 2008	Three devices (750 kW each) 2.25 MW	Decommissioned November 2008	Worked only for two months due to technical failures on bearings. Financial problems blocked the activities
Oyster 2	EMEC Orkney (UK)	Nearshore	2012	800 kW	Decommissioned	The plant worked until 2015 when the company ceased trading
Waveroller	Järvenpää (Finland)	Nearshore (0.3-2 km from the shore)	2015	350 kW	Project ended	The project ended in October 2013, leaving the device in situ for monitoring
Wavestar	Hanstholm (Denmark)	Nearshore (300 m from the shore)	2009	600 kW	Decommissioned	The plant was taken down in 2013
Eco Wave	Gibraltar	Onshore	2016	100 kW	Operating	
Seahorse	Pecem (Brazil)	Onshore	2012	50 kW	Operating	

Wave Activated Body (WAB): Cuerpo del Dispositivo Activado por las Olas

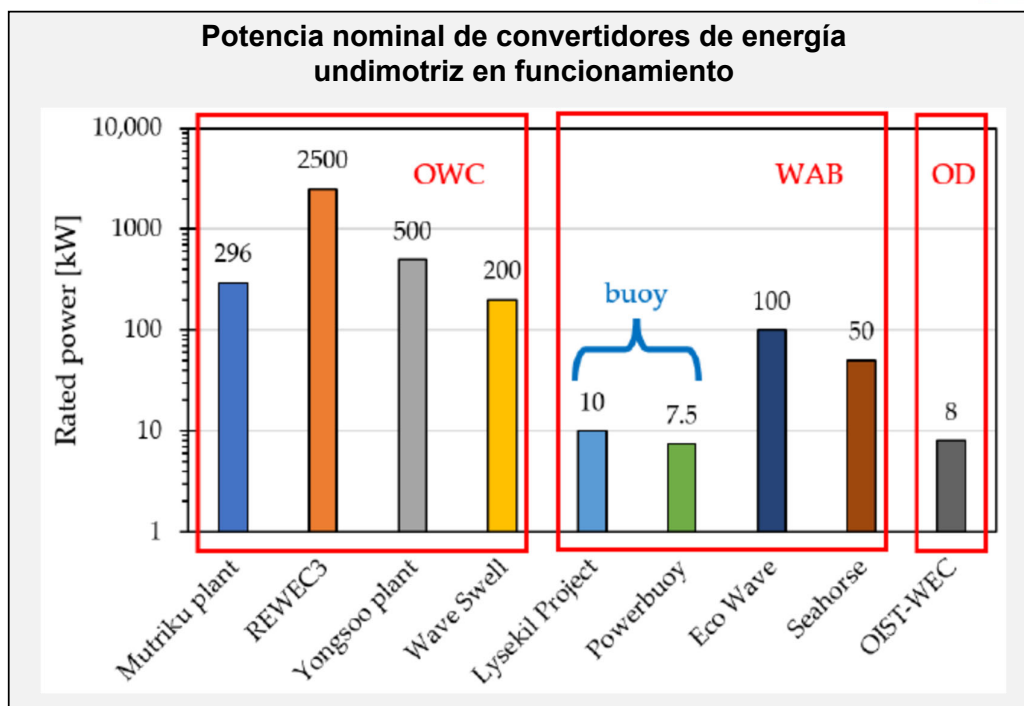
17

Resumen de los principales dispositivos OD

Project	Country	Position	Inst.	Power	Status	Note
Tapchan	Toftestallen (Norway)	Onshore (3 m above sea level)	1985	350 kW	Decommissioned in 1991	Damaged by a storm in 1988
Wave Dragon	Nissum Bredning (Denmark)	Nearshore	2003	20 kW (scale 1:4.5)	Decommissioned	
Seawave slot-cone generator	Norway	Onshore			Planned but not realized	
OIST-WEC	Kandooma Island (Maldives)	Nearshore	2018	8 kW	Operating	

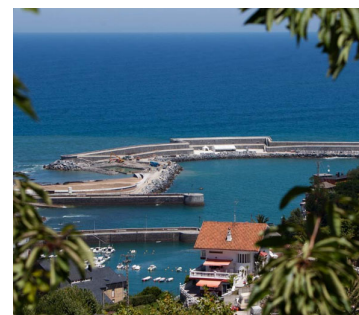
Overtopping Devices (OD): Dispositivos de Desbordamiento

18



Central de energía undimotriz de Mutriku

- Puesta en marcha en el 2011
- Dique de 4,5 m de ancho 3,1 m de largo y 9,7 m de alto en bajar máxima
- Tiene instaladas 16 turbinas con una potencia total de 296 MW
- Producción estimada de 600 MWh/año
- Inversión de 2,3 M€



Energía de las Mareas (Tidal Energy)

http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

Centrales en Operación (2010)

CENTRAL	MW	PAIS	AÑO
Sihwa Lake Tidal Power Station	254	South Korea	2011
Rance Tidal Power Station	240	France	1966
Annapolis Royal Generating Station	20	Canada	1984
Jiangxia Tidal Power Station	3.2	China	1980
Kislaya Guba Tidal Power Station	1.7	Russia	1968
Uldolmok Tidal Power Station	1.5	South Korea	2009
Strangford Lough SeaGen	1.2	United Kingdom	2008

Centrales en Construcción

CENTRAL	MW	PAIS	AÑO
Incheon Tidal Power Station	800 a 1.300	South Korea	2017

21

Energía de las Mareas (Tidal Energy)

http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

Centrales en Estudio

CENTRAL	MW	PAIS
Penzhinskaya Tidal Power Plant	87.100	Russia
Mezenskaya Tidal Power Plant	10.000	Russia
Severn Barrage	8.640	United Kingdom
Tugurskaya Tidal Power Plant	3.640	Russia
Dalupiri Blue Energy Project	2.200	Philippines
Garorim Bay Tidal Power Station	520	South Korea
Swansea Bay Tidal Lagoon	300	United Kingdom
Gulf of Kutch Project	50	India
Skerries Tidal Farm	10,5	United Kingdom

22

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_tidal_power_stations (2021)

Tidal power stations [\[edit \]](#)

Operational [\[edit \]](#)

The following table lists tidal power stations that are in operation:

Station	Capacity (MW)	Country	Location	Comm	Ref
Bluemull Sound Tidal Stream Array	0.3	United Kingdom	60°41'01"N 00°59'12"W	2016	
Eastern Scheldt Barrier Tidal Power Plant	1.25	The Netherlands	51°36'19"N 03°40'59"E	2015	[1]
Jiangxia Tidal Power Station	3.2	China	28°20'34"N 121°14'25"E	1980	[2][3]
Kislaya Guba Tidal Power Station	1.7	Russia	69°22'37"N 33°04'33"E	1968	
MeyGen	6	United Kingdom	58°39'26.15"N 3°7'1.55"W	2017	
Rance Tidal Power Station	240	France	48°37'05"N 02°01'24"W	1966	
Sihwa Lake Tidal Power Station	254	South Korea	37°18'47"N 126°36'46"E	2011	[4][5]
Uldolmok Tidal Power Station	1.5	South Korea	34°32'07"N 126°14'06"E	2009	[6]

23

Under construction [\[edit \]](#)

The following table lists tidal power stations that are currently under construction as of the date in each cited source.

Station	Capacity (MW)	Country	Location	Start	Ref
Pemba'q In-Stream Tidal Energy Project	1.26	Canada	45°20'36"N 64°23'34"W	2019	[7][8][9]

Proposed [\[edit \]](#)

There are many stations in proposal at the moment. The following table lists tidal power stations that are only at a *proposal* stage.

Station	Capacity (MW)	Country	Location	Ref
Alderney tidal plant	300	United Kingdom	49°42'52"N 2°12'19"W	[10]
Garorim Bay Tidal Power Station	520	South Korea	Garorim Bay	[4]
Gulf of Kutch Project	50	India	Gulf of Kutch	[11]
Incheon Tidal Power Station	818 or 1,320	South Korea	37°29'48"N 126°20'32"E	[4][12]
Mezenskaya Tidal Power Plant	24,000	Russia	Mezen Bay	[13]
Penzhinskaya Tidal Power Plant	87,100	Russia	Penzhin Bay	
Severn Barrage	8,640	United Kingdom	51°21'30"N 03°06'00"W	
Skerries Tidal Stream Array	10.5	United Kingdom	53°26'N 04°36'W approx.	[14]
Tidal Lagoon Swansea Bay	320	United Kingdom	Swansea Bay	[15]
Tugurskaya Tidal Power Plant	3,640	Russia	Okhotsk Sea	[16]

24

Olas (Wave Energy)

Las olas son ondas superficiales periódicas, **creadas** fundamentalmente **por la acción del viento** (éste es causado por diferencias de presión debidas a diferencias de temperatura entre distintas zonas del planeta)

Al soplar el viento sobre la superficie del agua, y debido a fenómenos de capilaridad, gravedad y tensión superficial, se modifica la superficie del océano formando rizos; esto supone mayor superficie de interacción, por lo que el fenómeno se multiplica formando las olas

La energía de las olas depende de la velocidad del viento y de la distancia que la ola viaja con él

Formadas las olas, siguen viajando hasta las costas con pequeñas pérdidas de energía

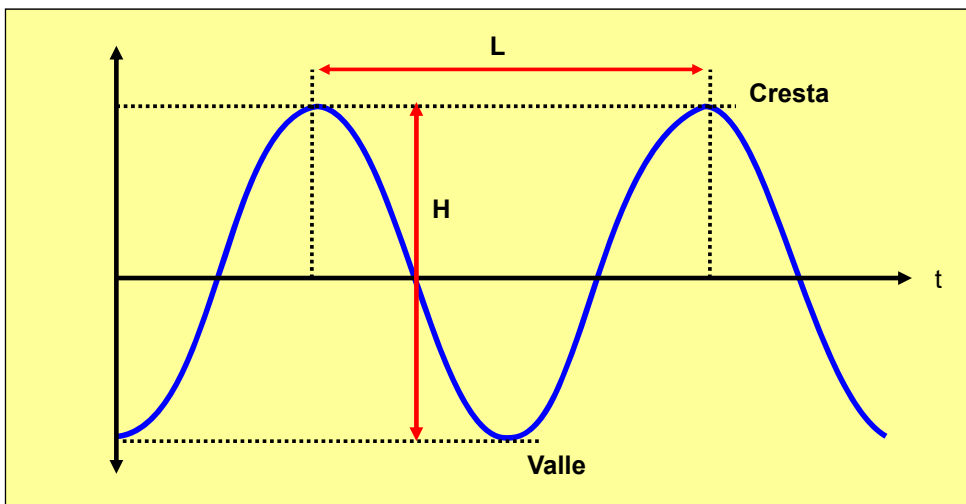
En las zonas de baja profundidad aumentan su tamaño

25

Olas (Wave Energy)

Las **olas ideales** tienen una forma de **onda senoidal**

Están definidas por: altura, H, longitud de onda, L, periodo, T, y velocidad de avance de la ola, c



$$f = \frac{1}{T}$$

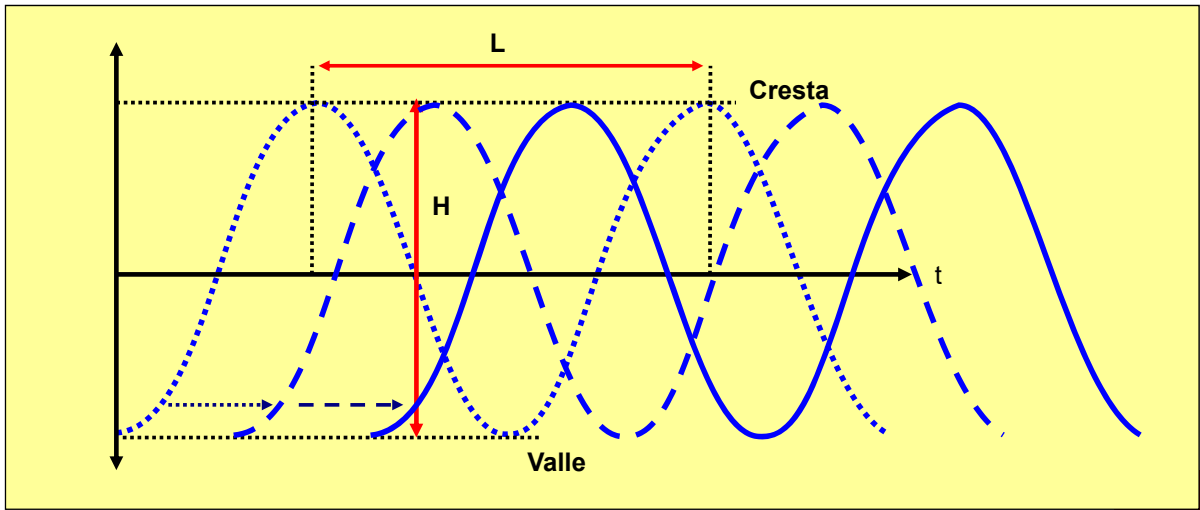
$$c = \frac{L}{T}$$

26

Olas (Wave Energy)

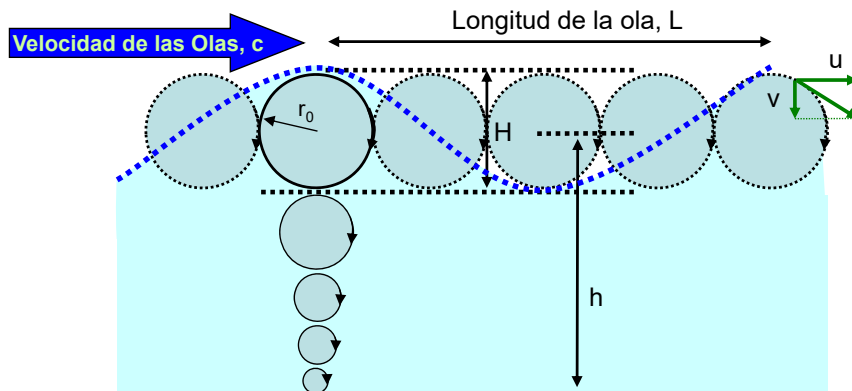
Las **olas ideales** tienen una forma de **onda senoidal**

Están definidas por: altura, H , longitud de onda, L , periodo, T , y velocidad de avance de la ola, c

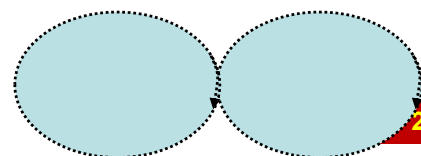


Olas (Wave Energy)

Las olas **viajan transmitiendo energía**, pero las moléculas de **agua** no siguen ese movimiento, estas "**oscilan arriba-abajo**" en un movimiento circular



Al acercarse a la costa el movimiento se vuelve elipsoidal (más horizontal) y de mayor altura



Olas (Wave Energy)

Generalmente, la altura de la ola en el Océano, H , es mucho menor que su longitud de onda, L , y la ecuación que describe su movimiento se puede simplificar, siendo la **velocidad de propagación** de la onda, c :

$$c^2 = \frac{g}{k} \cdot \tanh(k \cdot h)$$

Siendo:

$k = 2 \cdot \pi / L$	el número de la onda
h	la profundidad del agua
L	la longitud de la onda
g	la gravedad

- Si es una zona de agua profunda:

$$\Rightarrow \frac{h}{L} \uparrow \uparrow (> 0,5) \Rightarrow \tanh(k \cdot h) \approx 1 \Rightarrow c = \sqrt{\frac{g}{k}} \quad \text{o} \quad c = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi}$$

Por lo que en el Océano viajan más rápido las olas de mayor periodo

- Si son aguas poco profundas, someras :

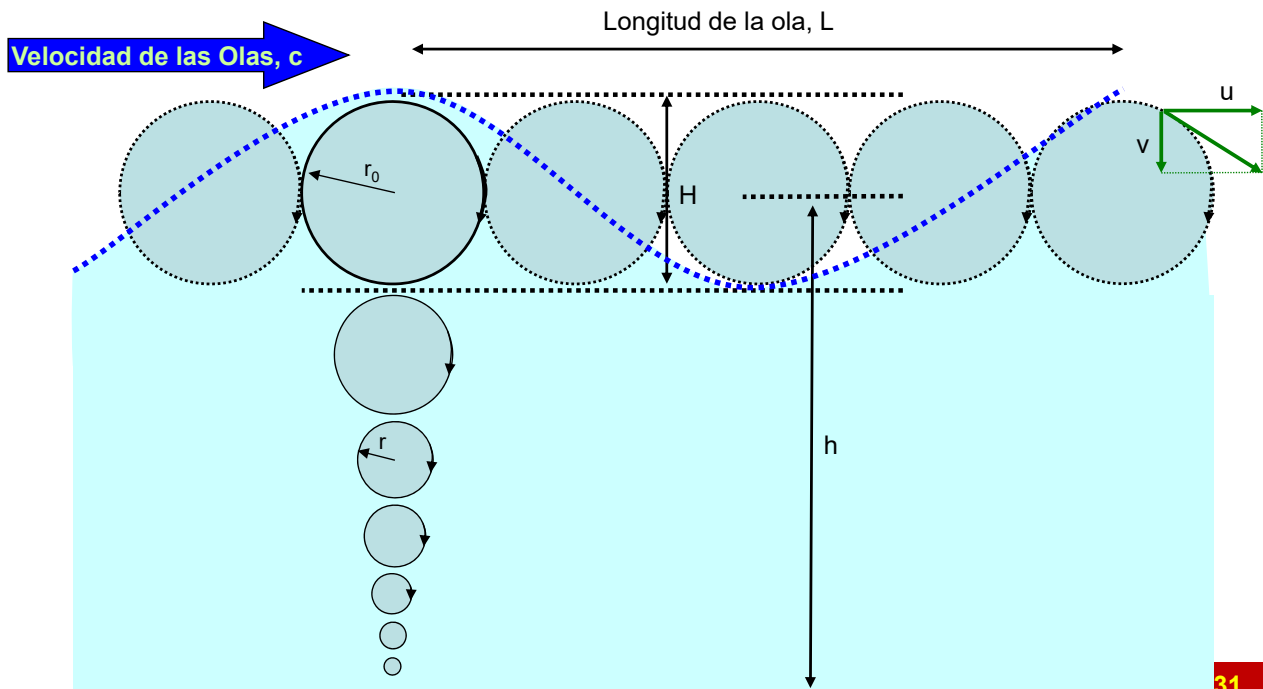
$$\Rightarrow \frac{h}{L} \downarrow \downarrow (< 0,05) \Rightarrow \tanh(k \cdot h) \approx k \cdot h \Rightarrow c = \sqrt{g \cdot h}$$

