



**Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE GRADO

TÍTOL: Estudio y diseño de un prototipo para la captación de energía de las olas del mar en el espigón de Vilanova i la Geltrú

AUTORES: Landeira Fernández, Francisco

Díez Vázquez, Javier

FECHA: 31 - enero - 2018

APELLIDOS: Landeira Fernández	NOMBRE: Francisco
TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica	
PLAN: Bolonia	
DIRECTOR: López Membrilla, Manuel	
DEPARTAMENTO: Expresión Gráfica en la Ingeniería	

APELLIDOS: Díez Vázquez	NOMBRE: Javier
TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica	
PLAN: Bolonia	
DIRECTOR: López Membrilla, Manuel	
DEPARTAMENTO: Expresión Gráfica en la Ingeniería	

CALIFICACIÓN DEL TFG

<u>TRIBUNAL</u>		
PRESIDENTE	SECRETARIO	VOCAL
López Membrilla, Lourdes	Trejo Omeñaca, Alexandre	Roset Calzada, M. Lourdes
FECHA DE LECTURA: 9 - febrero - 2018		

Este proyecto tiene en cuenta aspectos medioambientales: Sí No

RESUMEN

En este trabajo de final de grado hemos realizado un prototipo mecánico capaz de captar la energía que se pierde de las olas del mar (energía undimotriz) en el espigón de Vilanova i la Geltrú. Estudiando y analizando los mecanismos y prototipos de las empresas actuales en el mercado, obtenemos unas ideas para nuestro dispositivo.

A parte hemos analizado el comportamiento del oleaje en nuestro punto de estudio, que es en el espigón de la playa del faro (Vilanova i la Geltrú) y teniendo en cuenta el oleaje y las mareas, hemos diseñado un prototipo más idóneo para esta ubicación.

Nuestra idea final trataría de poner varios dispositivos a lo largo del espigón para así de esta manera poder captar la máxima energía en esta zona.

Palabras clave (Máximo 10):

Energías renovables	Undimotriz	Mecánica	Mareomotriz
Mar	Estudio	Diseño	Vilanova i la Geltrú
Puerto	Prototipo		

ABSTRACT

In this final degree project we have made a mechanical prototype capable of capturing the energy that is lost from the waves of the sea (wave energy) in the breakwater of Vilanova i la Geltrú. By studying and analysing the mechanisms and prototypes of current companies in the market, we obtain some ideas for our device.

We have also analysed the behaviour of the waves at our point of study, which is at the pier of the beach of the lighthouse (Vilanova i la Geltrú) and taking into account the waves and tides, we have designed a more suitable prototype for this location.

Our final idea would try to put several devices along the jetty in order to capture the maximum energy in this area.

Keywords (10 maximum):

Renewable Energy	Undimotriz	Mechanics	Mareomotriz
Sea	Study	Design	Vilanova i la Geltrú
Port	Prototype		

ÍNDICE

1	Introducción y objetivo del proyecto	9
2	Investigación 1.....	15
2.1	Identificación y análisis	15
2.2	Esquema de energías.....	23
2.3	Diseños iniciales.....	24
2.4	Conclusiones de la investigación 1	26
3	Investigación 2.....	27
3.1	Estudio y necesidades del usuario.....	27
3.2	Encuestas.....	41
3.3	Ideas y conceptos de empresas	44
3.4	Conclusiones de la investigación 2	47
4	Desarrollo de la propuesta	48
4.1	Especificaciones.....	48
4.2	Diseño	56
4.3	Funcionalidad y uso del producto	58
5	Estudio y análisis de los materiales.....	59
6	Presupuesto	66
6.1	Estudio de costes	66
7	Planos	68
8	Impacto ambiental	70
9	Visualización del producto final	71
10	Conclusiones del proyecto.....	73
11	Agradecimientos	73
12	Fuentes de información	74
13	Anexos.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Corrientes marinas del mundo.....	9
Figura 2 Turbinas diseñadas en CFD's	14
Figura 3 Energía Hidráulica.	16
Figura 4 Obtención de energía a través de placas solares.....	19
Figura 5 Energía Biomasa.	19
Figura 6 Obtención de energía Geotérmica.....	21
Figura 7 Comparativa diferentes energías.....	22
Figura 8 Esquema de energías.	23
Figura 9 Prototipo-1. Dama de Elche.....	24
Figura 10 Prototipo-2. Modelo Catapulta.	25
Figura 11 Clasificación del aprovechamiento de la energía del mar.	28
Figura 12 Característica de las olas.	30
Figura 13 Clasificación de captadores de energía de las olas según su ubicación.	31
Figura 14 Planta de Mutriku (Guipúzcoa)	32
Figura 15 Columna de agua oscilante (Oscillating Water Column, OWG).....	32
Figura 16 Futura planta de energía de las olas de Arquímedes Wave Swing.	33
Figura 17 Sistema Pelamis.....	33
Figura 18 Clasificación de dispositivos de energía de las olas por su forma.....	34
Figura 19 Zonas de mareas medias a nivel mundial.	36
Figura 20 Planta mareomotriz de La Rance (Francia).	36
Figura 21 Mareas muertas y Mareas vivas.....	38
Figura 22 Gradiente geotérmico oceánico.....	39
Figura 23 Gradiente salino.	40

Figura 24 Salinidad en el mundo.	41
Figura 25 Estadística edades y género.	41
Figura 26 Resultado de la encuesta a la pregunta 1.	42
Figura 27 Resultado de la encuesta a la pregunta 2.	42
Figura 28 Resultado de la encuesta a la pregunta 3.	43
Figura 29 Resultado de la encuesta a la pregunta 4.	43
Figura 30 Resultado de la encuesta a la pregunta 5.	43
Figura 31 Pelamis en pleno funcionamiento.	44
Figura 32 Boya de la empresa Ocean Power Technologies (OPT).	45
Figura 33 Dispositivo Oyster.	46
Figura 34 Columna de agua oscilante (OWC).	47
Figura 35 Características de una ola.	49
Figura 36 Coordenadas terrestres del puerto de Vilanova i la Geltrú.	51
Figura 37 Altura de las olas mediante el tiempo.es.	52
Figura 38 Tamaño de las olas.	52
Figura 39 Previsión a 10 días de la dirección de las olas del mar.	53
Figura 40 Consulta de datos del estado del mar.	54
Figura 41 Dirección de las olas en el espigón.	54
Figura 42 Imágenes playa del Far desde Google Maps, Vilanova i la Geltrú.	55
Figura 43 Ideas a partir del diseño inicial 1.	56
Figura 44 Ideas a partir del diseño inicial 2.	57
Figura 45 Modulo Young vs Densidad.	59
Figura 46 Gráfica densidad del POM.	60
Figura 47 Gráfica densidad de la espuma de polímero flexible (FOAM).	63
Figura 48 Vista en planta zona puerto Vilanova i la Geltrú.	69

Figura 49 Impacto ambiental.70
Figura 50 Prototipo final montado.....71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estudio de costes.67

1 Introducción y objetivo del proyecto

En los últimos años se está reconociendo el potencial de la generación de energía, mediante rotores instalados en el fondo marino, así aprovechan las corrientes marinas de los océanos. Muchas empresas del sector renovable energético están haciendo inversiones para investigar el aprovechamiento de dichas corrientes. Esta energía renovable tiene una gran ventaja respecto a las otras, y es que su generación puede ser prácticamente ininterrumpida, ya que siempre en los océanos hay corrientes. Uno de los grandes compromisos que tiene la UE es el de combatir el calentamiento global y uno de los pilares para hacer frente a este efecto es la generación de electricidad de energía renovable, así minimizando cada vez más el uso de los combustibles fósiles.

Principalmente el estudio de este tipo de turbinas va marcado por la aplicación de la tecnología a la conversión de la energía cinética de las corrientes marinas. Gracias a toda la investigación en los campos de la energía eólica, podemos desarrollar este tipo de energía undimotriz u olamotriz. Quedan muchos campos por investigar y desarrollar, como el duro ambiente marino, las tensiones que deben soportar las estructuras y los fenómenos de cavitación que se pueden producir.

La energía de los océanos puede aprovecharse de distintas maneras, energía eólica de los vientos marinos y energías de las mareas (energía mareomotriz), y de las olas (energía undimotriz). Respecto a esta última, el potencial mundial de la energía generada por las olas se sitúa en 2TW.