Olas (Wave Energy)

Ecuaciones de la velocidad de la fase de una ola, c

Función	Agua profunda	Intermedia	Agua somera
Velocidad de la fase, C	$\frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi}$	$\sqrt{\frac{g}{k} \cdot \tanh(k \cdot h)}$	$\sqrt{g \cdot h}$
Límites de aplicación	$\frac{h}{L} > 0,5$		$\frac{h}{L} < 0,05$ $H/h \approx 0,78$ Zona de rompimiento

Olas (Wave Energy)

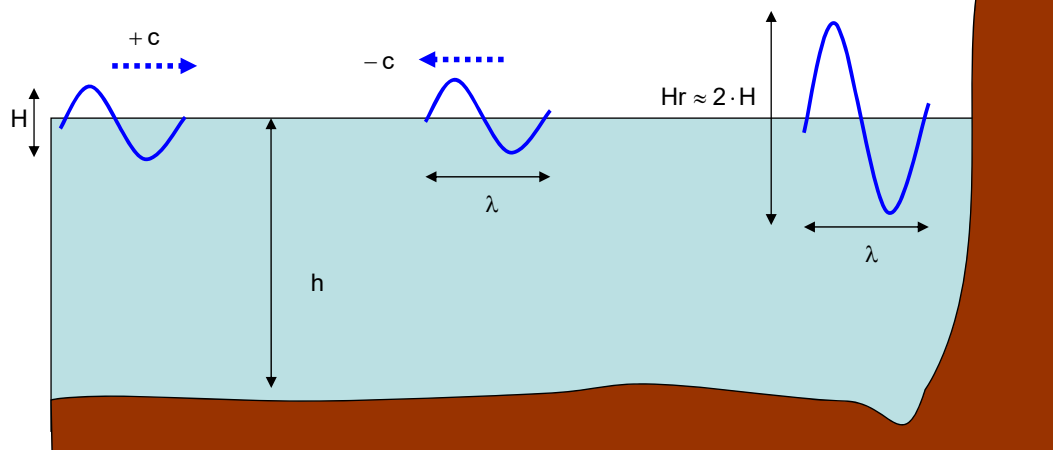


31

Olas (Wave Energy)

Si un **tren de olas regular** choca con la costa se produce el fenómeno de **reflexión** (sin apenas pérdida de energía), por lo que se suman la ola y su reflejo, alcanzando las olas el doble de altura

La energía de la onda reflejada es doble de la incidente



32

Olas (Wave Energy)

Con el movimiento de la ola **las moléculas de agua** describen **movimientos orbitales**, cuya magnitud disminuye exponencialmente con la profundidad

$$r = r_0 \cdot e^{-\frac{2\pi \cdot h}{L}}$$

Para una profundidad

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si: } h = \frac{L}{2} \Rightarrow r = r_0 \cdot e^{-\pi} = 0,0433 \cdot r_0 \\ \text{Si: } h = L \Rightarrow r = r_0 \cdot e^{-2\pi} = 0,0019 \cdot r_0 \end{array} \right.$$

r_0 es el radio orbital de superficial, coincide con la semialtura de la ola $H/2$

L es la longitud de la onda

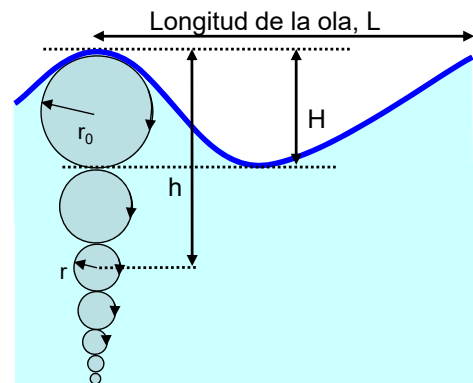
h es la profundidad del punto considerado

Si $L = 100$ m y la altura de la ola es $H = 8$ m

- En superficie ($h = 0$) $\Rightarrow r = r_0 = 4$ m
- A 50 m ($h = L/2$) $\Rightarrow r = 17$ cm
- A 100 m ($h = L$) $\Rightarrow r = 0,8$ cm

Si $L = 100$ m y la altura de la ola es $H = 4$ m

- En superficie ($h = 0$) $\Rightarrow r = r_0 = 2$ m
- A 50 m ($h = L/2$) $\Rightarrow r = 8,6$ cm
- A 100 m ($h = L$) $\Rightarrow r = 0,37$ cm



Olas (Wave Energy)

La forma de la ola depende de la relación H/L

- $H/L < 0,02$
Tienen un periodo alto, L amplia y H pequeña
Sigue un movimiento sinusoidal

Teoría lineal

- $H/L > 0,15$
Tienen un periodo bajo, L pequeña y H grande
Tienen un perfil troncooidal

Teoría no lineal
Rotura de la Ola

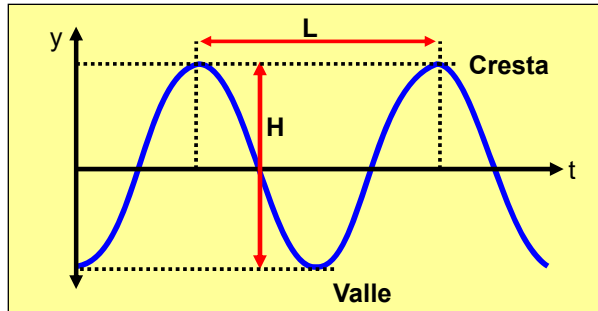
Teoría de Olas Lineal

Las **olas cortas** son aquellas en que su velocidad, c , es independiente de la profundidad del mar; depende de su longitud de onda, L

Son las olas de viento

El **desplazamiento vertical** u oscilación de la superficie libre es:

$$y = \frac{H}{2} \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{L} - \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T}\right)$$



Siendo **T el periodo de las olas**, que es el tiempo transcurrido para que por un punto pasen dos crestas sucesivas; para una ola sinusoidal es:

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot g}{L} \cdot \text{Th}\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right)}} = \frac{2 \cdot \pi}{w}$$

35

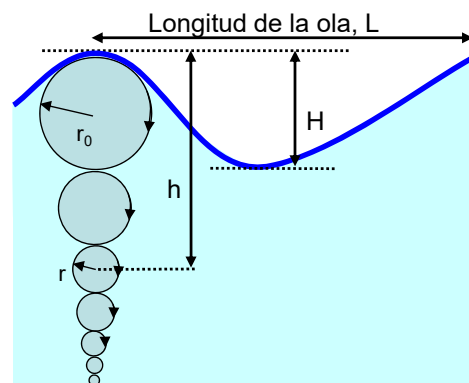
Teoría de Olas Lineal

La **Longitud de las Olas**, L , viene dada por la expresión:

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \cdot \text{Th}\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right)$$

En las olas cortas en aguas profundas ($h > L/2$)

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi}$$



La **Frecuencia**, T , para olas cortas en aguas profundas ($h > L/2$), se determina de manera sencilla si se conocen L y c

$$T = \frac{L}{c} = \frac{L}{\frac{L}{T}} = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi} = \frac{2 \cdot \pi \cdot c}{g}$$

36

Teoría de Olas Lineal

La **Velocidad de Traslación de la ola**, c , permite diferenciar las olas cortas de las largas

$$c = \frac{L}{T} = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi} \cdot \text{Th} \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L} \right)$$

- En aguas profundas ($h > L/2$) se tiene que:

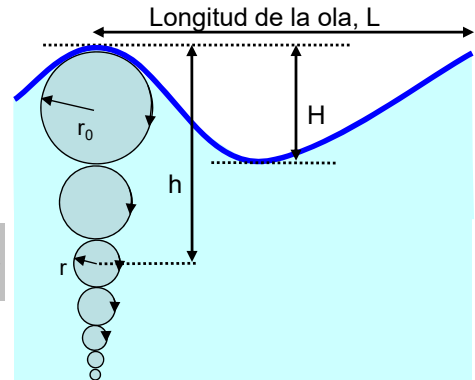
$$c = \frac{L}{T} = \sqrt{\frac{g \cdot L}{2 \cdot \pi}} \quad ; \quad L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \quad ; \quad c = \frac{L}{T} = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi} \quad ; \quad T = \frac{L}{c} = \frac{2 \cdot \pi \cdot c}{g}$$

- En aguas superficiales ($h < L/2$) se tiene que:

$$c = \sqrt{g \cdot h} \quad ; \quad L = \sqrt{g \cdot h} \cdot T$$

- En canales ($h \ll L/2$) se tiene que:

$$c = \sqrt{g \cdot (h+H)}$$



Teoría de Olas Lineal

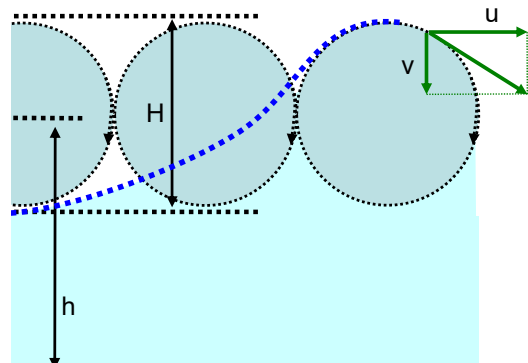
La **Rotura de la Ola** se produce cuando la componente horizontal de la velocidad de las partículas, u , se iguala a la velocidad de la ola, c ; este proceso va acompañado de gran pérdida de energía

Componente Horizontal:

$$u = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot \frac{\text{Cosh} \left(\frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot (y+h) \right)}{\text{Senh} \left(\frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot h \right)} \cdot \text{Cos} \left(\frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot x - w \cdot t \right)$$

Componente Vertical:

$$v = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot \frac{\text{Senh} \left(\frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot (y+h) \right)}{\text{Senh} \left(\frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot h \right)} \cdot \text{Sen} \left(\frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot x - w \cdot t \right)$$



x es la coordenada horizontal en la dirección de la ola

y es la componente vertical en la dirección de la ola

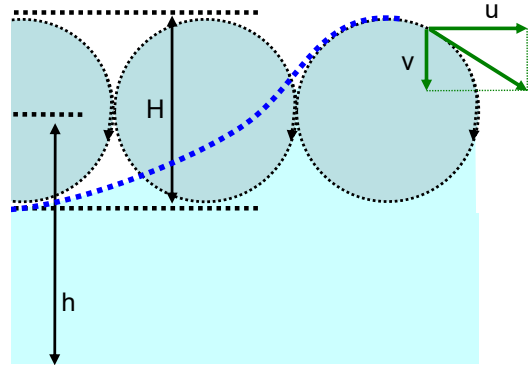
$$w = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot g}{L} \cdot \text{Th} \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L} \right)}$$

Teoría de Olas Lineal

La Rotura de la Ola

- En aguas profundas ($h > L/2$) se tiene:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Componente Horizontal:} \\ u = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot e^{\frac{2\pi y}{L}} \cdot \text{Cos} \left(\frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot x - w \cdot t \right) \\ \text{Componente Vertical:} \\ v = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot e^{\frac{2\pi y}{L}} \cdot \text{Sen} \left(\frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot x - w \cdot t \right) \end{array} \right\}$$



- En aguas superficiales ($h < L/2$) se tiene:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Componente Horizontal:} \\ u = \frac{H}{2} \cdot \sqrt{\frac{g}{h}} \cdot \text{Cos} \left(\frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot x - w \cdot t \right) \\ \text{Componente Vertical:} \\ v = \frac{\pi \cdot H}{2} \cdot \frac{y+H}{h} \cdot \text{Sen} \left(\frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot x - w \cdot t \right) \end{array} \right\}$$

39

Teoría de Olas Lineal

La **Rotura de la Ola** se produce en **agua superficiales** ($H < L/2$) cuando la velocidad de la ola se iguala con la componente horizontal de la velocidad de las partículas ($c = u$)

$$\text{Aguas superficiales} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} c = \sqrt{g \cdot h} \\ u = \frac{H}{2} \cdot \sqrt{\frac{g}{h}} \cdot \text{Cos} \left(\frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot x - w \cdot t \right) \end{array} \right\} \quad \sqrt{g \cdot h} = \frac{H}{2} \cdot \sqrt{\frac{g}{h}} \cdot \text{Cos} \left(\frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot x - w \cdot t \right)$$

$$\text{con } x = 0, t = 0 \Rightarrow$$

$$\sqrt{g \cdot h} = \frac{H_R}{2} \cdot \sqrt{\frac{g}{h}}$$

$$\text{Siendo la altura de la ola a romper : } H_R = \frac{2 \cdot \sqrt{g \cdot h}}{\sqrt{g/h}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot h}{g/h}} = 2 \cdot h$$

40

Teoría de Olas Lineal

La **Energía** de cada partícula tiene componentes cinética y potencial

La teoría lineal se desarrolla con olas regulares, L y T ctes

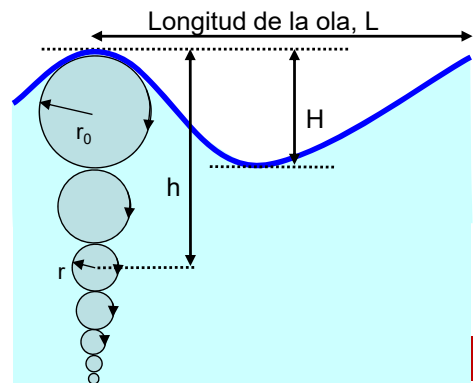
$$E_{\text{ola}} = E_{\text{potencial}} + E_{\text{cinética}} = \frac{\gamma \cdot L \cdot b \cdot H^2}{8} \text{ kgm}$$

Gran relevancia de H

- γ es el peso específico del agua
- L es la longitud de la onda
- b es el ancho del frente de ola
- H es la altura de la ola (cresta-valle)

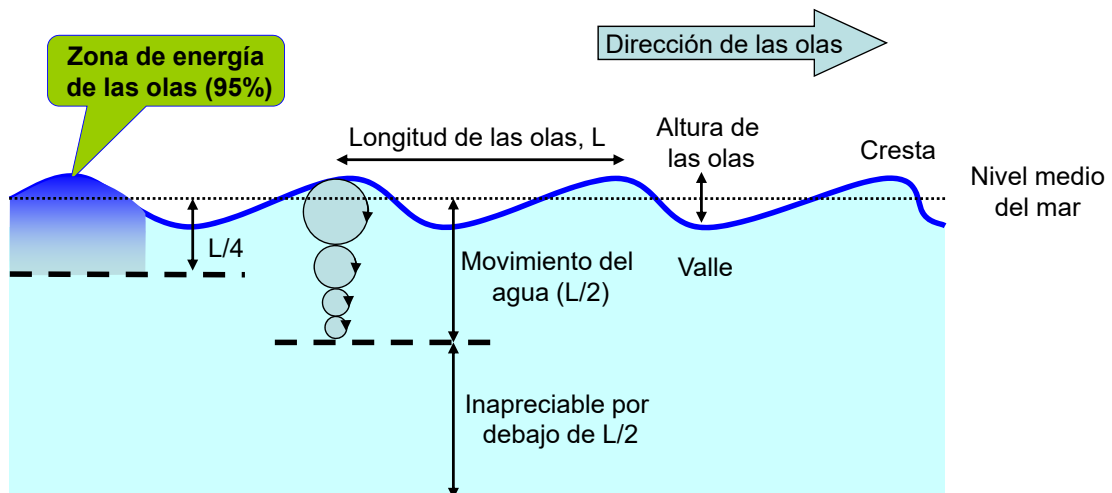
• En aguas profundas:

$$E_{\text{potencial}} + E_{\text{cinética}} = \frac{\gamma \cdot L \cdot b \cdot H^2}{16} \text{ kgm}$$



Teoría de Olas Lineal

La **Energía** se encuentra en la parte superior de la ola



$$P = \frac{g^2 \cdot \rho \cdot H^2 \cdot T}{32 \cdot \pi} \frac{\text{kW}}{\text{m}} \Big|_{\text{agua mar}} = 0,49 \cdot H^2 \cdot T \frac{\text{kW}}{\text{m}}$$

Teoría de Olas Lineal

La **Potencia del Frente de Ola** por unidad de longitud ($b = 1$) es:

$$P_{1m\ o\ l\ a} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \left(\frac{H}{2}\right)^2 \cdot c \cdot \text{Sen}^2 \left(\frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot x - \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t \right) \cdot \left(1 + \frac{4 \cdot \pi \cdot h/L}{\text{Sh}(4 \cdot \pi \cdot h/L)} \right)$$