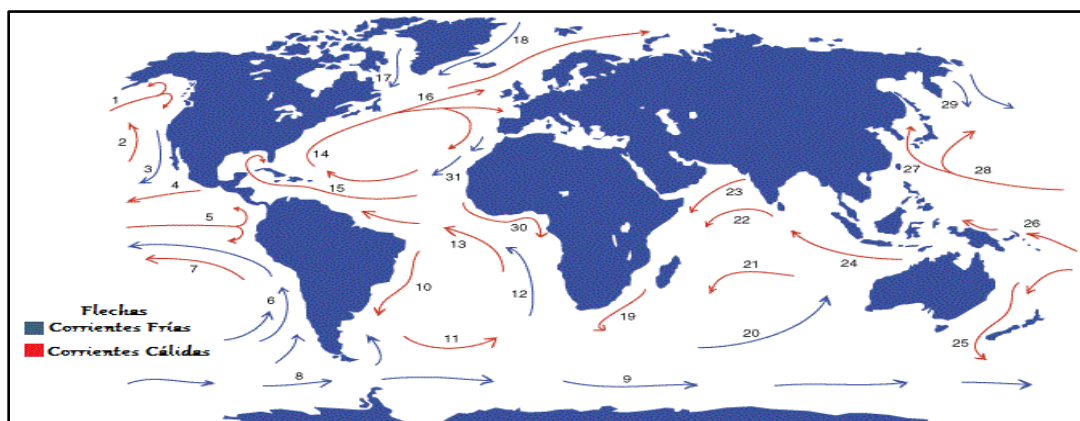


Figura 1 Corrientes marinas del mundo.

La energía undimotriz u olamotriz: es la energía que aprovecha el movimiento de masas de agua (olas). Las ventajas de dicha energía son:

- *Es una energía limpia:*

El aprovechamiento de la energía de las olas no implica emisiones de gases nocivos de efecto invernadero. Este es el principal motivo por el que se pretende desarrollar esta tecnología. Existe la urgencia de hallar fuentes de energía que sustituyan los combustibles fósiles que son contaminantes.

- *Es renovable:*

Es una energía renovable porque esta se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contiene, o porque son capaces de renovarse por medios naturales.

- *Tiene un enorme potencial energético:*

La cantidad de energía que contienen las olas es enorme. Por cada metro de altura de las olas se estima que se puede obtener entre 20 y 40 kW. A medida que nos adentramos en el océano, se puede llegar hasta los 100 kW por metro de altura.

- Fuente segura:

Todos los días hay olas que raramente se interrumpen. Esto hace que las olas sean una fuente de producción de energía bastante fiable, a diferencia de la energía solar eólica que depende de la climatología en gran medida.

Debería aclararse que la cantidad de energía de las olas varía de año en año o de estación en estación. Por ejemplo, en el hemisferio norte la energía potencial en el mes de noviembre duplica a la del mes de mayo.

La energía de las olas y del viento tiene mayor potencial en invierno, pues se puede combinar con la energía solar cuyo mayor potencial se da precisamente en verano.

- *Eficiencia respecto al espacio:*

Una gran marina de olas con una superficie de menos de una milla cuadrada, puede generar más de 30 MW, pudiendo cubrir la necesidad de 20.000 hogares.

Las desventajas son las siguientes:

- *Efecto medioambiental:*

Las plantas generadoras cercanas a la orilla que son visibles desde tierra, pueden generar conflictos con intereses turísticos o con la aceptación de la población local. Debido a esto, las instalaciones deben someterse a rigurosos estudios para minimizar impactos al medio y encontrar el tamaño y el emplazamiento óptimo. Hoy en día desconocemos los efectos de las plantas de olas sobre la vida marina.

- *Costes:*

La energía de las olas está todavía en periodo de desarrollo, lo que significa que los costes son todavía muy grandes.

Encontrar los mejores lugares con olas, mejorar la conexión a la red eléctrica y la vida útil de las instalaciones son factores que afectan significativamente al precio de este tipo de energía.

Por ello, hoy en día los costes son generalmente muy altos. Pero en un futuro con mejores tecnologías serán cada vez más competitivos.

- *Gran mantenimiento:*

Casi todas las partes involucradas en las instalaciones para aprovechar la energía de las olas requieren un mantenimiento regular. Y eso afecta una vez más en los costes.

En resumen, el aprovechamiento de las energías de las olas, o energía undimotriz tiene un gran potencial. Sin embargo, sigue siendo necesario más inversión en la investigación de mejores tecnologías para hacerla competitiva con otras formas de energía.

La potencia que podemos obtener del rotor marino depende de una ecuación similar a la de los aerogeneradores, la ecuación es la siguiente:

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

Donde la “ ρ ” es la densidad del fluido, “ A ” es el área barrida por el rotor, y “ V ” es la velocidad de la corriente incidente del fluido. Sin embargo, las turbinas no pueden

aprovechar toda esta potencia, el límite del aprovechamiento es el conocido como el límite “Betz”, es un coeficiente que tiene en cuenta las diversas pérdidas, un valor aproximado es alrededor de 0,3 si tenemos en cuenta las pérdidas mecánicas leves. La ecuación queda de la siguiente forma:

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

El ambiente marino se considera más duro que en tierra donde se encuentran los aerogeneradores. Además, debemos añadir la problemática de la corrosión por estar en un ambiente marino, el agua del mar es una solución marina que corroe cualquier superficie metálica sino está suficientemente protegida. Tanto la góndola, como la estructura y las palas deben estar pintadas, galvanizadas e incluso construirse de materiales no metálicos resistentes a la corrosión. Las estructuras metálicas podrían construirse con un mayor espesor al necesario para evitar una rotura por corrosión para así no tener que hacer un mantenimiento continuado. Los rotores pueden ser dañados por escombros que estén en el mar, golpeando las palas y deteriorándolas. Otro inconveniente es la vida marina que se puede adherir a la turbina o estructura haciendo que se vaya reduciendo su efectividad a lo largo del tiempo, esto se podría solucionar con pinturas anti-incrustantes similares a las empleadas en los cascos de los barcos.

La densidad del agua de mar suele estar alrededor de 1025 Kg/m³ con lo cual el empuje axial en la turbina será de una magnitud elevada. El empuje es la fuerza que se genera en la dirección del fluido como resultado de la extracción de la energía de la turbina. El cambio de energía del fluido se manifiesta con la reducción de la velocidad de la corriente en ambos lados de las palas de la turbina. La turbina y su anclaje al espigón marino deben de poder soportar estas fuerzas.

En la ecuación siguiente se puede calcular el empuje máximo ($T_{m\acute{a}x}$):

$$T_{m\acute{a}x} = \frac{1}{2} \cdot C_t \cdot \rho \cdot A \cdot (V_{m\acute{a}x})^2$$

Donde “**C_t**” es el coeficiente de empuje (alrededor de 0,9) y “**V_{máx}**” es la velocidad máxima del fluido.

La cavitación es otro parámetro a tener en consideración. Es un fenómeno que nos hará reducir el rendimiento, provocará vibraciones e incluso irá deteriorando los elementos móviles de nuestra turbina. Este fenómeno se produce por una disminución de la presión debido al movimiento del rotor, que hará que baje la presión hasta un punto que se produzcan burbujas de vapor, al implosionar estas burbujas chocan violentamente contra la superficie de las palas provocando un deterioro progresivo y vibraciones, ambos fenómenos indeseados. El grado de cavitación está determinado por la siguiente ecuación de Bernoulli:

$$K_f = \frac{P_{abs} - P_v}{\rho \cdot \frac{V^2}{2}}$$

Donde “**P_{abs}**” es igual a “**P_{hid} + P_{atm}**” en presiones absolutas, “**P_{hid}**” es la presión hidrostática y “**P_{atm}**” es la presión atmosférica, “**P_v**” es la presión de vaporización del agua y “**V**” es la velocidad del fluido. A mayor número de cavitación (**K_f**) existirá menor probabilidad de cavitación.

Como conclusión de esta introducción podemos decir que los problemas más destacados en este tipo de tecnologías son las condiciones climatológicas extremas y la cavitación. La cavitación se puede evitar en la medida de lo posible habiendo un estudio detallado de la geometría y del funcionamiento del rotor.

Aún queda mucho por investigar sobre la tecnología para llegar a un estado óptimo, una de las áreas a investigar, sería el comportamiento del fluido que pasa a través de nuestro rotor, estudiando tanto la cavitación como los fenómenos que aparecen, estos estudios deberán estudiarse mediante CFD's (Computer Fluid Dynamics).

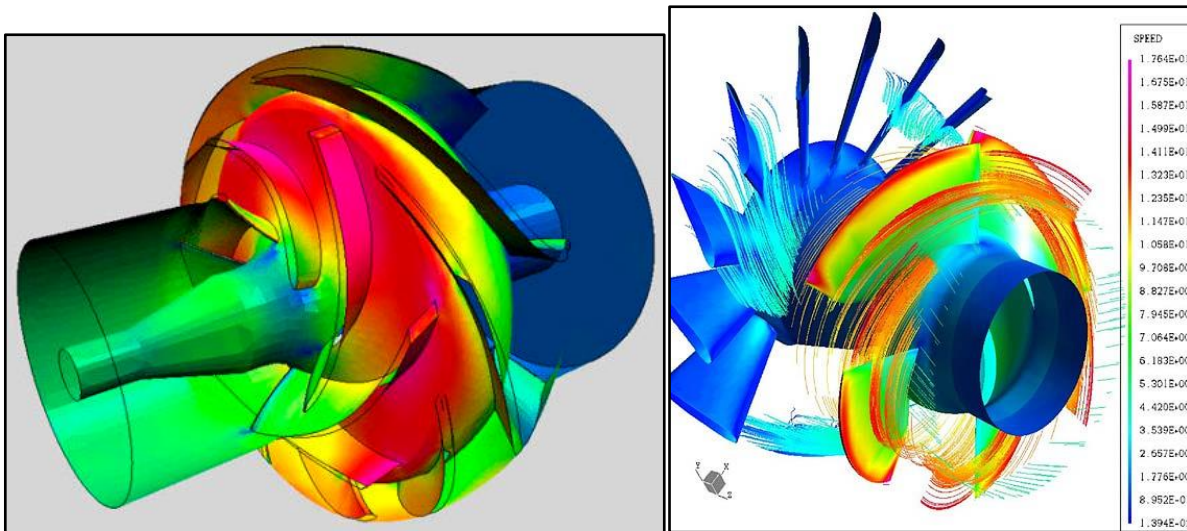


Figura 2 Turbinas diseñadas en CFD's

Objetivo del proyecto:

El objetivo de este proyecto es estudiar y analizar un dispositivo mecánico capaz de captar la máxima energía producida por las olas del mar, o la marea, en el espigón de Vilanova i la Geltrú.