γ es el peso específico del agua
 H es la altura de la ola (cresta-valle)
 c es la velocidad de la ola
 L es la longitud de la onda

La **Potencia Media** del frente de ola por unidad de longitud ($b = 1$) es:

$$\bar{P}_{1m\ o\ l\ a} = \frac{\gamma \cdot H^2 \cdot T}{32 \cdot \pi} \cdot \text{Th} \left(\frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot h \right) \cdot \left(1 + \frac{4 \cdot \pi \cdot h/L}{\text{Sh}(4 \cdot \pi \cdot h/L)} \right)$$

T es el periodo de la ola

- En aguas profundas ($h > L/2$) las olas del frente van perdiendo energía y desaparecen, mientras que aparecen nuevas olas en cola

$$P_{1m\ o\ l\ a} = \frac{\gamma \cdot H^2 \cdot c}{16} = \frac{c = g \cdot T / (2 \cdot \pi)}{T = \sqrt{2 \cdot \pi \cdot L / g}} = \frac{\gamma \cdot H^2}{16} \cdot \sqrt{\frac{L \cdot g}{2 \cdot \pi}}$$

- En aguas poco profundas ($h < L/2$)

$$P_{1m\ o\ l\ a} = 0,955 \cdot H^2 \cdot T \quad \text{kW/m} \quad \begin{cases} H & \text{en m} \\ T & \text{en s} \end{cases}$$

43

Teoría de Olas No Lineal

Hay dos Teorías:

- **Teoría de Stokes**

$$y = \frac{H}{2} \cdot \text{Cos} \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{L} - \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T} \right) + \frac{3}{64} \cdot \frac{L^2 \cdot H^2}{\pi^2 \cdot h^3} \cdot \text{Cos} \left(2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{L} - \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T} \right) \right)$$

$$u = \frac{L \cdot H}{2 \cdot h \cdot T} \cdot \text{Cos} \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{L} - \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T} \right) + \frac{3}{64} \cdot \frac{L^3 \cdot H^2}{\pi^2 \cdot h^4 \cdot T} \cdot \text{Cos} \left(2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{L} - \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T} \right) \right)$$

$$E_{ola} = \frac{\gamma \cdot L \cdot b \cdot H^2}{8} \cdot \left(1 + \frac{9}{64} \cdot \frac{H^2}{(2 \cdot \pi / L)^4 \cdot h^6} \right)$$

$$P = \frac{\gamma \cdot b \cdot H^2}{8} \cdot \left[\frac{c}{2} \cdot \left(1 + \frac{4 \cdot \pi \cdot h/L}{\text{Senh}(4 \cdot \pi \cdot h/L)} \right) \right] \cdot \left(1 + \frac{9}{64} \cdot \frac{H^2}{(2 \cdot \pi / L)^4 \cdot h^6} \right)$$

44

Teoría de Olas No Lineal

Hay dos Teorías:

- **Teoría de Stokes**
- **Teoría de Onda Solitaria**

$$y = H \cdot \text{Sech} \left(\sqrt{\frac{3 \cdot H}{4 \cdot h^4}} \cdot \left(x - \sqrt{g \cdot H} \cdot \left(1 + \frac{H}{h} \right) \cdot t \right) \right)$$

$$u = \sqrt{\frac{g}{h}} \cdot y = \sqrt{\frac{g}{h}} \cdot H \cdot \text{Sech} \left(\sqrt{\frac{3 \cdot H}{4 \cdot h^4}} \cdot \left(x - \sqrt{g \cdot H} \cdot \left(1 + \frac{H}{h} \right) \cdot t \right) \right)$$

$$E_{\text{ola}} = 1,54 \cdot \gamma \cdot \sqrt{(h \cdot H)^3} \cdot b$$

45

Oleaje Real

Es una superposición compleja de numerosos trenes de olas no regulares con distintos valores de periodo, altura, dirección, ...

Diferentes autores ofrecen diferentes ecuaciones

En general se puede aceptar una ecuación de la forma:

$$\text{Potencia} = \text{cte} \cdot H^2 \cdot T \quad \frac{\text{kW}}{\text{m}}$$

cte oscila entre 0,44 y 0,59

H es la altura significativa de la ola (se toma la media del tercio de las olas mayores)

T es el periodo o tiempo de paso de dos olas consecutivas

Bretschneider – Mitsuyasu: $P_{1m \text{ ola}} = 0,441 \cdot H^2 \cdot T \quad \text{kW / m}$

Jonswap: $P_{1m \text{ ola}} = 0,441 \cdot H^2 \cdot T \quad \text{kW / m}$

Pierson – Moskowitz: $P_{1m \text{ ola}} = 0,59 \cdot H^2 \cdot T \quad \text{kW / m}$

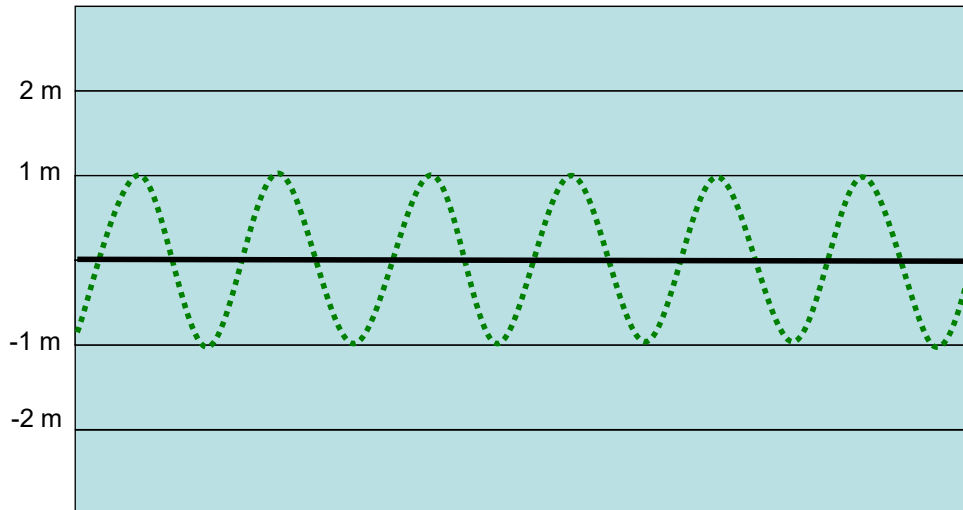
ISCC: $P_{1m \text{ ola}} = 0,545 \cdot H^2 \cdot T \quad \text{kW / m}$

46

Oleaje Real

La superposición de olas

- Olas de 2 m de alto y 60m de largo del NO
- - - - - Olas de 4 m de alto y 100m de largo del O-SO
- Superficie oceánica resultante

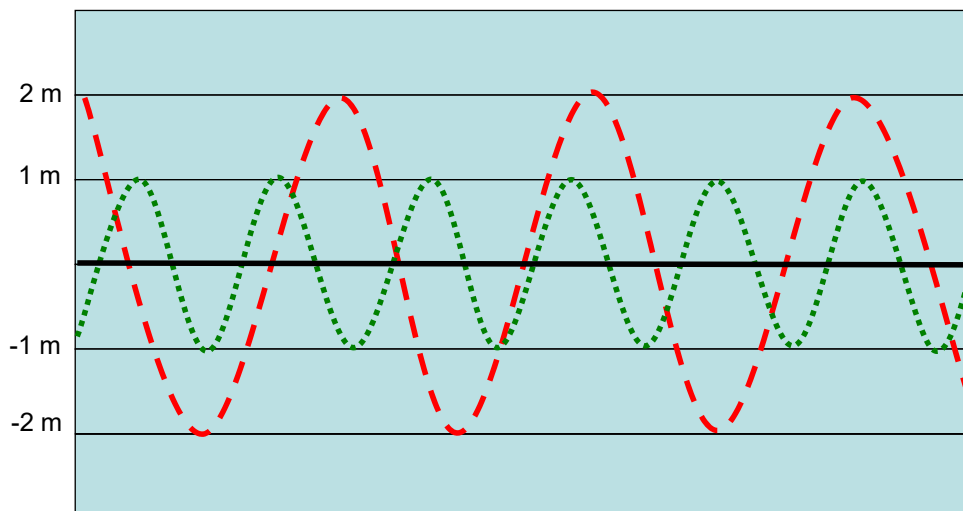


47

Oleaje Real

La superposición de olas

- Olas de 2 m de alto y 60m de largo del NO
- - - - - Olas de 4 m de alto y 100m de largo del O-SO
- Superficie oceánica resultante

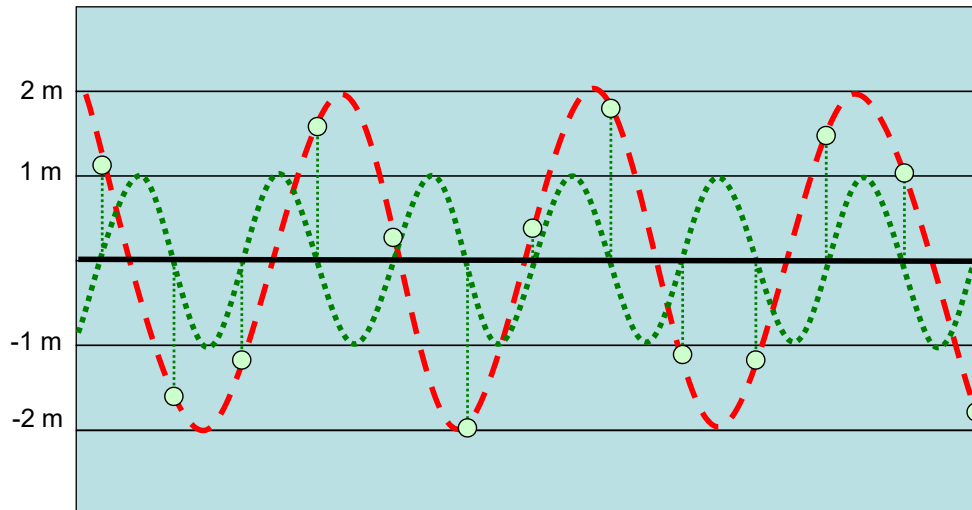


48

Oleaje Real

La superposición de olas

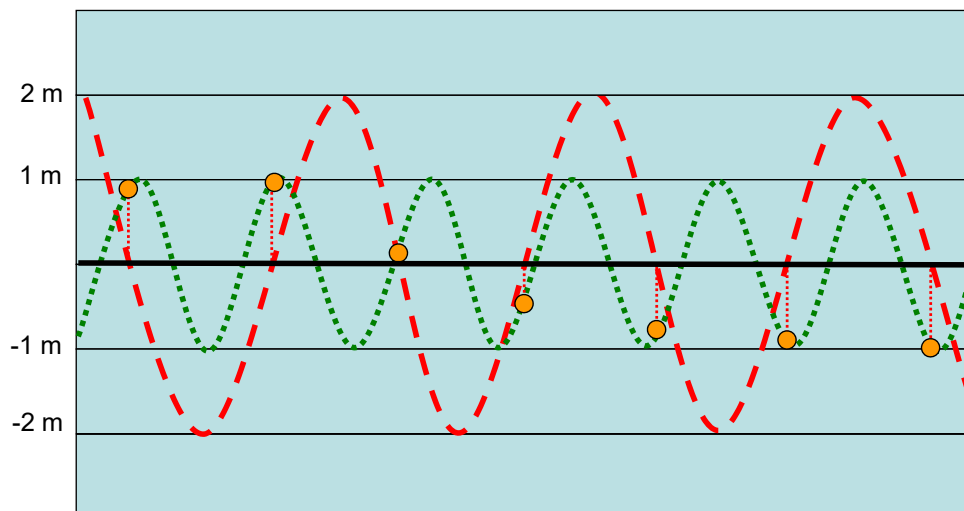
- Olas de 2 m de alto y 60m de largo del NO
- - - - - Olas de 4 m de alto y 100m de largo del O-SO
- Superficie oceánica resultante



Oleaje Real

La superposición de olas

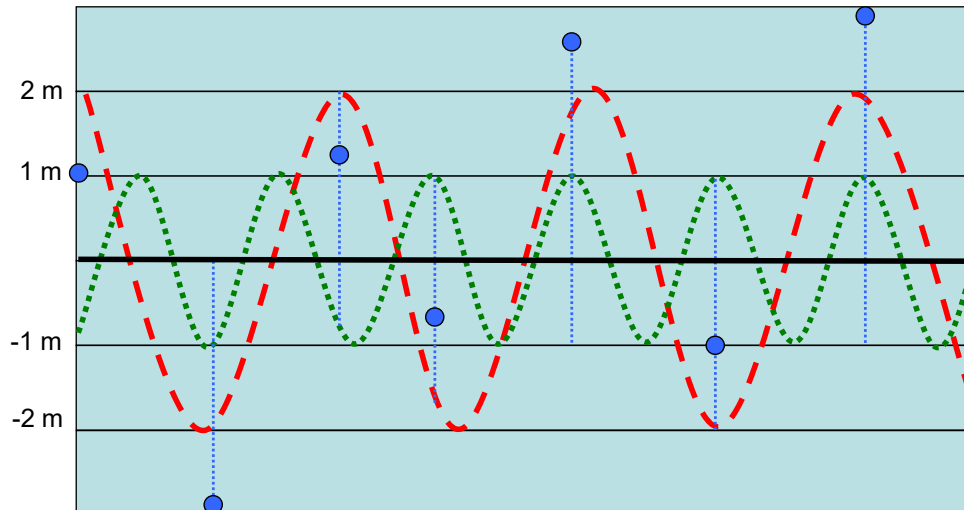
- Olas de 2 m de alto y 60m de largo del NO
- - - - - Olas de 4 m de alto y 100m de largo del O-SO
- Superficie oceánica resultante



Oleaje Real

La superposición de olas

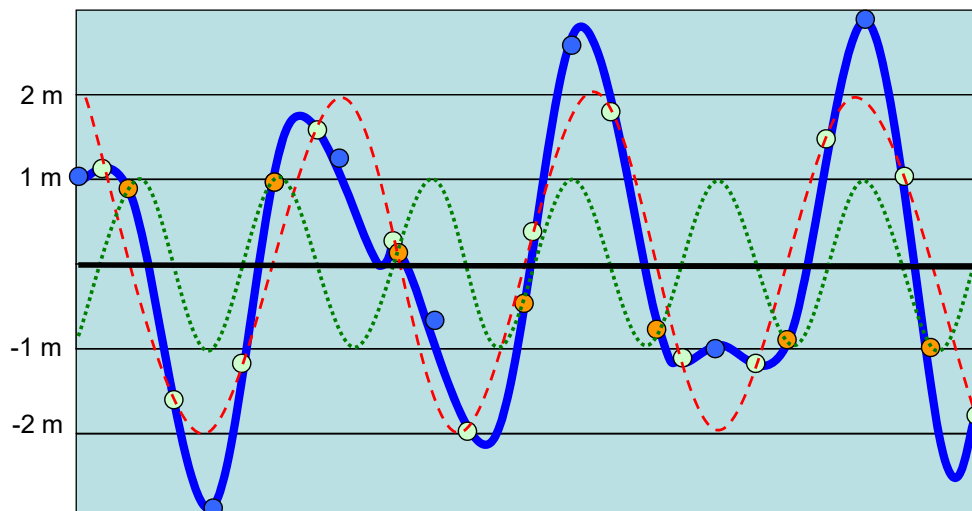
- Olas de 2 m de alto y 60m de largo del NO
- - - - - Olas de 4 m de alto y 100m de largo del O-SO
- Superficie oceánica resultante



Oleaje Real

La superposición de olas

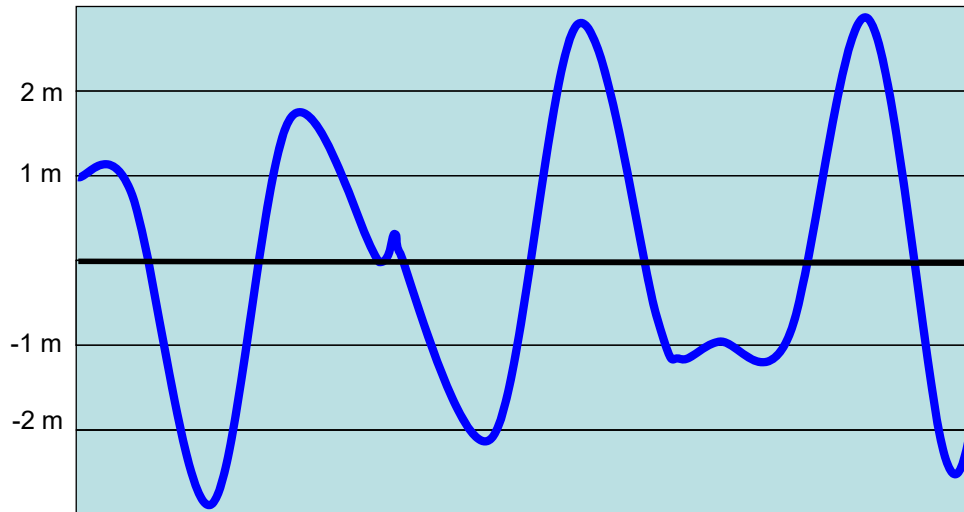
- Olas de 2 m de alto y 60m de largo del NO
- - - - - Olas de 4 m de alto y 100m de largo del O-SO
- Superficie oceánica resultante



Oleaje Real

La superposición de olas

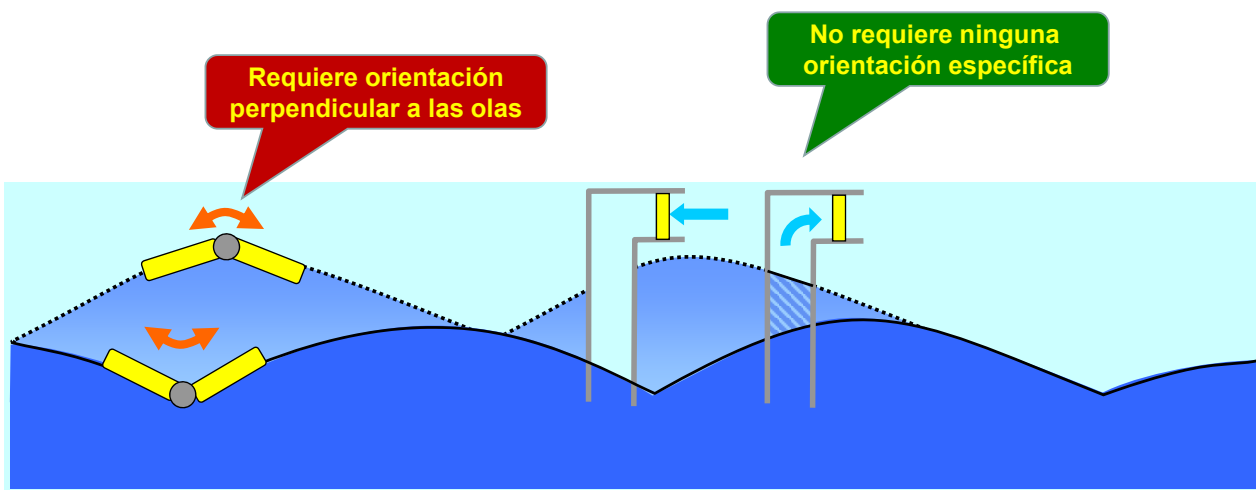
- Olas de 2 m de alto y 60m de largo del NO
- - - - - Olas de 4 m de alto y 100m de largo del O-SO
- Superficie oceánica resultante



53

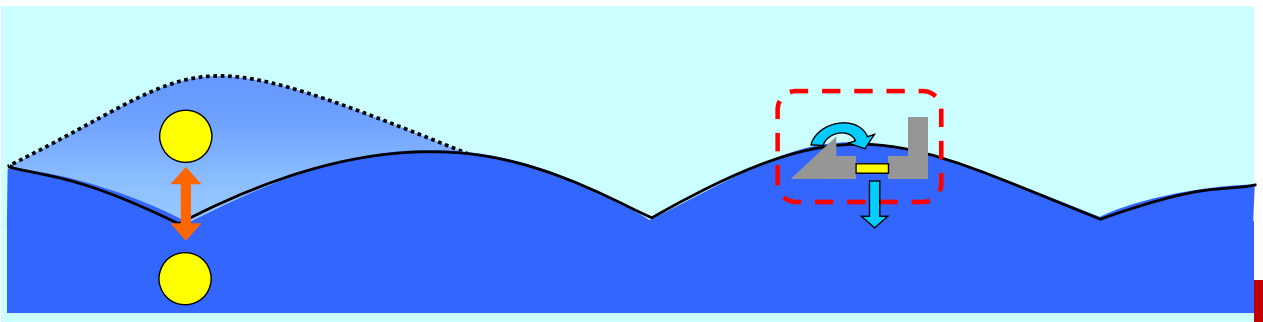
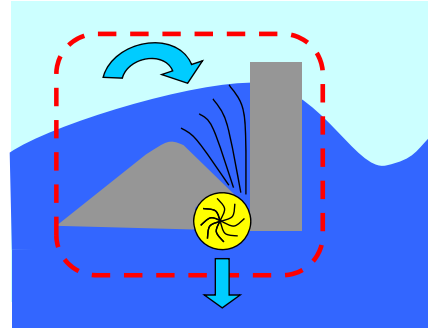
Tecnologías de Aprovechamiento de la Energía de las Olas

- Attenuators (surface following)
- Oscillating Water Columns (OWC)



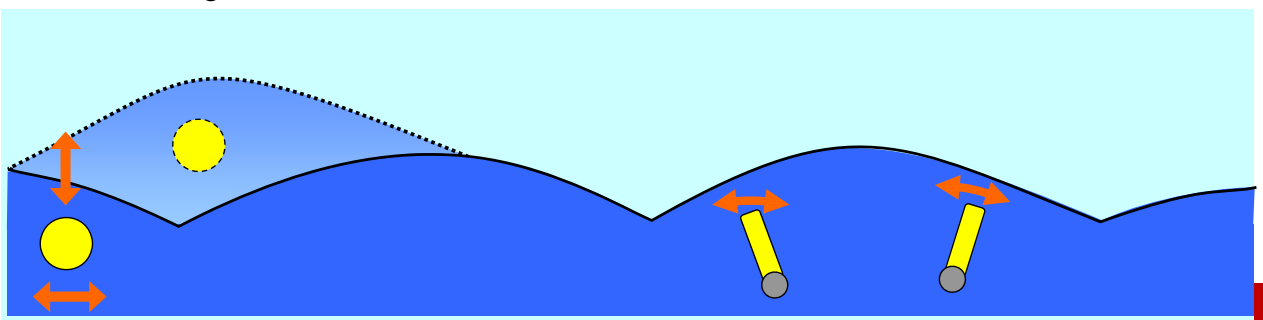
Tecnologías de Aprovechamiento de la Energía de las Olas

- Attenuators (surface following)
- Oscillating Water Columns (OWC)
- Oscillating Wave Surge Converter
- Overtopping Devices



Tecnologías de Aprovechamiento de la Energía de las Olas

- Attenuators (surface following)
- Oscillating Water Columns (OWC)
- Oscillating Wave Surge Converter
- Overtopping Devices
- Point Absorbers
- Submerged Pressure Differential



Tecnologías de Aprovechamiento de la Energía de las Olas

- Attenuators (surface following)
- Oscillating Water Columns (OWC)
- Oscillating Wave Surge Converter
- Overtopping Devices
- Point Absorbers
- Submerged Pressure Differential

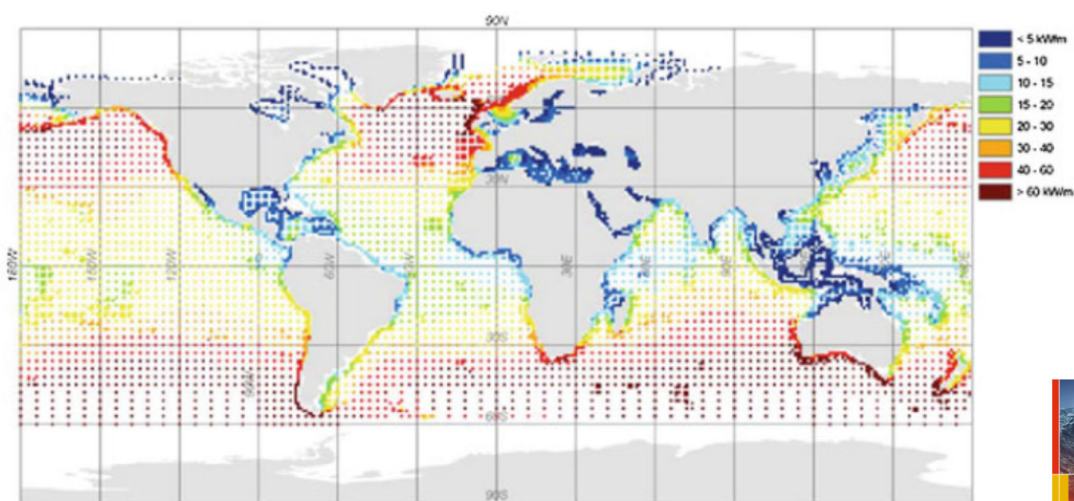
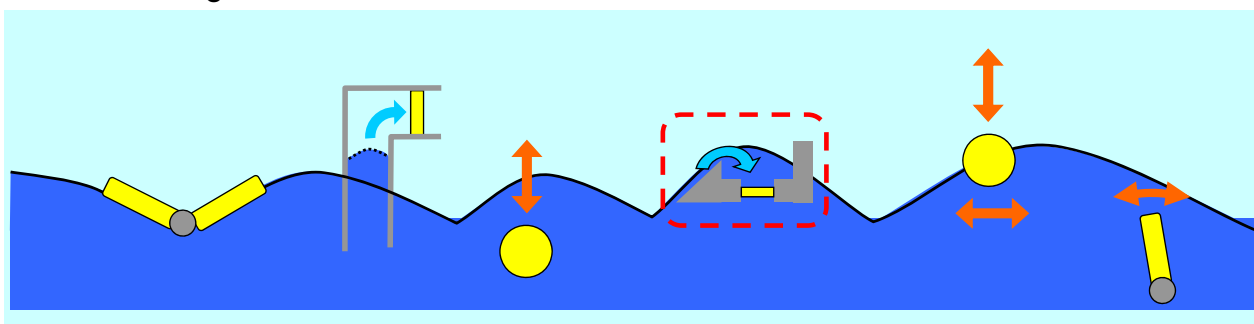
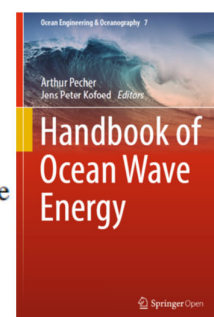


Fig. 2 Annual global gross theoretical wave power for all WorldWaves grid points worldwide

Wave Power



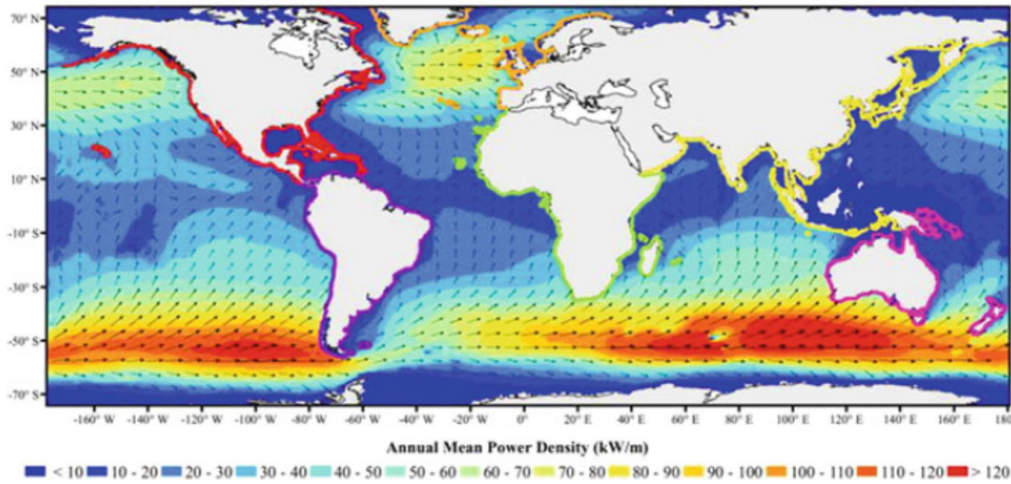


Fig. 3 The global wave energy resource [5]

Wave Energy Resource

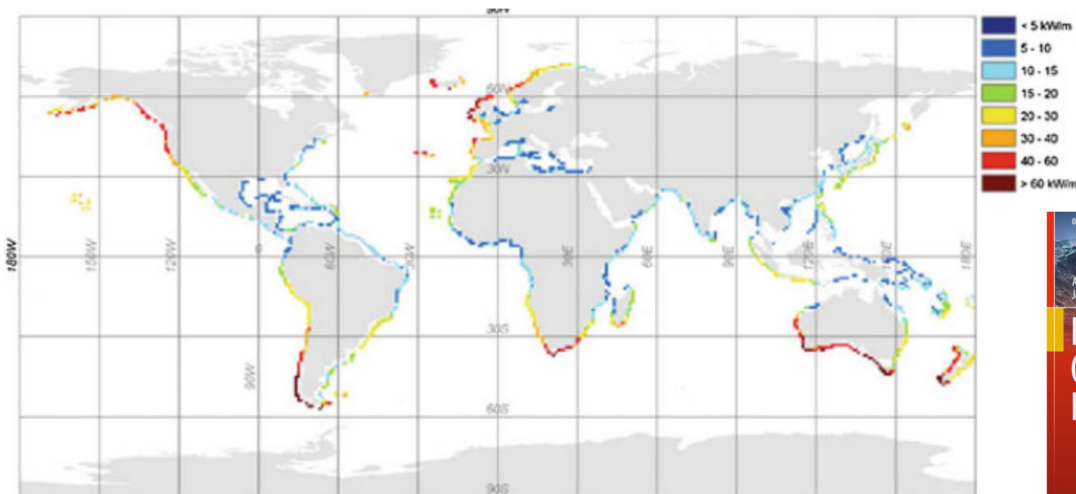
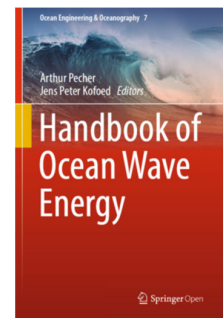
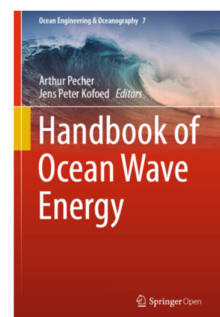


Fig. 3 Annual net theoretical coastal power worldwide (excluding contributions where $P \leq 5$ kW/m and potentially ice covered areas) [6]

Coastal Power



Códigos de los estados del mar basados en la escala del mar de Douglas

Code	H_s (m)	Characteristics
0	0	Calm (glassy)
1	<0.1	Calm (rippled)
2	0.1–0.5	Smooth (wavelets)
3	0.5–1.25	Slight
4	1.5–2.5	Moderate
5	2.5–4	Rough
6	4–6	Very rough
7	6–9	High
8	9–14	Very high
9	>14	Phenomenal

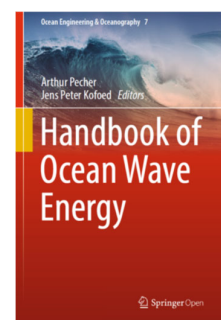
Datos de Olas

Hs \ Tz	Frecuencia											
	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5
0.25	0.0066	0.0056	0.0030	0.0023	0.0011	0.0007	0.0003	0.00005				
1	0.0453	0.1650	0.0906	0.0347	0.0131	0.0047	0.0019	0.00069	0.0001	0.00004	0.00007	0.00005
2	0.0018	0.0368	0.1604	0.0650	0.0229	0.0099	0.0032	0.00121	0.00009	0.00005	0.00005	
3		0.0003	0.0187	0.1084	0.0335	0.0071	0.0033	0.00171	0.0004	0.00007		0.00002
4			0	0.01021	0.05565	0.01163	0.00209	0.00052	0.00034	0.00021	0.00005	
5				0.00002	0.00729	0.02391	0.00301	0.00069	0.00031	0.00014	0.00005	0.00005
6					0.00012	0.00603	0.00691	0.00052	0.00007			
7					0.00002	0.00009	0.00026	0.00352	0.00152	0.00016	0.00005	
8							0.00062	0.00288	0.00017			
9								0.00086	0.00073	0.00002		
10								0.00002	0.00043	0.00016		
									0.00011	0.00014		
										0.00004		

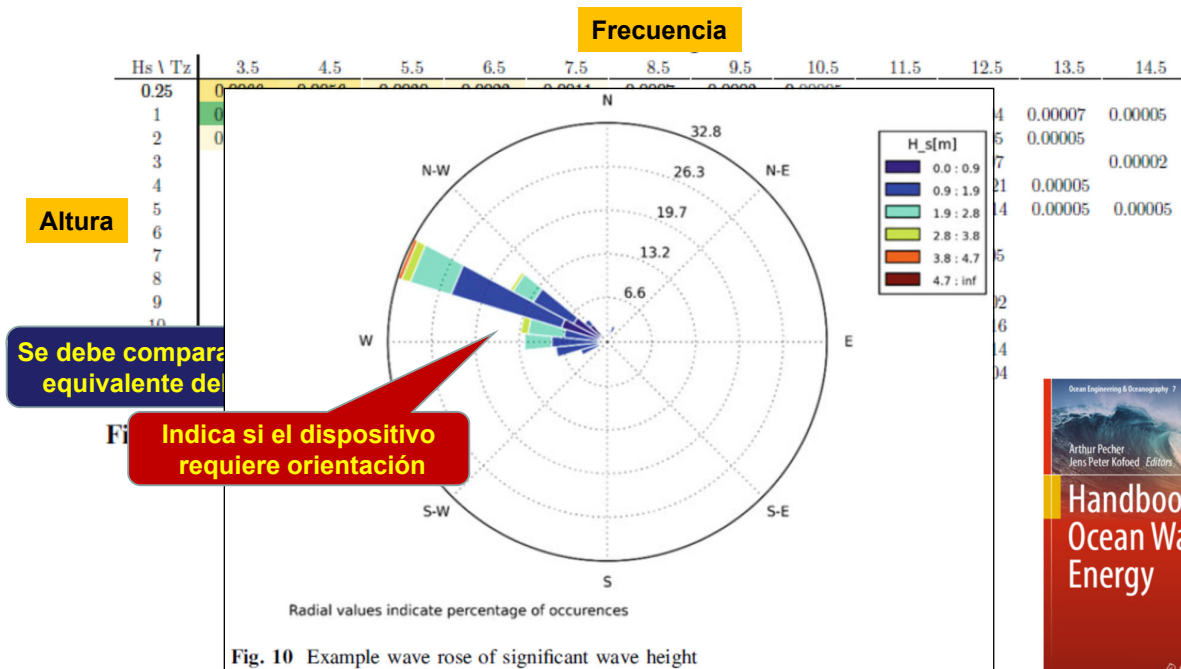
Se debe comparar con la tabla equivalente del dispositivo

Fig. 9 Example of a scatter diagram

Tabla de Dispersión de las Olas



Datos de Olas



Datos de Olas

<http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>

Puertos del Estado

Inicio · Oceanografía · Predicción de oleaje, nivel del mar; Boyas y mareógrafos

Búsqueda localid., puerto o playa

11:23:04 GMT | Info | Regiones

Predicciones

- Oleaje Atlántico
- Oleaje Medit.
- Viento del Mar
- Nivel del Mar
- Corrientes
- Temp. del Agua
- Salinidad

Datos en Tiempo Real

- Oleaje
- Nivel del Mar
- Onda Larga
- Agitación
- Viento
- Presión Atm.
- Temp. del Agua
- Temp. del Aire
- Corrientes
- Salinidad

Datos Históricos

- Oleaje
- Nivel del Mar
- Viento
- Agitación
- Temp. del Agua
- Presión Atm.