Los pasos que vamos a seguir primero es el de estudiar cómo está el mercado de las empresas en este sector y seguidamente analizar los diferentes mecanismos y dispositivos que podamos encontrar. Después de este análisis-estudio, y a partir de nuestros bocetos e ideas, llegar a diseñar tal dispositivo que pueda captar la máxima energía que se pierde por el oleaje en el espigón.

2 Investigación 1

2.1 Identificación y análisis

Nuestras fuentes de energía están cambiando constantemente, por eso hay una exploración, investigación y desarrollo. Cada día millones de personas trabajan para extraer o recoger las materias primas para producir energía como carbón, petróleo y gas, y miles de científicos desarrollan nuevas fuentes de energía, que son necesarias para que esta sea más limpia y sostenible. La cantidad de energía del combustible fósil que se transforma en energía eléctrica varía mucho según el combustible que sea y la tecnología que se aplique. Alrededor del 33% de la energía presente en el combustible fósil se transforma en energía eléctrica, por lo que la eficiencia energética es del 33%.

Para producir un julio de energía eléctrica necesitas unos 3 julios de combustible fósil. Lo mismo pasa con la energía solar, un panel solar medio transforma el 15% de la energía del sol que incide en el panel en energía eléctrica, el resto se pierde como calor. Esto quiere decir que, un panel solar transforma la radiación solar en electricidad con una eficiencia del 15%. En tan sólo 150 años hemos aprendido a usar la energía en nuestro propio provecho y nuestra vida ha cambiado para siempre. Gracias a la disponibilidad de energía abundante y barata, nuestras vidas son cómodas, nos desplazamos con facilidad y somos productivos. Pero también hemos aprendido que la energía tiene un precio, y si es energía no renovable creemos que también tendrá una caducidad.

Creemos que el futuro de las energías, está en las energías renovables, así que nos vamos a centrar en estas y analizar los diferentes tipos.

Energía hidráulica

La energía hidráulica utiliza la energía de un salto de agua para mover un generador eléctrico, el agua se canaliza a través de compuertas en la presa para mover grandes turbinas. Estos sistemas pueden ser lo bastante grandes como para proporcionar energía a varias ciudades grandes. Una gran presa, no es tan inofensiva como podría parecer. Cuando se planea construir una nueva presa en una zona habitada, hay mucha gente que

tendrá que dejar sus hogares, ya que quedarán cubiertos por el agua, durante el siglo pasado, entre 40 y 80 millones de personas en total fueron desplazadas por la construcción de presas.

Otro problema con los grandes embalses es el daño medioambiental causado en la zona inundada y la liberación de metano producido por la descomposición de las plantas en el agua. El metano es un gas de efecto invernadero y contribuye al calentamiento global. Una presa construida en el curso de un río afecta gravemente al caudal del río, lo que puede tener un gran impacto río abajo. Las presas han afectado aproximadamente al 60% de los ríos del mundo. Los peces de agua dulce que normalmente ascienden y descienden por el río una vez al año, se encuentran una presa en su camino. Se estima que una quinta parte de las especies de agua dulce han sido gravemente perjudicadas por las presas de centrales hidroeléctricas.

Hoy en día, cerca del 16% de la electricidad del mundo se genera en centrales hidroeléctricas. En la mayor parte de los sitios donde se puede aprovechar la energía hidráulica para generar electricidad ya se ha hecho, por lo que nuestro uso de esta fuente de energía no puede crecer mucho más. Para satisfacer nuestra creciente demanda de energía tendremos que usar otras fuentes.

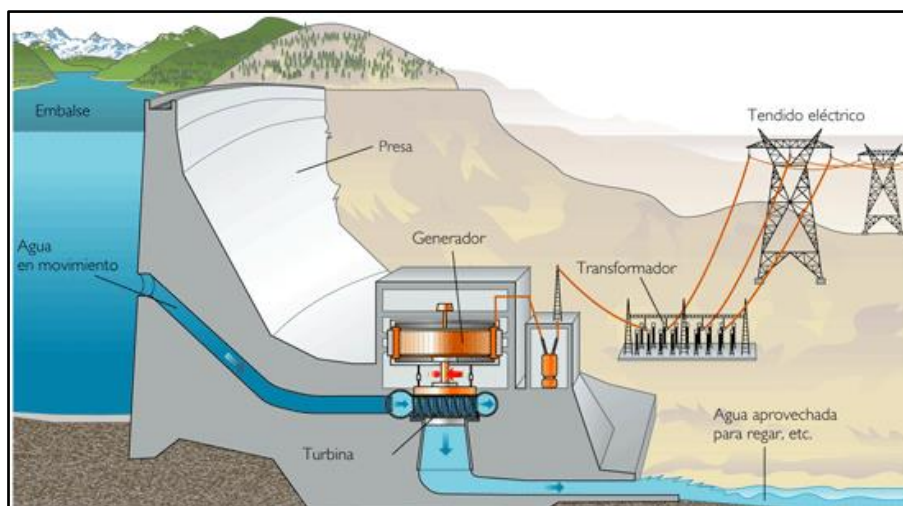


Figura 3 Energía Hidráulica.

La energía de los océanos: energía de las olas y energía de las mareas.

Hay algunos lugares en la Tierra donde la diferencia de altura entre la marea alta y la baja en el océano es lo bastante grande como para impulsar un sistema de generación eléctrica. El agua se recoge en una presa durante la marea alta, y en la marea baja fluye a través de generadores produciendo electricidad. La primera central de energía mareomotriz comenzó a funcionar en Francia en 1968. Sólo hay en el mundo unos cuarenta emplazamientos adecuados para centrales de energía mareomotriz. Pero aún se puede extraer más energía del mar. Son diversos los mecanismos para extraer este tipo de energía.

La técnica más utilizada es usar sistemas sumergidos parecidos a molinos de viento que generan electricidad cuando el agua fluye a través de ellos.

Además, hay otras técnicas para aprovechar también la energía de las olas. Algunas usan sistemas de canales que se van estrechando y que actúan amplificando las olas para mover turbinas. Otros, usan sistemas flotantes que suben y bajan con la superficie del agua, y al hacerlo mueven pistones que comprimen aire. Luego se conduce el aire a través de una turbina que genera energía.

Una técnica prometedora es usar una cámara de hormigón parcialmente sumergida, instalada en la costa, con la parte inferior abierta al mar. Las olas que entran empujan hacia arriba a la columna de aire de la cámara, a través de una turbina, cuando las olas retroceden, succionan aire de nuevo a través de la turbina. El giro de la turbina mueve un generador que produce electricidad.

La energía del sol

Cuando el Sol brilla, cada metro cuadrado de superficie perpendicular a sus rayos recibe unos 1000 vatios de energía solar, en todo el año, cada metro cuadrado recibe entre 100 y 200 vatios, dependiendo del lugar del mundo.

La cantidad de energía recibida del Sol en una cierta área depende de dónde está situada, y varía con la latitud desde el ecuador a los polos. Cerca de los polos los rayos del Sol inciden en la Tierra con un ángulo pequeño, por lo que un metro cuadrado en los polos no

recibe tanta energía solar como un metro cuadrado en el ecuador, donde los rayos del sol alcanzan la Tierra casi verticalmente.

La luz solar puede convertirse en electricidad mediante paneles. Estos paneles consisten en células hechas con material semiconductor. La luz solar está compuesta por fotones, que son pequeños paquetes de energía. Cuando los fotones inciden en una célula fotovoltaica, su energía se transfiere a los electrones del material semiconductor. Con su nueva energía, los electrones pueden liberarse de sus átomos y fluir como una corriente a través de un circuito eléctrico externo. Actualmente las células solares están hechas de silicio y convierten cerca del 15% de la luz solar en electricidad.

En Europa central, esto significa que, si pones un panel de un metro cuadrado en tu tejado, puedes esperar generar unos 120 KW/h al año.

En este momento, la energía solar fotovoltaica representa menos del 0,01% del consumo mundial de electricidad. En la mayoría de los sistemas fotovoltaicos los paneles solares no tienen partes móviles, y el único mantenimiento que necesitan es una limpieza ocasional de las superficies para evitar su ensuciamiento.