Datos de Olas

The screenshot shows the 'Puertos del Estado' website interface. The main content area displays a satellite map of the Iberian Peninsula with numerous green diamond-shaped markers representing wave data points. On the right side, there is a 'Predicciones' and 'Datos en Tiempo Real' menu. A red arrow points to the 'Datos Historicos' section, which is currently expanded to show options for 'Oleaje', 'Viento', 'Temp. del Agua', 'Corrientes', and 'Salinidad'.

65

Datos de Olas

This screenshot shows a detailed view of wave data for a specific point, 'Punto SIEMAR (1061074)'. A pop-up window titled 'Acceso a datos' and 'Información del Punto' is displayed over the map. The window contains sections for 'Oleaje', 'Informes Climáticos', and 'Análisis Interactivos'. Under 'Informes Climáticos', there is a 'Régimen Medio' button. Under 'Análisis Interactivos', there are several checkboxes for different data visualizations: 'Histogramas', 'Tabla Anual Hs/Tp vs Direccion', 'Tabla Hs vs Tp', 'Tabla de Altura Máxima Mensual', 'Rosa de Oleaje', 'Tabla Hs vs Tp', and 'Gráficas de series temporales'.

66

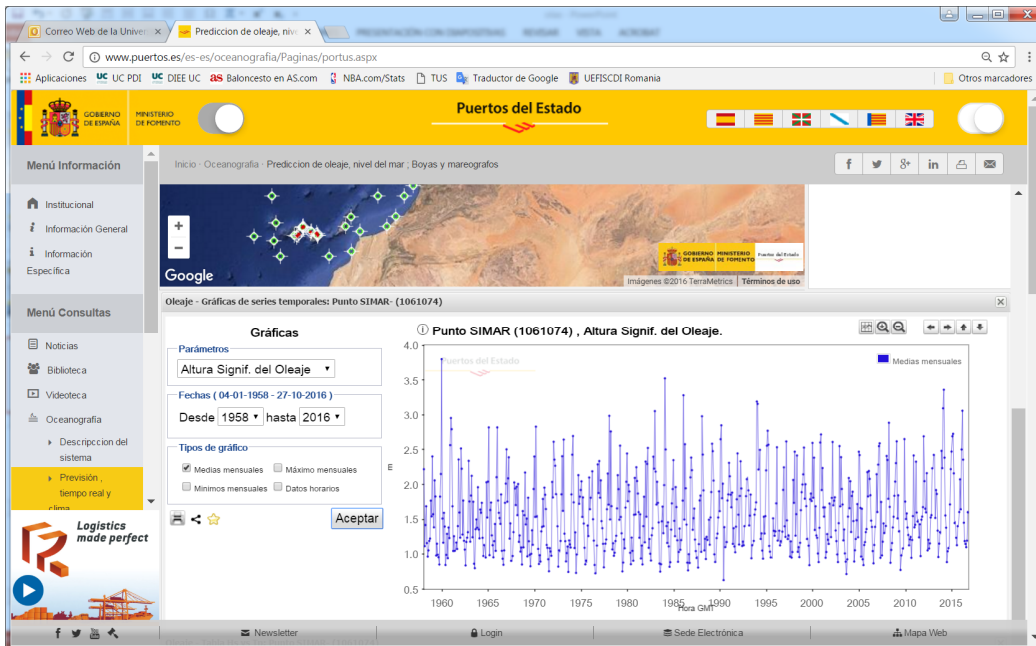
Datos de Olas

67

Datos de Olas

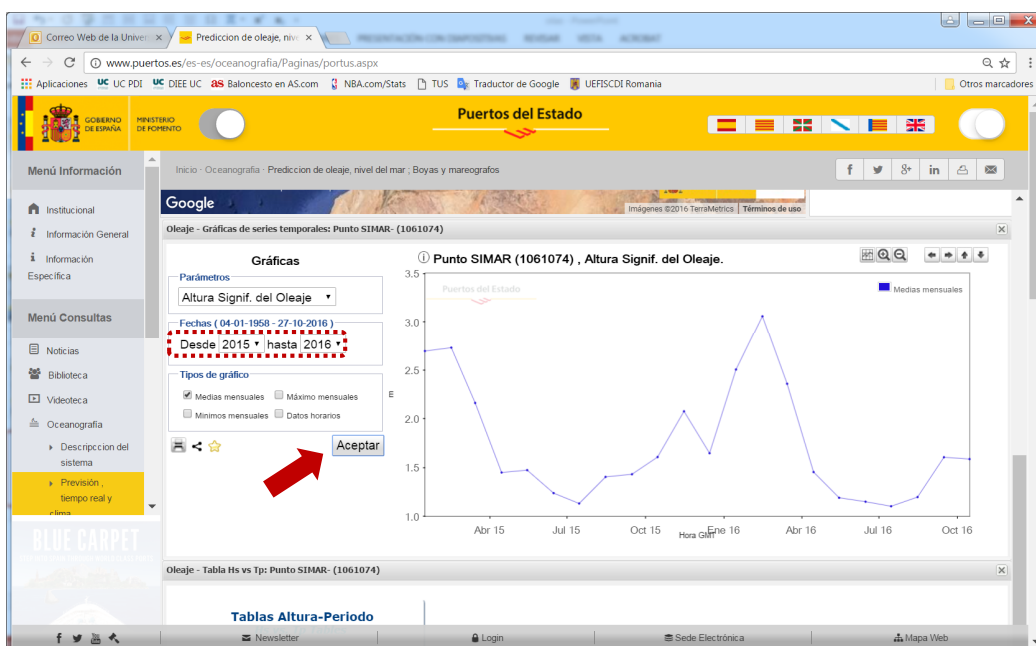
68

Datos de Olas



69

Datos de Olas



70

Datos de Olas

www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx

Puertos del Estado

Inicio - Oceanografía - Predicción de oleaje, nivel del mar, Boyas y mareógrafos

Oleaje - Tabla Hs vs Tp: Punto SIMAR- (1061074)

Tablas Altura-Periodo
Hs vs. Tp Tables

Año inicial/From (year): 1958
 Año final/To (year): 1958
 Delta para Tp/Tp delta: 1
 Delta para Hs/Hs delta: 0.5

enviar/submit

ATENCIÓN / ATTENTION: Tenga en cuenta los datos que va a consultar no proceden de medidas directas, sino que se han obtenido mediante modelos numéricos / Users must take into consideration that these data are not in-situ measurements, they were obtained by means of numerical modeling.

Generado por/Generated by: The Oct 27 11:36:49 UTC 2016

Oleaje - Rosa de Oleaje: Punto SIMAR- (1061074)



71

Datos de Olas

www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx

Puertos del Estado

Inicio - Oceanografía - Predicción de oleaje, nivel del mar, Boyas y mareógrafos

Oleaje - Tabla Hs vs Tp: Punto SIMAR- (1061074)

Tablas Altura-Periodo
Hs vs. Tp Tables

Año inicial/From (year): 1958
 Año final/To (year): 1958
 Delta para Tp/Tp delta: 1
 Delta para Hs/Hs delta: 0.5

enviar/submit

ATENCIÓN / ATTENTION: Tenga en cuenta los datos que va a consultar no proceden de medidas directas, sino que se han obtenido mediante modelos numéricos / Users must take into consideration that these data are not in-situ measurements, they were obtained by means of numerical modeling.

Generado por/Generated by: The Oct 27 11:36:49 UTC 2016

Tabla Hs vs Tp / Hs vs Tp Table
SIMAR 1061074

EFICACIA: 99.17%		AÑO/YEAR: 1958														
		Tp (s)														
		<=1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	>=10.0	TOTAL			
Hs (m)	<=0.5	0.099	0.760	0.403	1.105	0.840	1.033	1.256	2.947	8.402			
	1.0	0.568	0.127	1.105	1.174	3.595	5.168	4.075	5.767	8.840	30.617		
	1.5	0.046	0.437	1.899	2.429	3.660	5.076	9.657	23.204			
	2.0	0.046	0.744	0.757	1.876	2.141	8.653	14.146			
	2.5	0.035	0.932	0.529	1.473	7.136	10.106			
	3.0	0.265	0.863	0.380	4.627	6.135			
	3.5	0.219	0.173	2.859	3.280			
4.0	1.542	1.542				
4.5	0.012	0.760	0.771			
5.0	0.702	0.702			
> 5.0	1.093	1.093			
TOTAL	0.668	0.196	1.911	2.060	7.447	10.371	12.235	16.287	48.826	100%		

Generado por/Generated by Puertos del Estado Fecha/Date 2016-10-27 11:40CET

Oleaje - Rosa de Oleaje: Punto SIMAR- (1061074)



72

Datos de Olas



75

Mareas

Son la fluctuación periódica del nivel del mar

En ella influyen:

- Las atracciones gravitatorias de la Luna y la Tierra
- Las atracciones gravitatorias del Sol y la Tierra
- La fuerza centrífuga creada por el giro de la Tierra

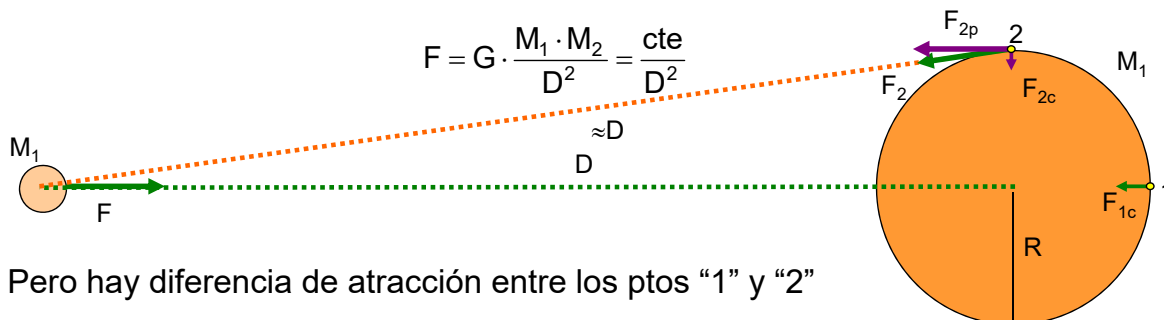
76

Mareas

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$$

Son la fluctuación periódica del nivel del mar

En ella influyen las atracciones gravitatorias de la Luna y el Sol

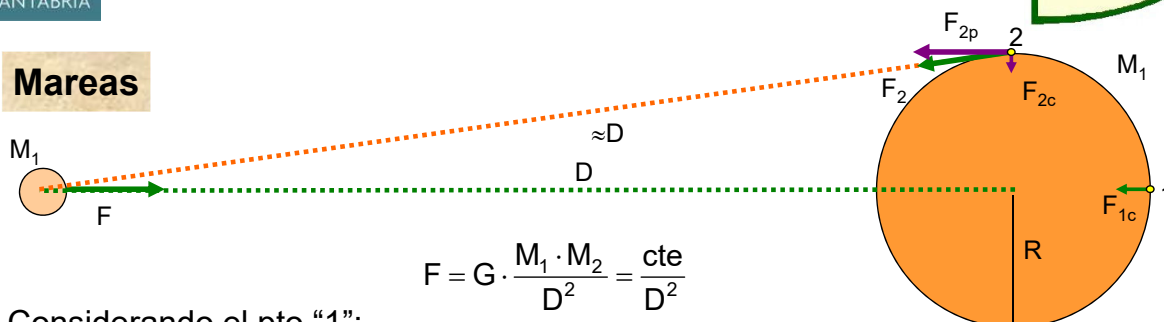


Pero hay diferencia de atracción entre los pts "1" y "2"

Las fuerzas que aparecen crean presiones que hacen variar las columnas de agua (en la dirección de estas)

Estas diferencias de altura crean las mareas

Mareas



Considerando el pto "1":

$$F_{1c} = \frac{\text{cte}}{(D+r)^2} = \frac{\text{cte}}{D^2 + 2 \cdot r \cdot D + r^2} = \frac{\text{cte}}{D^2 \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{r}{D} + \left(\frac{r}{D}\right)^2\right)} \approx \frac{\text{cte}}{D^2 \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{r}{D}\right)} = \frac{\text{cte}}{D^2 \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{r}{D}\right)} \cdot \frac{\left(1 - 2 \cdot \frac{r}{D}\right)}{\left(1 - 2 \cdot \frac{r}{D}\right)} =$$

$$= \frac{\text{cte}}{D^2} \cdot \frac{\left(1 - 2 \cdot \frac{r}{D}\right)}{\left(1 - \left(2 \cdot \frac{r}{D}\right)^2\right)} \approx G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{D^2} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{r}{D}\right)$$

por lo que $\Delta F_{1c} = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{D^2} \cdot 2 \cdot \frac{r}{D}$

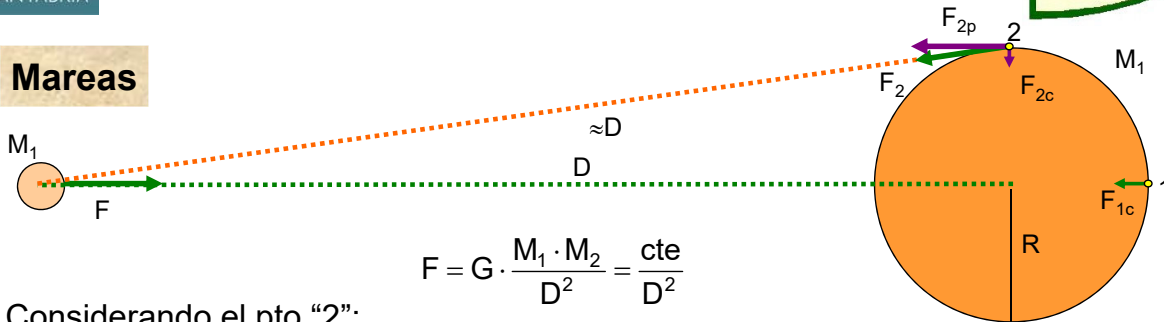
El valor medio de ΔF_{1c} será con $\frac{R}{2}$

$$\Delta \bar{F}_{1c} = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{D^3} \cdot R$$

La variación en la fuerza crea una variación en la presión en la columna de agua que se traduce en una diferencia de altura

$$\Delta h_{1c} = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{D^3} \cdot \frac{R^2}{\rho}$$

Mareas



$$F = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{D^2} = \frac{cte}{D^2}$$

Considerando el pto "2":

La F_2 tiene dos componentes

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{2p} \text{ no crea diferencia de presión en la columna de agua} \\ \frac{F_{2c}}{F} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{R}{D} \Rightarrow F_{2c} = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{D^2} \cdot \frac{R}{D} \end{array} \right.$$

El valor medio será considerand o $\frac{R}{2}$ $\Delta \bar{F}_{2c} = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{D^3} \cdot \frac{R}{2}$

La variación en la fuerza crea una variación en la presión en la columna de agua que se traduce en una diferencia de altura

$$\Delta h_{2c} = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{D^3} \cdot \frac{R^2}{2 \cdot \rho}$$

79

Mareas

El efecto de la Luna es aproximadamente 2 veces mayor al del Sol

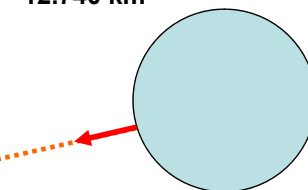
	Δh_1 (cm)	Δh_2 (cm)
Sol	16,3	8,15
Luna	35,6	17,9

$M = 5.97 \cdot 10^{24}$ kg
 $\varnothing = 12.740$ km



$M = 1,99 \cdot 10^{30}$ kg
 $\varnothing = 1.392.000$ km

$L = 149.597.871$ km



$L = 384.400$ km

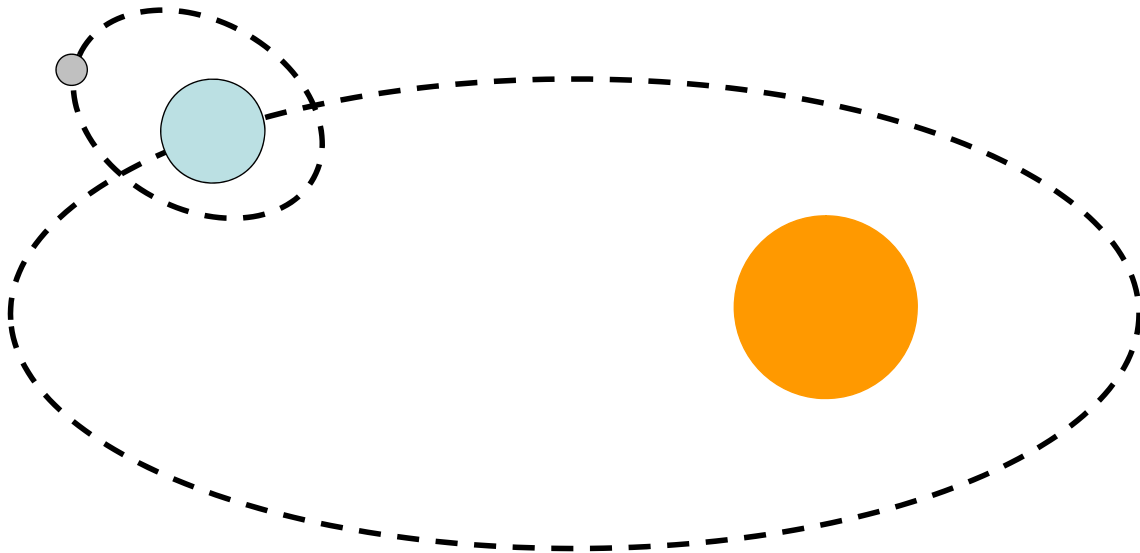
$M = 7,35 \cdot 10^{22}$ kg
 $\varnothing = 3.476$ km



80

Mareas

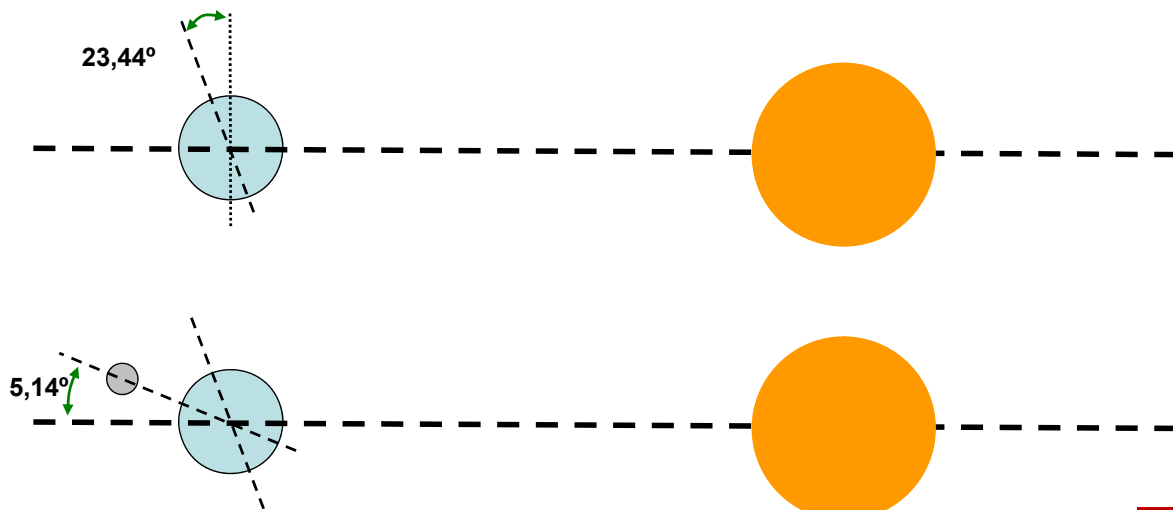
Las orbitas entre la Tierra y el Sol, y entre la Luna y la Tierra son elípticas y no circulares



81

Mareas

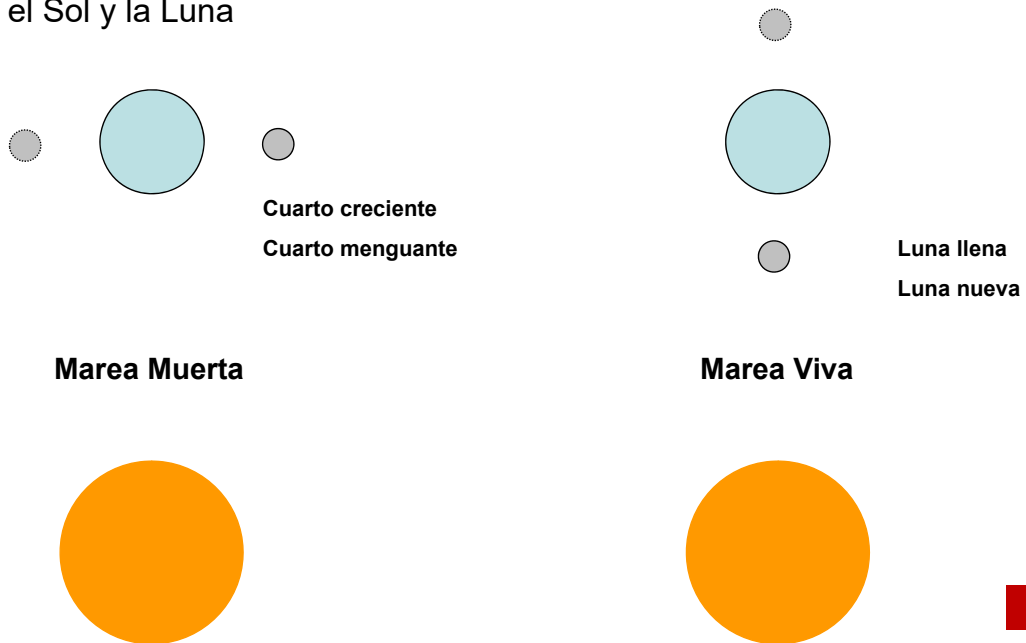
La Tierra está inclinada respecto a la elíptica del Sol ($23,44^\circ$)
La elíptica de la Luna está inclinada respecto a la del Sol ($5,14^\circ$)



82

Mareas

Hay mareas vivas y muertas, son debidas a la posición relativa entre la Tierra, el Sol y la Luna



Mareas

Además de todo lo anterior:

- La Tierra está achatada por los polos
- La Tierra tiene presencia de Continentes, que dificultan los movimientos de agua (mares interiores tienen menos amplitud)
- El litoral, el viento, las lluvias, etc, modifican la amplitud

Por lo tanto, diariamente se producen 2 pleamares y 2 bajamares

- Las dos mareas tienen prácticamente la misma amplitud
- Entre una pleamar y una bajamar hay aprox. 6h y 15m
- Su período es de aprox. 12h 30 m

Mareas

La variación del nivel del agua del mar debido a las mareas es de la forma:

$$h = a \cdot \cos(w \cdot t + j)$$

- w depende de las condiciones astronómicas, es cte en todo momento y lugar
- a es la amplitud de la marea, diferencia entre plea y baja mar (depende del lugar)
- j es la fase de cada onda (depende del lugar)

Para su explotación se requiere que sea al menos de 5 m, y que el volumen de agua acumulado sea suficientemente grande

La energía disponible es:

$$E = E \text{ (vaciado)} + E \text{ (llenado)} = \gamma \cdot \int_0^a \text{Area}(z) \cdot z \cdot dz + \gamma \cdot \int_0^a \text{Area}(z) \cdot (a - z) \cdot dz$$

- γ peso específico del agua, 9.800 N/m³
- z es la altura del agua embalsada (si no hay bombeo $0 < z < a$)

85

Mareas

Si el ciclo de marea es de 6,2h

$$E = E \text{ (obtenida en el llenado)} + E \text{ (obtenida en el vaciado)} = \gamma \cdot a \cdot \text{Volumen} = \gamma \cdot a^2 \cdot \text{Area}$$

Si se expresan A en km² y V en m³ $\Rightarrow E = 226 \cdot a^2 \cdot \text{Area} \text{ kW}$

Si el llenado por pleamar del embalse se complementa con bombeo, habría que considerar la altura extra conseguida, y la energía sería:

$$E \text{ (con bombeo)} = E \text{ (obtenida en el llenado)} + E \text{ (obtenida en el vaciado con bombeo)}$$

$$E \text{ (vaciado con bombeo)} = E \text{ (v. de lo acumulado de forma natural)} + E \text{ (v. de lo acumulado por bombeo)}$$

$$E \text{ (v.natural)} + E \text{ (v.bombeo)} = \gamma \cdot \int_0^a \text{Area}(z) \cdot (a - z) \cdot dz + \gamma \cdot \int_0^a \text{Area}(z') \cdot (z' - a) \cdot dz$$

z' es la altura de almacenamiento conseguida con el bombeo ($z' > a$)

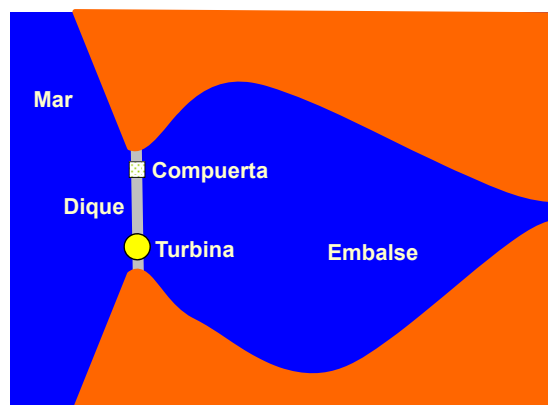
$$E \text{ (con bombeo)} = 2,72 \cdot 10^{-3} \cdot (V + V') \cdot a \text{ kW}$$

86

Mareas

Pueden existir diferentes modos de trabajo de las centrales mareomotrices

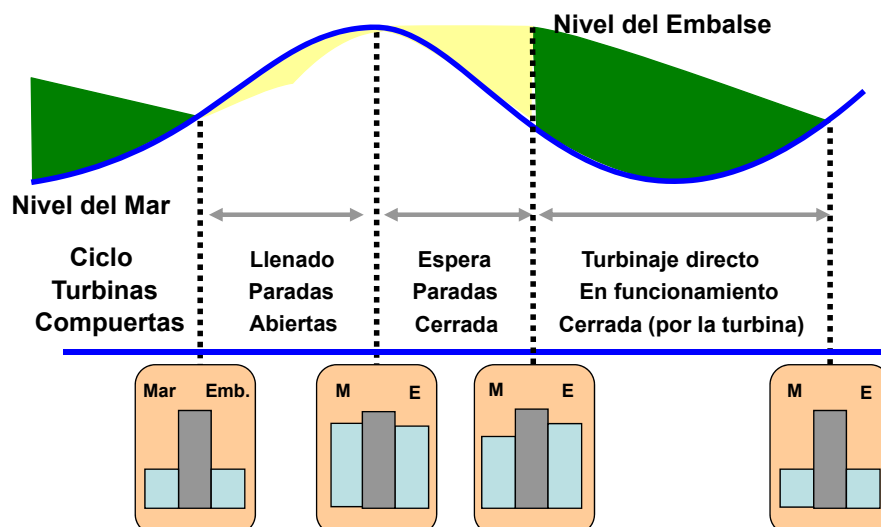
- de Efecto Simple
- de doble Efecto
- de Acumulación por Bombeo
- de Ciclos Múltiples



87

Mareas

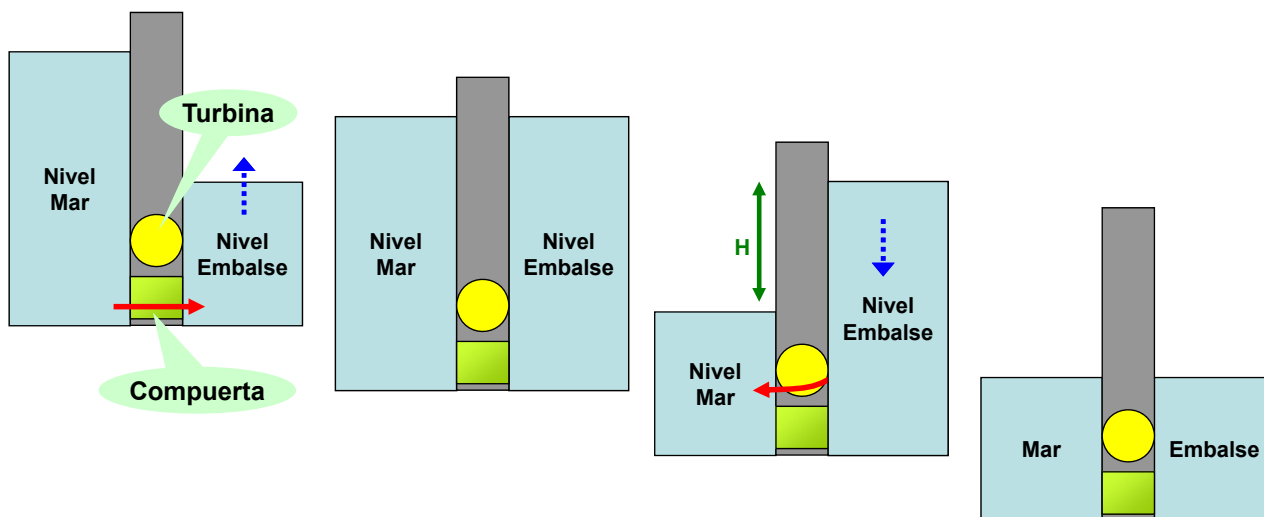
Central de Efecto Simple: Turbinaje directo



88

Mareas

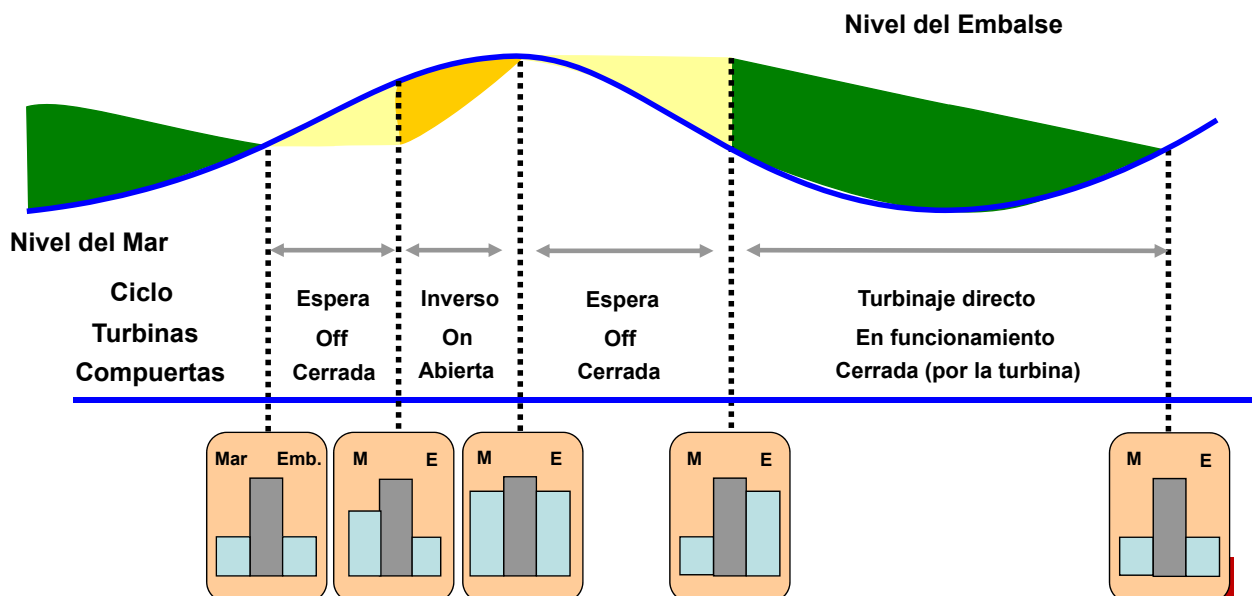
Central de Efecto Simple: Turbinaje directo