Los paneles solares tienen una vida media de unos 25 años. El problema principal es que todavía son muy caros: un panel solar que produzca unos 100W cuando la luz solar esté incidiendo verticalmente sobre él cuesta unos 500 euros. Para cubrir la demanda media de electricidad de una familia, que es de unos 4100 kW/h al año, se necesitarían unos 35 paneles solares como los anteriores (en Europa), y costarían alrededor de 17.500 euros. La misma electricidad producida en una central eléctrica cuesta ahora unos 500 euros al año.

Por esta razón los científicos están trabajando para hacer células solares más eficientes y baratas. Una aplicación muy útil de las células solares es llevar electricidad a lugares en que es muy difícil conseguirla por otros medios.

Otra forma de utilizar la energía solar es convertirla en calor y usar éste para calentar agua.



Figura 4 Obtención de energía a través de placas solares.

La energía de la biomasa

Biomasa es otra manera de llamar a la materia orgánica. Cuando se usa como combustible, incluye los residuos de madera y serrín de la industria, los restos de la agricultura y de la industria alimentaria, las aguas residuales, los desperdicios sólidos y otros materiales orgánicos. La biomasa es una de las primeras fuentes de energía que ha conocido la Humanidad y continúa siendo una de las principales en muchos países en vías de desarrollo. Algo así como el 80% de la demanda total de energía de los países en vías de desarrollo se cubre con energía de la biomasa, en su mayoría en forma de la leña que se recoge localmente.



Figura 5 Energía Biomasa.

Cuando la biomasa arde libera dióxido de carbono, un gas de efecto invernadero. Pero cuando los cultivos para la biomasa crecen, se consume una cantidad equivalente de dióxido de carbono a través de la fotosíntesis. La emisión neta de dióxido de carbono será cero siempre que se continúe replantando para obtener energía de la biomasa.

La energía geotérmica

Se trata de usar el calor del interior de la Tierra para generar electricidad. El núcleo de la Tierra está al rojo vivo: unos cinco mil grados centígrados. A veces, durante las erupciones de los volcanes, salen a la superficie rocas fundidas o magma. Esa es la enorme fuente de energía que las centrales geotérmicas intentan aprovechar para la producción de calor o electricidad.

Si excavamos un agujero en la Tierra, la temperatura aumenta de 17 a 30 grados Celsius por kilómetro de profundidad. Un pozo geotérmico puede tener hasta 2500 metros de profundidad.

El agua que se inyecta en el pozo se calienta hasta que produce vapor, que se puede usar para generar electricidad. Otra alternativa puede ser usar el agua caliente directamente para calentar viviendas y edificios. Veinte países de todo el mundo han construido unas 250 centrales geotérmicas. En Estados Unidos se suministra energía de origen geotérmico a San Francisco, y en El Salvador, el 40% de la electricidad proviene de la energía geotérmica. Toda la electricidad que consume Islandia proviene exclusivamente de la energía geotérmica.

En todo el mundo se generan alrededor de 8000 MW de electricidad de origen geotérmico, y otros 10.000 MW se usan directamente como fuente de calor.

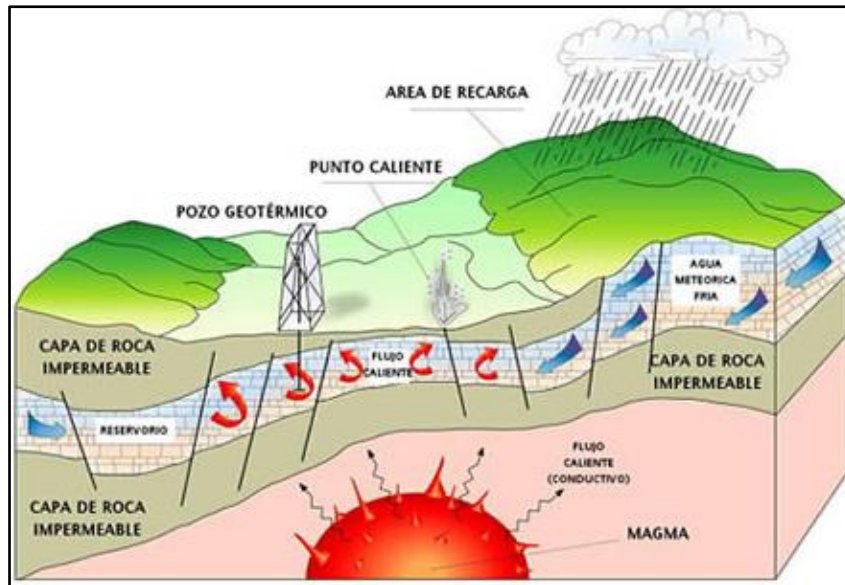


Figura 6 Obtención de energía Geotérmica.

Las condiciones adecuadas para explotar la energía geotérmica, sólo existen en un número limitado de lugares en todo el mundo. Por la producción de energía de origen geotérmico es muy limitado.

Una vez construidas, las centrales de generación geotérmicas proporcionan energía barata y limpia. Sin embargo, la construcción inicial de una central geotérmica es cara.

Comparación entre diferentes fuentes de energía

Todas las fuentes de energía tienen diferentes características respecto a la cantidad y tipo de combustible, la superficie de terreno que necesitan sus instalaciones y el coste.

En la tabla siguiente vamos a ver las necesidades y el tipo de combustible de una central de 1000 MW alimentada por diferentes fuentes de energía. En dicha tabla podemos ver que, especialmente, la biomasa, la energía eólica y la solar necesitan mucho espacio debido a que en ellas la energía no está muy concentrada. Sin embargo, los combustibles fósiles acumulan mucha más energía por kilogramo y es difícil competir con ellos. La fisión nuclear y especialmente la fusión son las que menos combustible requieren de todas.

Fuente de energía	Combustible necesario para una central de 1000 MW en un año	equisitos de terreno (aproximados) para una central de 1000 MW (km ²)	Comentarios
Biomasa	30.000 km ² de bosque	30.000	
Eólica	2.700 aerogeneradores de 1,5MW	490	
Solar fotovoltaica	23 km ² de paneles solares	23	Situados en un país próximo al ecuador
Biogas	60 millones de cerdos	600	Se cría a los cerdos por su carne, la energía es un extra
Gas	1,2 km ³	1	
Petróleo	1.400.000 toneladas	1	10.000.000 barriles de petróleo o 100 petroleros
Carbón	2.500.000 toneladas	1+ minas	26.260 vagones de tren cargados
Fisión nuclear	35 toneladas de óxido de uranio	1+ minas	A partir de 210 toneladas de mineral de uranio
Fusión	100 kg de deuterio y 150 kg de tritio	1+ minas	A partir de 2850 m ³ de agua de mar y 10 toneladas de mineral de litio

Figura 7 Comparativa diferentes energías.

Una vez identificados los diferentes procesos de producción de energía renovable, hemos analizado que dicha energía es la mejor alternativa a las no renovables. Basaremos el contenido del trabajo en la búsqueda de un sistema de producción de esta energía, concretamente en la energía de las olas o mareas.

2.2 Esquema de energías

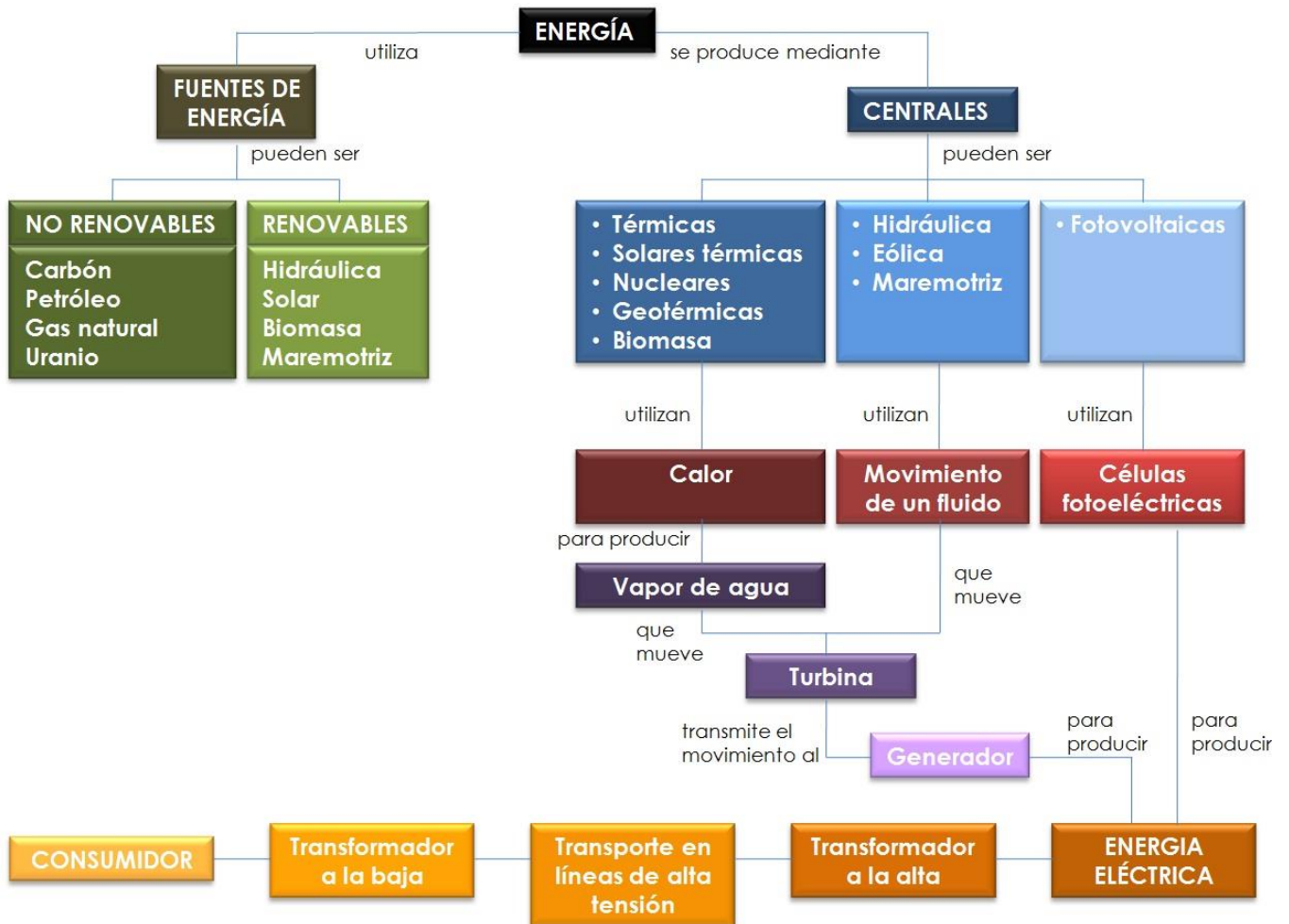


Figura 8 Esquema de energías.

2.3 Diseños iniciales

Estos son nuestros bocetos / diseños iniciales del prototipo:

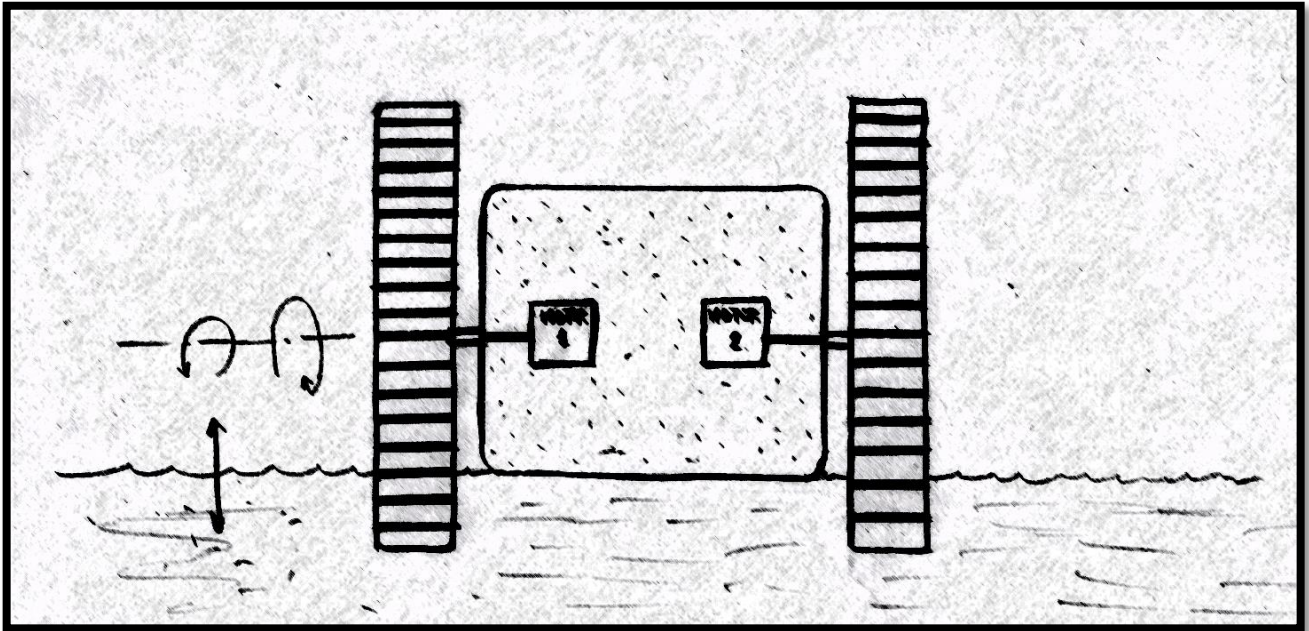


Figura 9 Prototipo-1. Dama de Elche.

Como se muestra en la figura 9, hemos bautizado este prototipo como la “*Dama de Elche*”. Consiste en una boya central que dentro posee unos rotores que tienen conectados a sus ejes unas ruedas con palas. Su funcionamiento se basa en hacer girar dichas palas por la fuerza de las corrientes del oleaje y del mar, con lo cual ya tendríamos un movimiento giratorio que luego se podría almacenar en energía eléctrica.

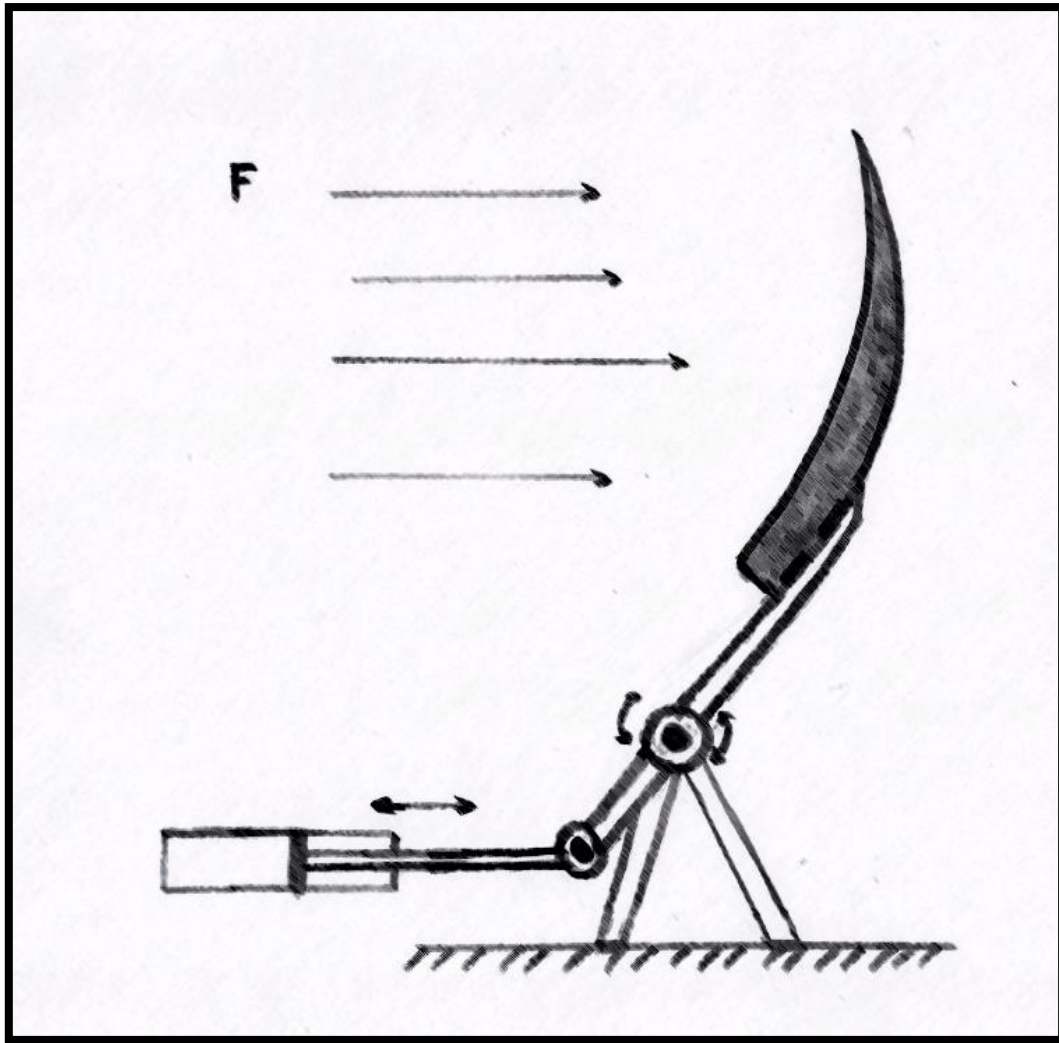


Figura 10 Prototipo-2. Modelo Catapulta.

En este modelo – prototipo habíamos pensado en captar la energía de las olas del mar con una pala en forma cóncava unida a un eje y este a su vez mueve un pistón, que, mediante circuito cerrado de aceite, por ejemplo, puede mover una turbina y así obtener energía eléctrica.