89

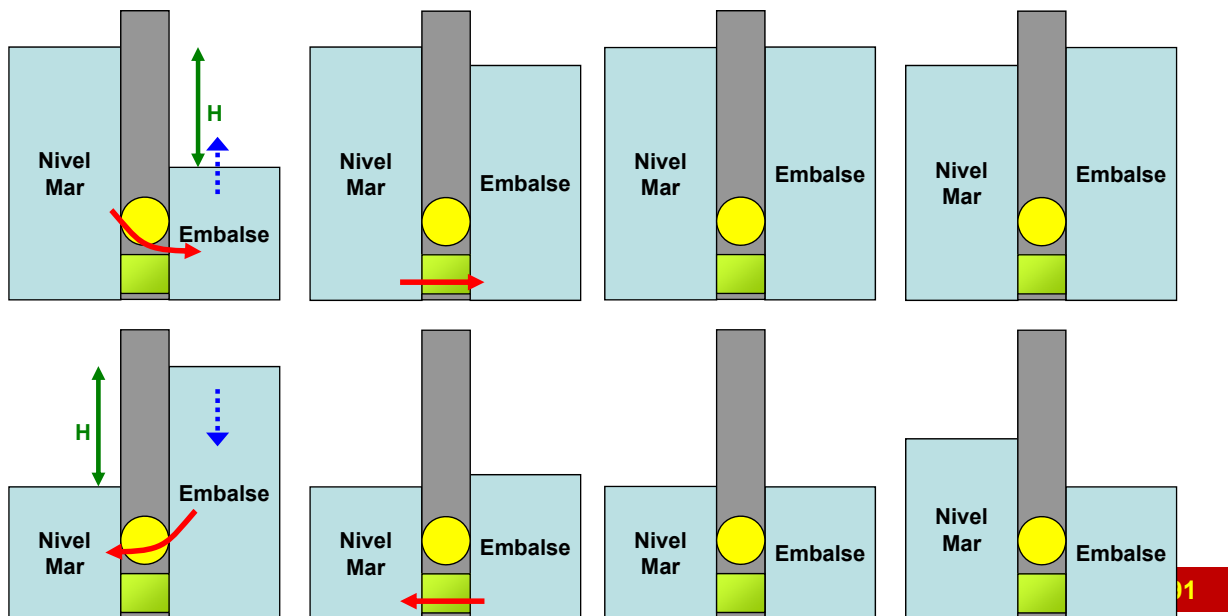
Mareas

Central de Doble Efecto



Mareas

Central de Doble Efecto



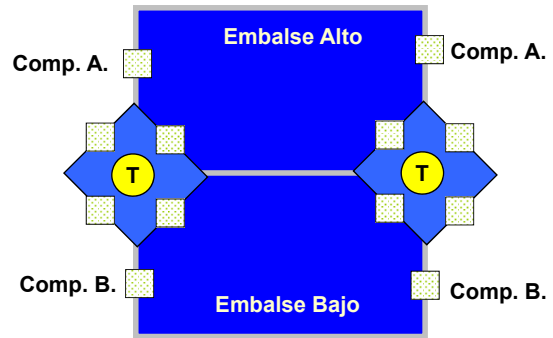
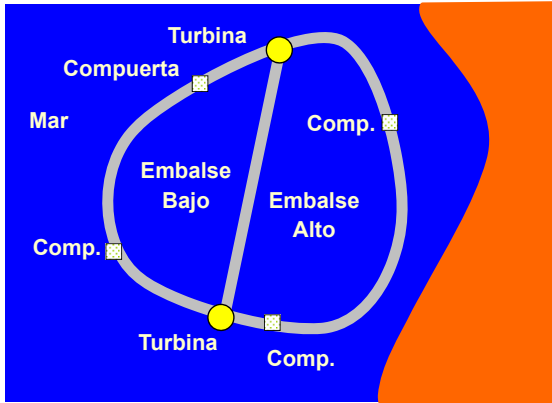
Mareas

Central de Bombeo

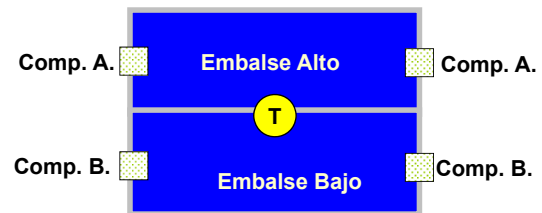
- Pueden ser de Ciclo Simple o Doble
- El bombeo se utiliza para aumentar (o disminuir en las de ciclo doble) el volumen de agua acumulado; **se puede sobrepasar la marea**
- Se bombea cuando la marea no es favorable y son horas valle en la tarifa de electricidad
- Se desacumula con mareas favorables, pero procurando coincidir con horas pico de la tarifa eléctrica
- Los grupos turbogeneradores deben ser más grandes de lo normal, para permitir desacumular en tiempos más cortos

Mareas

Central de Ciclos Múltiples



Disposición Caquot



Disposición Belidor

http://www.puertasantander.es/cas/tabla_mareas.aspx

EL PUERTO TRÁFICO SERVICIOS FORMACIÓN NORMAS INFRAESTRUCTURAS ON LINE NOTICIAS

Gobierno de España Ministerio de Fomento Puerto de Santander

Actividad Portuaria Ayuda Navegación Derrotero Santander Port Control Balizamiento Tabla Mareas Normas Navegación Horario puente Dársena Maltorio

Tabla de Mareas octubre 2016

Elige un mes y un año a mostrar: Mes: Octubre Año: 2016 Enviar

En horario de verano, añadir una hora a la hora oficial de España.

Día	Fecha	Mañana	Tardes	Coef. 0h	Coef. 12h	Mañana	Tardes
Día	Fecha	Pleamar Altura	Pleamar Altura	Coef. 0h	Coef. 12h	Bajamar Altura	Bajamar Altura
sáb	22	9:06 4,25	21:56 3,97	48	46	2:37 1,68	15:21 1,73
dom	23	10:26 4,06	23:20 3,85	46	48	3:46 1,94	16:41 1,90
lun	24	11:48 4,01		51	55	5:05 2,06	18:04 1,90
mar	25	0:35 3,88	12:58 4,09	59	64	6:23 2,01	19:13 1,78

www.puertasantander.es/cas/tabla_mareas.aspx

mié	05	6:32	4,42	18:46	4,29	65	60	0:26	1,47	12:39	1,59
jue	06	7:06	4,27	19:22	4,09	55	50	0:58	1,65	13:14	1,77
vie	07	7:44	4,10	20:05	3,88	46	41	1:33	1,86	13:55	1,97
sáb	08	8:34	3,92	21:06	3,69	39	37	2:16	2,06	14:48	2,15
dom	09	9:44	3,79	22:35	3,60	37	40	3:14	2,24	15:59	2,27
lun	10	11:12	3,79			43	50	4:34	2,32	17:25	2,23
mar	11	0:05	3,69	12:27	3,94	56	65	5:58	2,22	18:40	2,02
mié	12	1:07	3,91	13:25	4,20	72	80	7:05	1,98	19:37	1,71
jue	13	1:58	4,21	14:14	4,51	88	95	7:57	1,67	20:23	1,37
vie	14	2:42	4,52	14:58	4,83	101	106	8:42	1,33	21:06	1,05
sáb	15	3:24	4,81	15:41	5,09	110	113	9:26	1,02	21:48	0,80
dom	16	4:06	5,04	16:24	5,26	114	113	10:08	0,79	22:30	0,66
lun	17	4:48	5,16	17:08	5,30	111	107	10:52	0,66	23:14	0,66
mar	18	5:31	5,16	17:54	5,19	102	95	11:38	0,68		
mié	19	6:17	5,04	18:43	4,94	88	80	23:58	0,76	12:26	0,87
jue	20	7:06	4,81	19:36	4,60	73	65	0:48	1,02	13:17	1,13
dom	23	10:26	4,06	23:20	3,85	46	48	3:46	1,94	16:41	1,90
lun	24	11:48	4,01			51	55	5:05	2,06	18:04	1,90
mar	25	0:35	3,88	12:58	4,09	59	64	6:23	2,01	19:13	1,78

Mareas 30-10-2016
Pleamar BajaMar Coef
4:01 4:55 10:07 1,32 85
16:17 4:57 22:26 1,27 85
Mas Información

Servicios Online

dom 23 10:26 4,06 23:20 3,85 46 48 3:46 1,94 16:41 1,90
lun 24 11:48 4,01 51 55 5:05 2,06 18:04 1,90
mar 25 0:35 3,88 12:58 4,09 59 64 6:23 2,01 19:13 1,78

95

Datos de Mareas

www.puertasantander.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx

Puertos del Estado

Inicio - Oceanografía - Predicción de oleaje, nivel del mar, Boyas y mareógrafos

Búsqueda localidad: puerto o playa

16:36:12 GMT Info Regiones

Predicción de nivel (residuo): 01-11-2016 03h GMT, martes

Satélite Mapa

Predicciones

- Oleaje Atlántico
- Viento
- Corrientes
- Salinidad
- Oleaje Medit.
- Nivel del Mar
- Temp. del Agua

Datos en Tiempo Real

- Oleaje
- Onda Larga
- Viento
- Temp. del Agua
- Corrientes
- Nivel del Mar
- Agitación
- Presión Atm.
- Temp. del Aire
- Salinidad

Datos Históricos

- Oleaje
- Viento
- Temp. del Agua
- Corrientes
- Salinidad
- Nivel del Mar
- Agitación
- Presión Atm.
- Temp. del Aire

96

Datos de Mareas

www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx

Puertos del Estado

Predicción de nivel (residuo): 30-10-2016 21h GMT, domingo

Acceso a datos

Variable	Tablas	Gráficos	Referencia
Predicción del Nivel del Mar	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Cero REDMAR
Residuo (Nivel - Marea)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Marea astronómica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

97

Datos de Mareas

www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx

Puertos del Estado

Santander. Nivel del mar (hora GMT - Ref: Cero REDMAR)

Santander. Nivel del mar (hora GMT - Ref:)

domingo 30		lunes 31		martes 01		miércoles 02	
03:02	Pleamar 4.50 (m)	03:32	Pleamar 4.61 (m)	04:01	Pleamar 4.60 (m)	04:32	Pleamar 4.58 (m)
09:04	Bajamar 1.28 (m)	09:36	Bajamar 1.29 (m)	10:09	Bajamar 1.32 (m)	10:41	Bajamar 1.39 (m)
15:17	Pleamar 4.55 (m)	15:46	Pleamar 4.59 (m)	16:16	Pleamar 4.52 (m)	16:47	Pleamar 4.46 (m)
21:24	Bajamar 1.27 (m)	21:54	Bajamar 1.30 (m)	22:24	Bajamar 1.37 (m)	22:55	Bajamar 1.51 (m)

hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Nivel (m)	2.87	3.69	4.27	4.49	4.32	3.79	3.01	2.17	1.53	1.28	1.47	2.02	2.78	3.59	4.23	4.53	4.45	4.02	3.29	2.43	1.7	1.3	1.35	1.81
Marea (m)	2.91	3.71	4.29	4.5	4.33	3.79	3.01	2.16	1.51	1.26	1.44	1.99	2.76	3.57	4.21	4.51	4.43	3.99	3.26	2.41	1.67	1.27	1.32	1.77
Residuo (m)	-0.04	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
Presión (mb)	1028	1027	1026	1026	1025	1025	1024	1024	1023	1023	1023	1022	1022	1022	1021	1021	1021	1021	1021	1021	1021	1021	1021	1021

98

Corrientes

La **Potencia** extraíble es similar a la de las turbinas eólicas

$$\text{Potencia} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

ρ densidad del agua

A es el área barrida por las palas de la turbina

v es la velocidad del agua

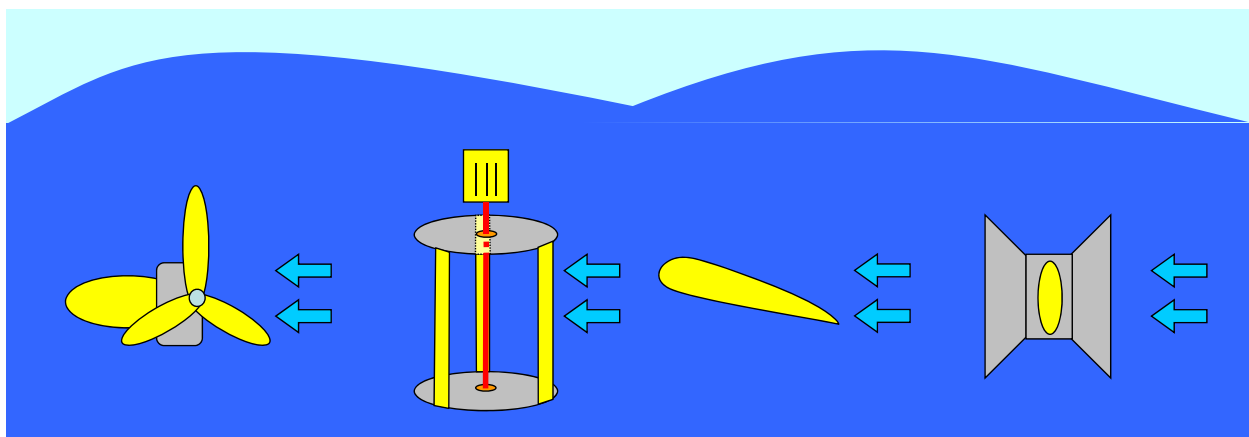
Con corrientes de 2 m/s se obtienen 4.000 W/m² barrido

Para desarrollar la misma potencia, una turbina eólica necesita 18,8 m/s

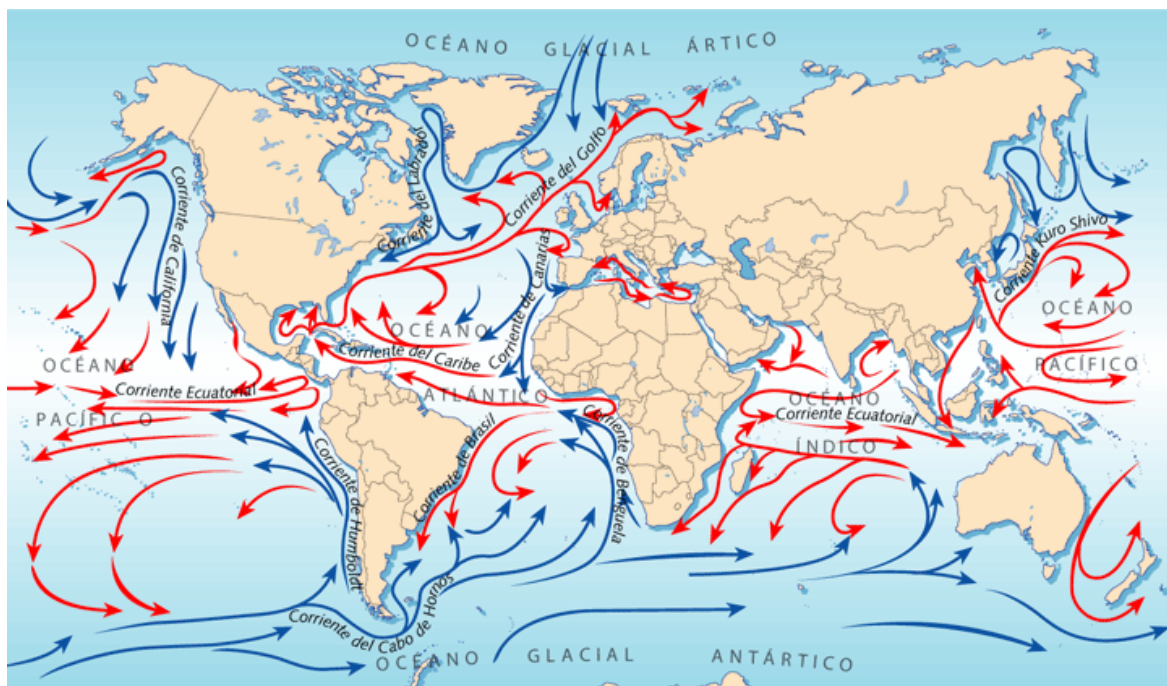
La **Energía** será el producto de la potencia por el tiempo de funcionamiento

Tecnologías de Aprovechamiento de la Energía de las Corrientes

- Horizontal axis, or axial flow turbines
- Vertical axis or cross-flow turbines
- Reciprocating hydrofoils
- Venturis