2.4 Conclusiones de la investigación 1

Todos los sistemas de generación de energía a gran escala, tienen sus pros y sus contras. La construcción de nuevas presas en valles afecta al medio ambiente y tiene costes sociales, la biomasa necesita gran cantidad de terreno para poder generarla y los combustibles fósiles emiten gases de efecto invernadero y otros contaminantes. Las centrales nucleares de fisión no tienen emisiones, pero producen gran cantidad de residuos reactivos. El consumo de combustibles fósiles, a menudo hace que los países que los utilizan, dependan de otros países para que se los suministren. Aparentemente, con este tipo de obtención de energía no podemos tener lo bueno sin algo de lo malo. Lo mejor para un país o para el mundo en general es tener un sistema de generación de energía diversificado, que utilice todas las fuentes posibles de generación de energía que tenga a su alcance, de modo que los riesgos e impactos negativos de todas ellas puedan minimizarse.

Hay otras razones para tener una estructura energética variada. Para los grandes núcleos urbanos lo mejor es la generación centralizada de energía, combinada con una potente red eléctrica. Por otro lado, los núcleos rurales están mejor atendidos con fuentes pequeñas y descentralizadas de energía, como eólica o solar.

Los sistemas energéticos evolucionan muy despacio, porque son sistemas grandes y complejos. Las decisiones que tomemos hoy en día sobre que tecnología desarrollar y apoyar van a determinar en gran medida como será el sistema energético en el futuro. Debemos proveer a las generaciones venideras con las técnicas necesarias para poder generar la energía que se demande en el futuro. Como hay tantas incertidumbres para el futuro próximo, la mejor estrategia es desarrollar todas las fuentes de energía posibles para que estén disponibles para el momento en que haya que utilizarlas.

Para garantizar el futuro suministro de energía, es necesario investigar sobre los recursos energéticos renovables y las nuevas fuentes de energía.

3 Investigación 2

3.1 Estudio y necesidades del usuario

El planeta tierra está cubierto por un 75% de agua. Los océanos tienen un enorme potencial energético que, mediante diferentes tecnologías, puede ser transformado en electricidad y contribuir a las necesidades energéticas actuales.

Mundialmente se consumen 15.000 GW. El departamento británico de Comercio e Industria afirma que hay al menos 90 millones de GW en las olas generadas por el viento, una energía totalmente desaprovechada. Una predicción es que la energía de las olas podría llegar a proveer cerca de 20.000 TWh/año, cubriendo cerca del 10% de las necesidades mundiales.

España puede ser un referente y líder mundial, junto a Portugal y Reino Unido, países donde se están desarrollando diferentes tecnologías. La Comisión Europea cree que hay 100 emplazamientos en el continente con un potencial aprovechable.

Los mares y océanos representan una de las mayores fuentes de energías renovables disponibles en nuestro planeta, ofreciendo un enorme potencial energético que, mediante diferentes tecnologías, puede ser transformado en electricidad y contribuir a satisfacer nuestras necesidades energéticas.

El recurso energético existente en el mar se manifiesta de distintas formas: oleaje, corrientes marinas, mareas, diferencias de temperaturas o gradientes térmicos y diferencias de salinidad, lo que da lugar a las diferentes tecnologías para su aprovechamiento.

Clasificación aprovechamiento de la energía del mar y cuantificación del recurso

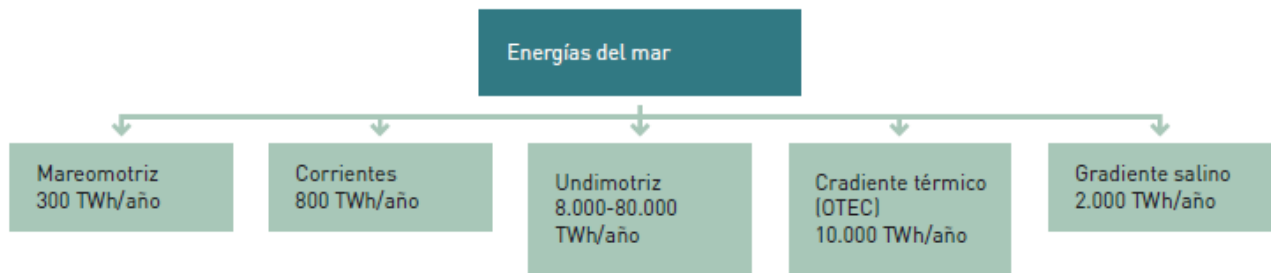


Figura 11 Clasificación del aprovechamiento de la energía del mar.

A pesar de que el potencial energético del mar es enorme, el aprovechamiento de las energías del mar están en una etapa relativamente temprana de desarrollo tecnológico, en comparación con otras fuentes renovables, lo que unido a las características intrínsecas del mar, hacen que para el aprovechamiento de esta fuente de energía no se haya impuesto una tecnología concreta y que exista una amplia y diversa variedad de dispositivos en diversos grados de desarrollo que deberán confirmar su viabilidad en los próximos años.

La característica general media del océano representa unos 360 millones de kilómetros cuadrados (alrededor del 71% de la superficie de la Tierra), de volumen 1.370 millones de kilómetros cúbicos (97% de agua sobre la superficie de la Tierra), salinidad media de 34,482%, profundidad media de 3.800 metros, y una temperatura media de 3,9°C.

La formación de las mareas, la fuerza de la Luna y el Sol son determinantes, en orden de magnitud la Luna es dos veces superior al Sol, aunque tiene una masa 27 millones de veces inferior a la del Sol, se encuentra 400.000 veces más cerca, y, por tanto, su efecto es mayor que el del Sol.

Dentro de las energías del mar, existen diferentes tecnologías en función del tipo de aprovechamiento energético. Para desarrollar nuestro prototipo nos centraremos más en estudiar el comportamiento y la obtención de la energía Undimotriz y Mareomotriz. No obstante, definiremos las diferentes energías.

Tipos de energía del mar:

Energía de las corrientes: es el aprovechamiento de la energía cinética contenida en las corrientes marinas. El proceso de captación se basa en convertidores de energía cinética similares a los aerogeneradores empleando en este caso instalaciones submarinas.

El rotor de la turbina va montado en una estructura apoyada en el fondo o suspendida en un flotador. La energía extraíble va en función del diámetro del rotor de la turbina y de la velocidad de las corrientes, siendo entre 2 y 3 m/s el valor de la velocidad más apropiado.

Sus principales ventajas son las siguientes:

- Predecir su disponibilidad.
- Capacidad del 40 al 60%.
- Mínimo impacto medioambiental.
- Inmune a las tormentas, condiciones bajo el mar durante una tormenta son buenas.

En Europa hay más de 100 lugares con corrientes marinas importantes, como Reino Unido, Irlanda, Francia, España, Italia y Grecia.

Energía de las olas o Undimotriz:

El 0,75% de la intensidad de radiación solar que llega a la Tierra genera los vientos, y estos transfieren a la superficie del mar únicamente el 40% de la energía que disponen, por lo que la energía de las olas es el 0,3% de la energía solar que llega a aquella, es decir, 1W/m^2 al tener una constante solar media de 342 W/m^2 . Por tanto, el potencial total teórico de los mares es de 2.000 Gigavatios (2 Tera vatios) de potencia instalada.

La energía de las olas es una energía muy concentrada (cinco veces más que la energía eólica y entre diez y treinta veces más que la energía solar), y con una intensidad media de la energía también elevada (la solar entre 100 y 200 W/m^2 , la eólica entre 400 y 600 W/m^2 y las olas entre 2 y 3 kW/m^2). Por tanto, se trata de una forma de obtener energía con un gran potencial, siendo la densidad media mundial del orden de 8kW/m de línea de costa, mientras que para zonas favorables el valor asciende entre 25 y 60 kW/m .

Cuando la radiación solar incide sobre la superficie de la Tierra provoca un calentamiento desigual, creando diferencias de presión en la atmósfera dando lugar a desplazamientos de aire y generando vientos. Los vientos que se desplazan sobre la superficie del mar producen un rozamiento de las moléculas de aire con el agua, transfiriendo parte de su energía y generando olas. De este modo las olas actúan como un acumulador de energía, la almacenan y transportan de un lugar a otro sin apenas pérdidas. La energía de las olas o Undimotriz podemos definirlo como el aprovechamiento energético producido por el movimiento ondulatorio de la superficie del agua del mar. El oleaje es una consecuencia del rozamiento del aire sobre la superficie del mar.

El principal inconveniente de esta energía renovable es que el recurso eólico no es constante, por lo que es complicado determinar un potencial undimotriz en una zona determinada.

Las principales características de una ola que definen su comportamiento son la altura (H, medida en metros), la longitud de onda (L, medida en metros), y la profundidad (h, medida en metros), que son independientes entre sí, relacionándose todos los demás con ellas, por ejemplo, la celeridad de la onda ($C=T/L$, siendo "T" el período en segundos) o la amplitud de la onda ($A=H/2$).

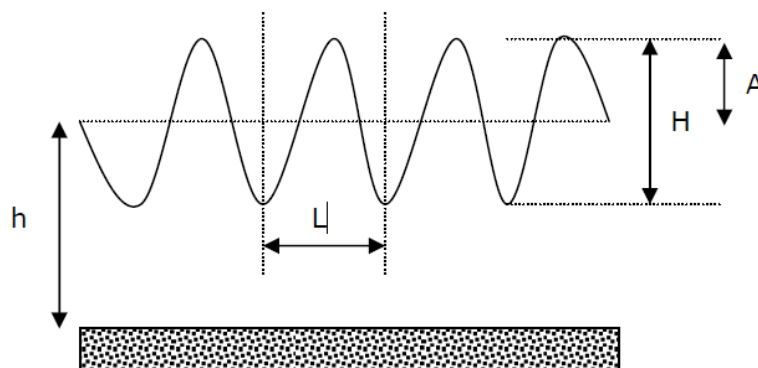


Figura 12 Característica de las olas.

Estos captadores de energía de las olas se pueden clasificar según su ubicación, su principio de captación y según su tamaño y orientación.

Según su ubicación:

- **On-shore** (dispositivos en costa): Estos dispositivos también se conocen como Dispositivos de Primera Generación. Ubicados en la costa, en acantilados rocosos, integrados en estructuras fijas como diques rompeolas o sobre el fondo en aguas poco profundas. Su desarrollo está limitado por el reducido número de ubicaciones potenciales, tienen un menor nivel energético del oleaje y su impacto medioambiental y visual.
- **Near-shore** (dispositivos en aguas poco profundas): Se conocen como Dispositivos de Segunda Generación. Ubicados y distanciados de la costa unos cientos de metros en aguas poco profundas (10-40m).
- **Off-shore** (dispositivos flotantes o sumergidos en aguas profundas): Dispositivos de Tercera Generación. Ubicados en aguas profundas (50-100m). Son los más prometedores ya que explotan el mayor potencial energético en alta mar. Estas plantas multi-dispositivo ocupan superficies extensas y como consecuencia pueden llegar a interferir con la navegación.

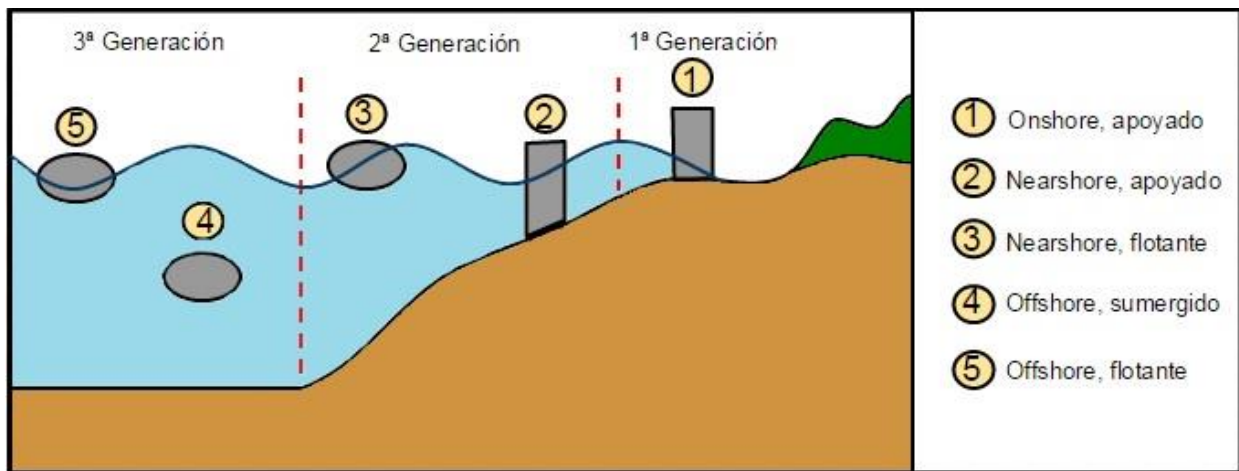


Figura 13 Clasificación de captadores de energía de las olas según su ubicación.

Según su principio de captación:

- **Diferencia de presión:** Creada por el oleaje en un fluido, normalmente aire. Se distinguen dos fenómenos.
 - *Columna de agua oscilante (Oscillating Water Column, OWG):* Mediante una cámara semi-sumergida abierta por la parte inferior, el movimiento alternativo de las olas hace subir y bajar el nivel de agua en la misma, desplazando el volumen de aire interno. Este flujo de aire acciona una turbina que con un diseño especial gira siempre en el mismo sentido a pesar de que el flujo de aire es bidireccional.



Figura 14 Planta de Mutriku (Guipúzcoa)

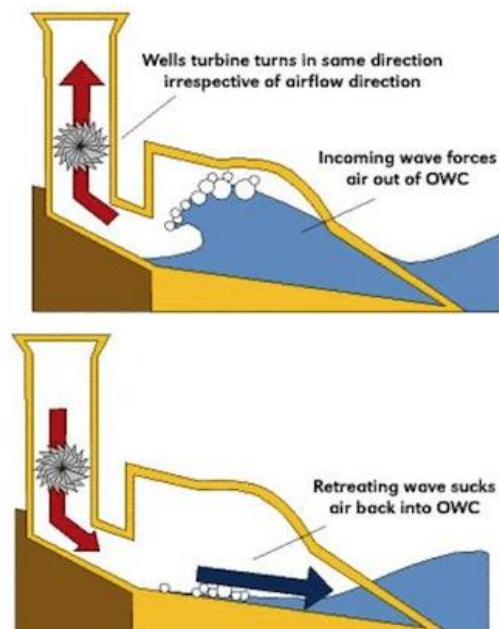


Figura 15 Columna de agua oscilante (Oscillating Water Column, OWG)

- *Efecto Arquímedes:* Aprovecha la diferencia de presión de la ola en sus subidas y bajadas sobre un dispositivo móvil lleno de aire a que actúa como un flotador.

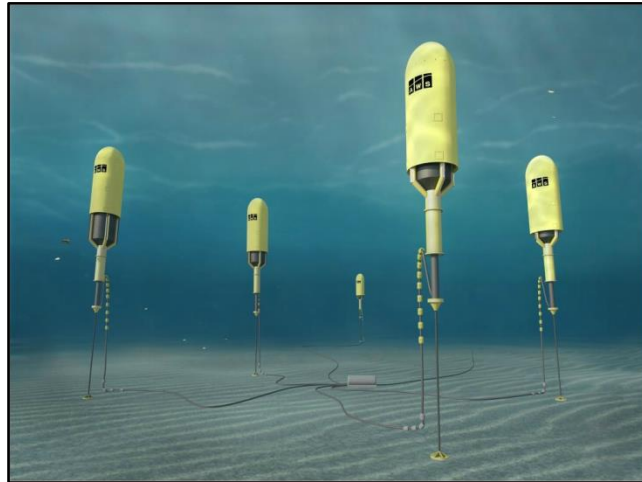


Figura 16 Futura planta de energía de las olas de Arquímedes Wave Swing.

- **Cuerpos flotantes:** Dispositivos basados en un cuerpo flotante que es movido por las olas. El movimiento oscilatorio aprovechable puede ser vertical, horizontal, de cabeceo o una combinación entre ellos. El sistema Pelamis es un ejemplo representativo de cuerpo flotante.

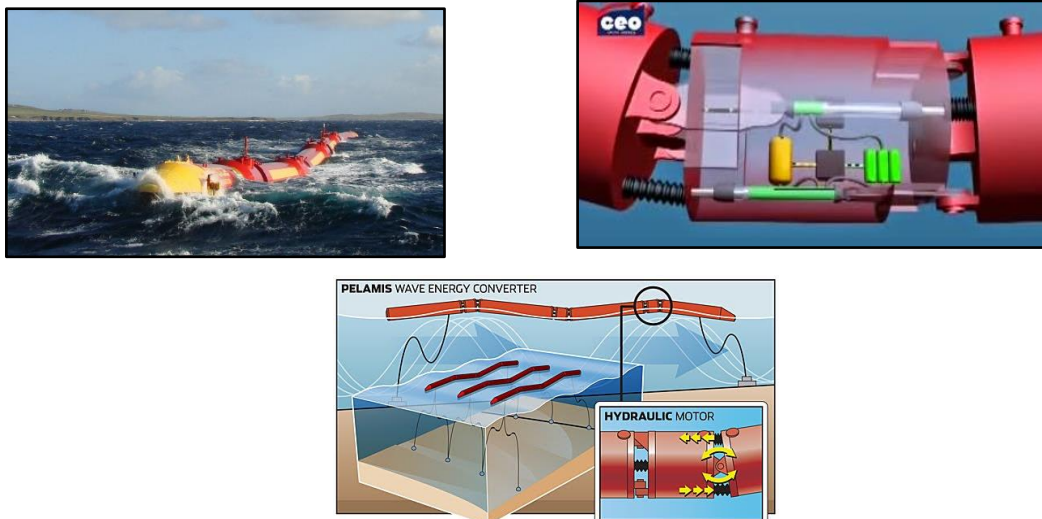


Figura 17 Sistema Pelamis.