Datos de Corrientes



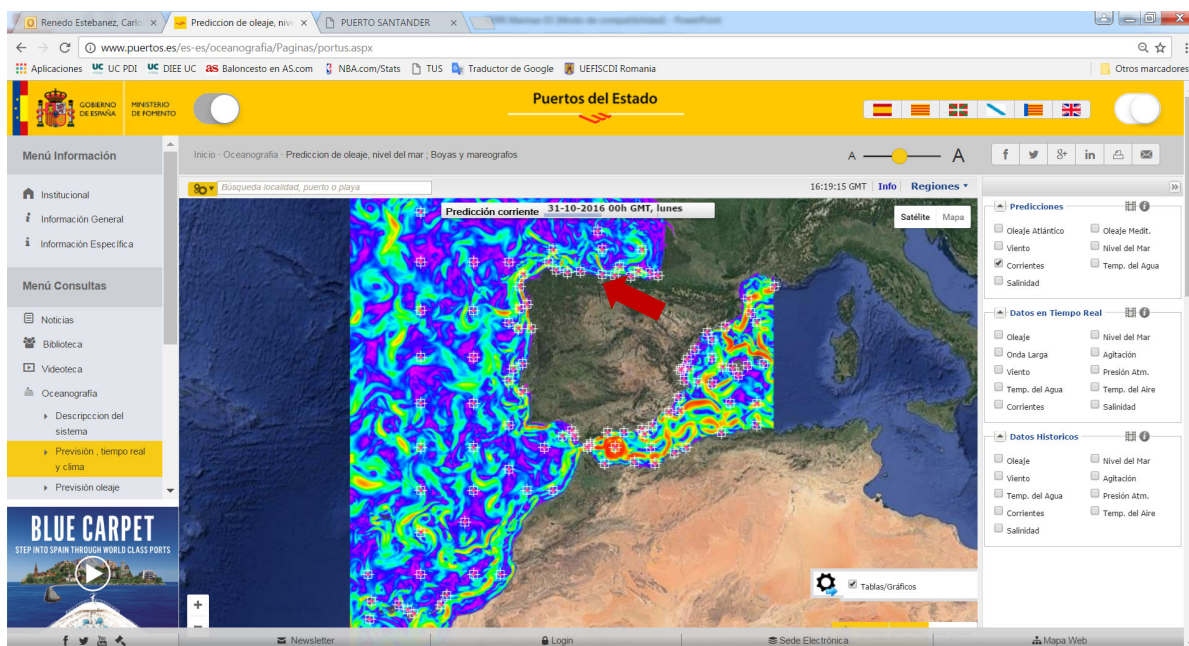
01

Datos de Corrientes



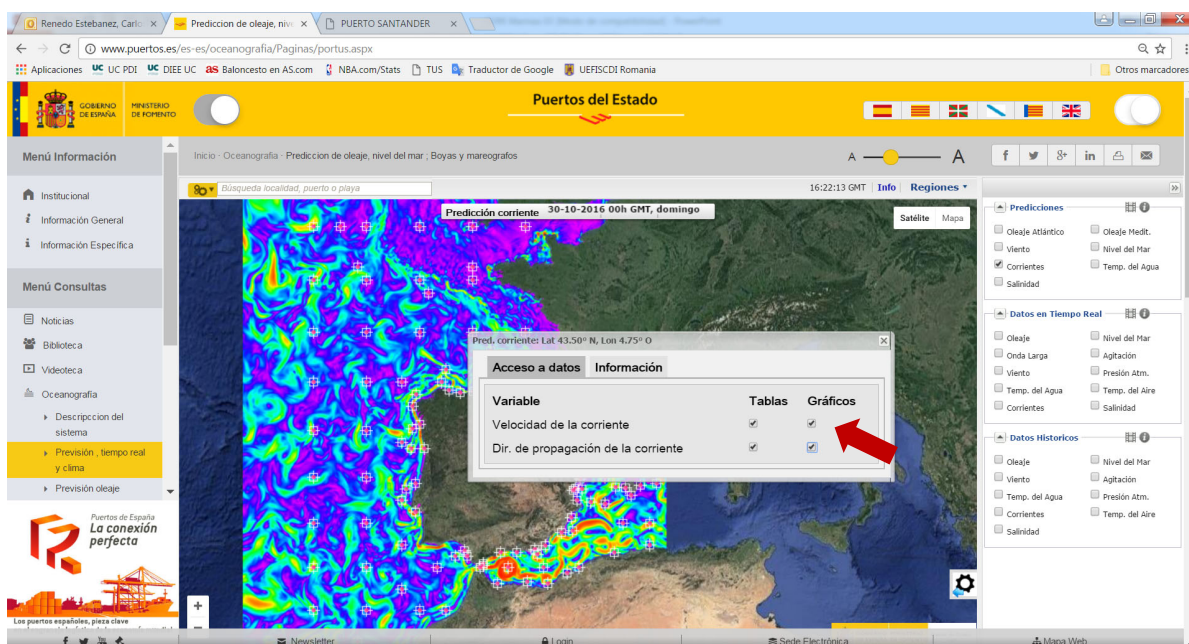
102

Datos de Corrientes



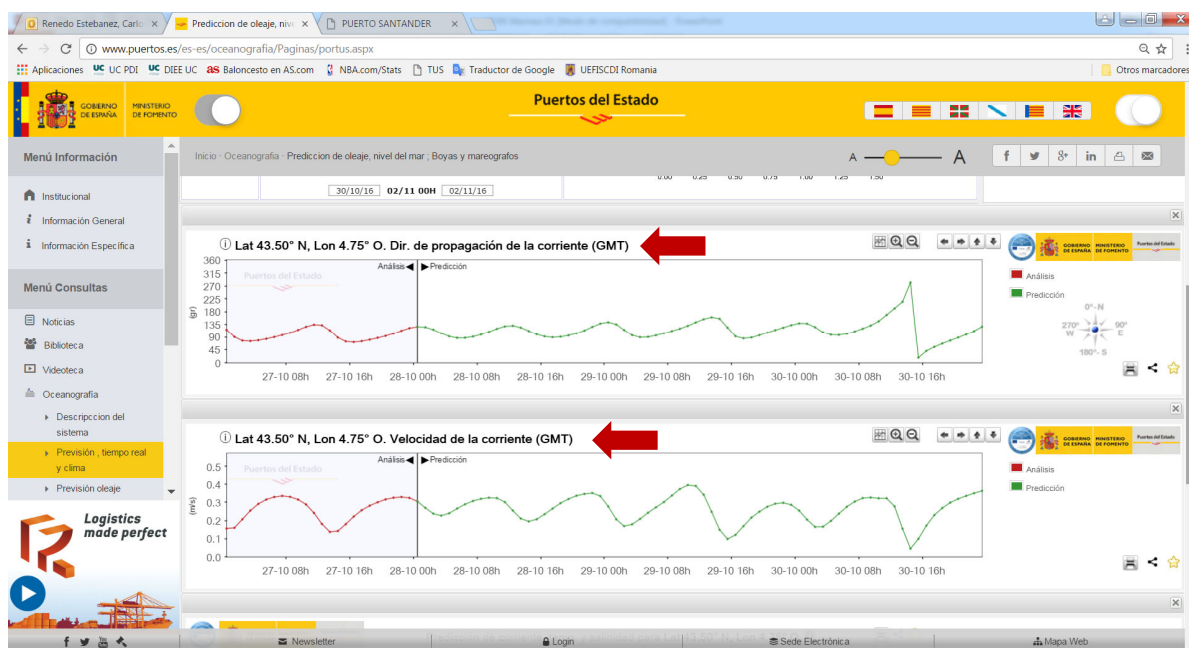
103

Datos de Corrientes



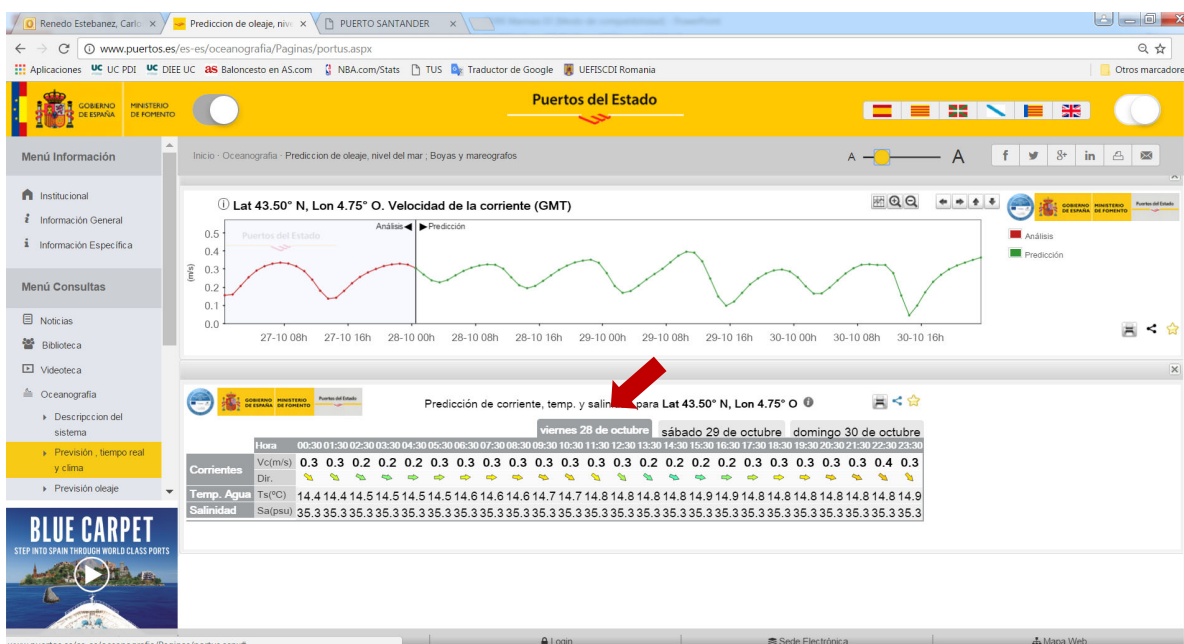
104

Datos de Corrientes



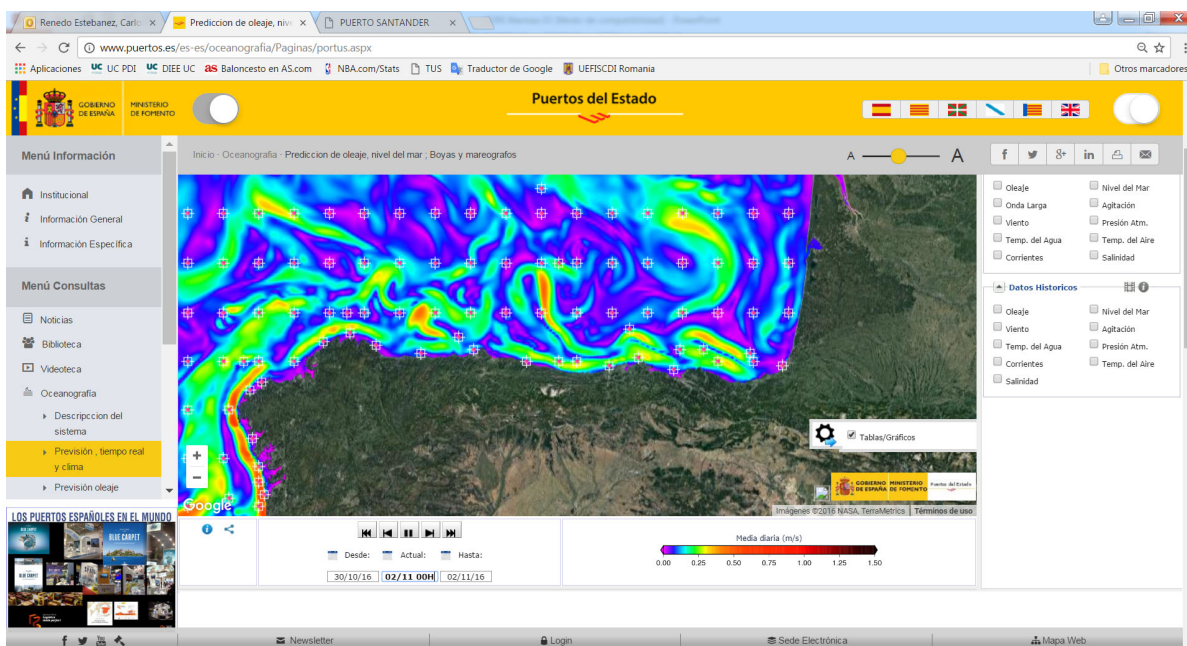
105

Datos de Corrientes



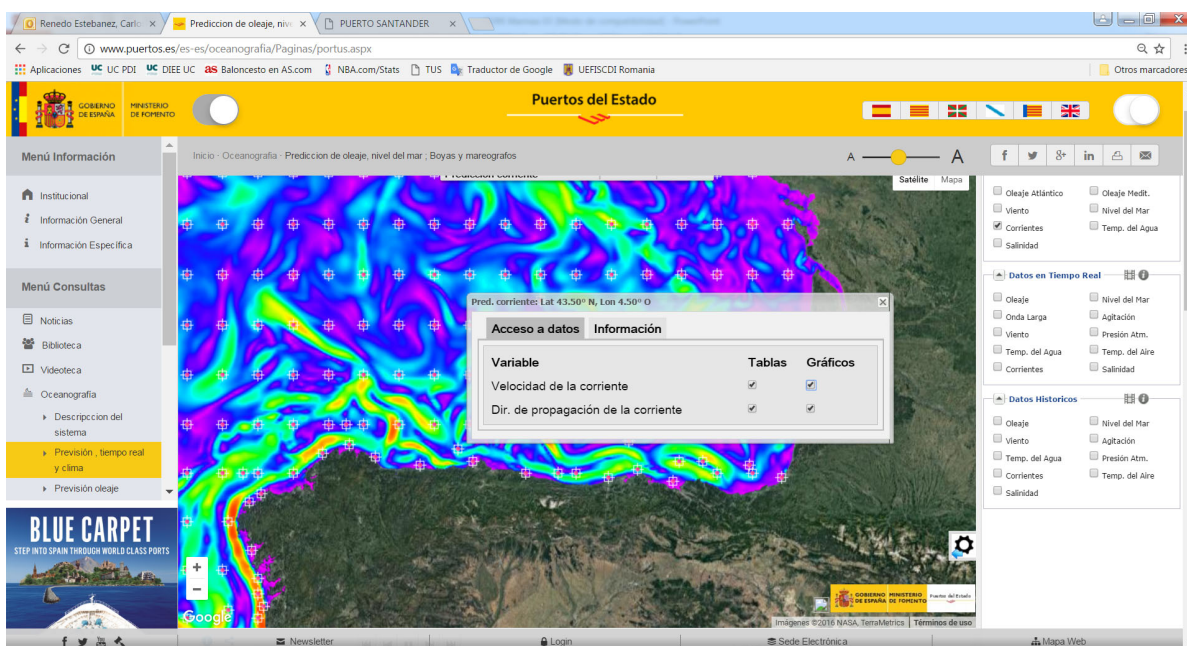
106

Datos de Corrientes



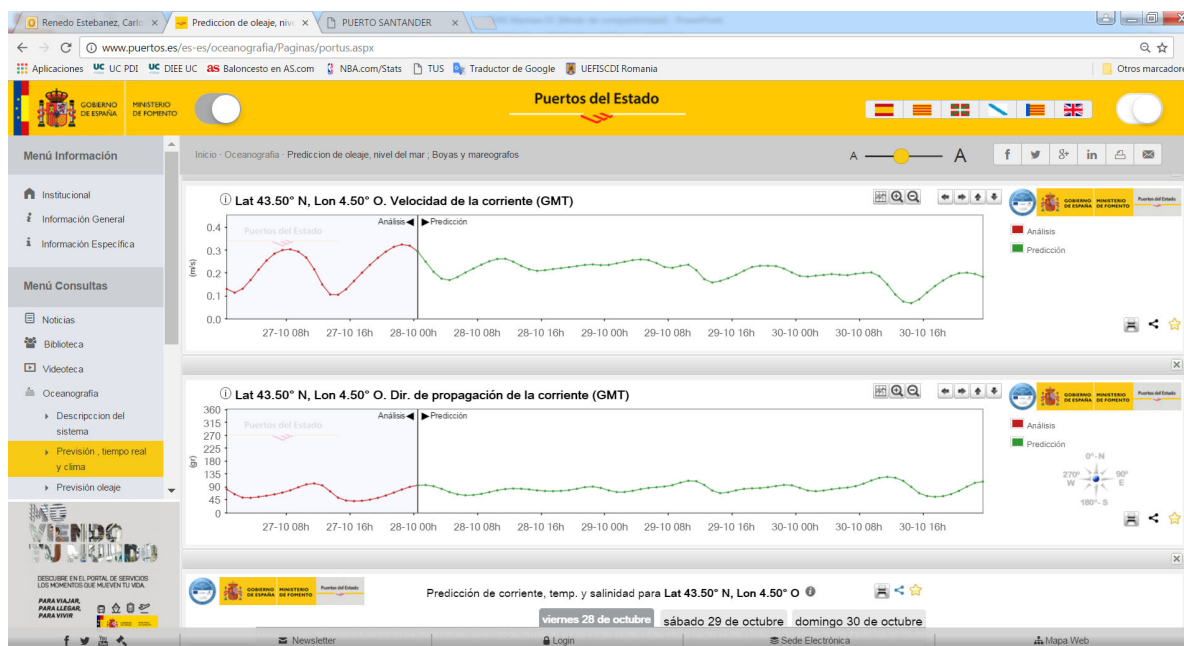
107

Datos de Corrientes



108

Datos de Corrientes



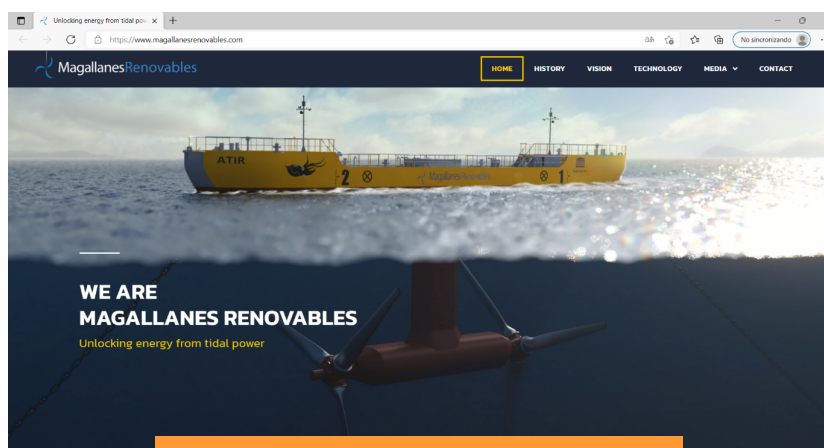
109

Energías Renovables



Plataforma de energía mareomotriz ATIR

- Fijada al suelo con cadenas
- Desarrollada por la compañía Magallanes renovables
- Necesita corriente mínima de 1 m/s
- Los rotores dobles desarrollan una potencia combinada de 1,5 MW
- Producción estimada de entre 3.500 o 5.200 MWh/año
- Inversión: 8 M€



<https://www.magallanesrenovables.com>

110

Centrales de energías renovables

Generación eléctrica con energías renovables

3ª edición
José Antonio Carta González
Roque Calero Pérez
Antonio Colmenar Santos
Manuel Alonso Castro Gil
Eduardo Collado Fernández



CENTRALES DE ENERGIA RENOVABLE

J. A. Carta, R. Calero, A. Colmenar, M.A. Castro, E. Callado
Ed: Pearson

<http://es.pfernandezdiez.es/index.php?pageID=15>

ENERGÍA MAREMOTRIZ
ENERGÍA DE LA OLAS
ENERGIA MAREMOTERMICA
Pedro Fernández Díez
Universidad de Cantabria