- **Sistema de rebosamiento:** Consiste en la existencia de un depósito por encima de la cota de superficie del agua del mar, que se llena por la acción de las olas, de tal manera que al vaciarse mueve una turbina que es la encargada de la generación de la energía eléctrica.

Según su tamaño y orientación:

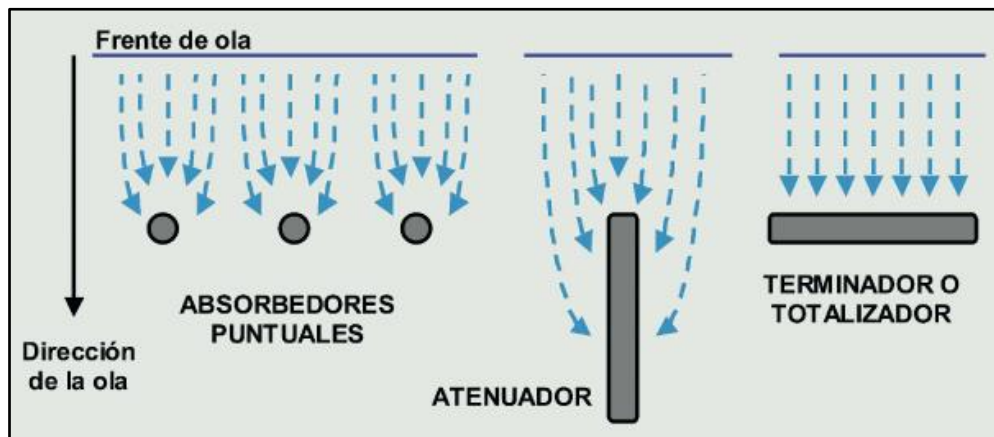


Figura 18 Clasificación de dispositivos de energía de las olas por su forma.

- **Absorbedores puntuales:** Estructuras pequeñas en comparación con la longitud de la ola incidente y de formas cilíndricas, es decir, con simetría axial, por lo que no afecta a la dirección del oleaje. Los absorbedores puntuales suelen basarse en sistemas tipo boya y suelen colocarse varios agrupados formando una línea.
- **Atenuadores:** Estructuras alargadas colocadas en paralelo a la dirección de avance de las olas. Son dispositivos largos que extraen energía de manera progresiva y por los dos lados.
- **Terminador o Totalizador:** Estructura alargada situada perpendicularmente a la dirección del avance de la ola, en paralelo al frente de las olas, y captan la energía de una sola vez.

Energía Mareomotriz: Es el movimiento periódico de ascenso y descenso del agua del mar, producido por las acciones gravitacionales del Sol, principalmente por las de la Luna, así como por el movimiento de rotación de la Tierra.

Para medirlas se realiza con un instrumento llamado “mareógrafo”, situados en los buques oceanográficos o en boyas permanentes y este mide los picos (pleamar) y valles (bajamar) de las mareas.

El funcionamiento es muy básico, la energía se obtiene mediante el acoplamiento de una turbina que genera electricidad proveniente de este movimiento natural. Se construyen embalses cerca de las costas para permitir el almacenamiento del agua cuando sube la marea, y para cuando la marea baje, liberarla al mar haciéndola pasar por una turbina que produce electricidad con este movimiento del agua.

Ventajas:

- Fiable y excelente potencial.
- Flujo de mareas es mucho más previsible que el flujo de viento.
- Libre de mantenimiento los primeros 30-40 años de vida.
- La presa puede funcionar de puente o cualquier otra vía de enlace.

Inconvenientes:

- La instalación sea rentable se requiere una diferencia de 6 m entre la pleamar y la bajamar.
- Lugar donde se pueda construir una presa.
- Alto coste de instalación y largos plazos de construcción.
- Elevado impacto medioambiental.

La creación de energía mediante las mareas en el litoral español no es posible, ya que España no dispone de las características necesarias para instalar una central de este tipo.

Existe un límite de lugares en el mundo donde es posible la explotación de la energía de las mareas.



Figura 19 Zonas de mareas medias a nivel mundial.

La planta de energía mareomotriz de *La Rance* de 240MW situada en el estuario del río Rance, en Bretaña (Francia), ha estado en funcionamiento desde el año 1966, es la estación de energía mareomotriz más antigua y la segunda más grande del mundo. La planta de energía renovable, actualmente operada por Electricité de France (EDF), tiene una capacidad de generación anual de 540GWh.



Figura 20 Planta mareomotriz de La Rance (Francia).

El océano Atlántico es donde históricamente más aprovechamiento se ha realizado de la energía mareomotriz.

Clasificación de las mareas:

Se pueden clasificar según el periodo y según la posición de la Tierra y los astros.

- Según el periodo:
 - *De 12 horas aproximadamente:* Periodos típicos de las mareas, provocados por la rotación relativa de la Tierra y de la Luna. Conocidas como “marea de tipo semidiurno”.
 - *De 24 horas:* Cuando el lugar se encuentra en una latitud elevada y el ángulo que forma la Luna y el Sol con el plano del ecuador es también elevado, ambos astros no alcanzan el horizonte. Se conoce como “marea de tipo diurno”.
 - *De 14 días:* Resultado de la superposición de la acción gravitatoria de la Tierra, la Luna y el Sol.
 - *Marea mixta:* Es una superposición de los tipos de mareas comentadas anteriormente.

- Según la posición de la Tierra y los astros:
 - *Mareas vivas:* Se conocen también con el nombre de “mareas de sicigias”, se dan cuando se superponen el Sol, la Tierra y la Luna.
 - *Mareas muertas:* Se dan cuando los astros y el planeta Tierra se encuentran formados entre ellos un ángulo de 90°.

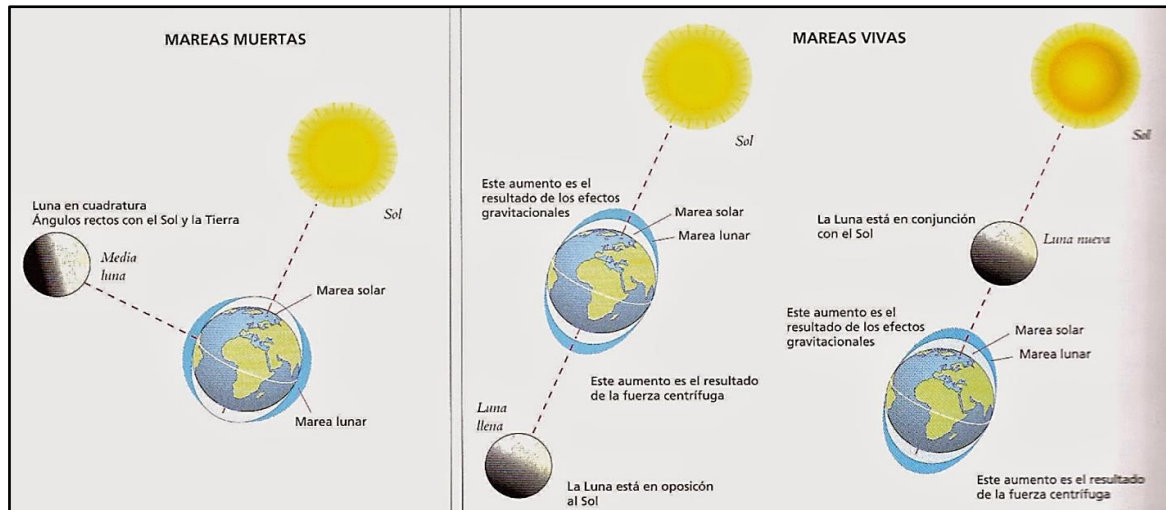


Figura 21 Mareas muertas y Mareas vivas.

Energía de los gradientes térmicos:

La energía maremotérmica, energía termomarina, energía termomotriz, energía del gradiente térmico, o energía térmica oceánica (también conocida como *Ocean Thermal Energy Conversion*, conversión de energía térmica oceánica, abreviadamente OTEC u OTE) es un tipo de energía renovable que utiliza las diferencias entre las aguas oceánicas profundas, más frías, y las superficiales, más cálidas, para mover una máquina térmica y producir trabajo útil, en forma de electricidad.

En diferentes zonas del mundo el agua tiene distintas temperaturas dependiendo de la profundidad en que se encuentre, en especial en los trópicos, donde pueden distinguirse tres capas térmicas:

- *La superficial:* de 100 a 200 metros de espesor, que actúa como colector de calor, con temperaturas entre 25 y 30°C.
- *La intermedia:* entre los 200 y 400 metros de profundidad, con una variación rápida de temperatura y que actúa como barrera térmica entre las capas superior y profunda.
- *La profunda:* en la que la temperatura disminuye suavemente hasta alcanzar 4°C a 1.000 metros y 2°C a 5.000 metros.

En los lugares comprendidos entre el trópico de Cáncer y el trópico de Capricornio (que representan casi un tercio de la superficie oceánica), especialmente en la parte occidental del Océano Pacífico, es donde esa diferencia es más importante y puede darse la circunstancia que se tenga en los primeros 100-200 metros de profundidad temperaturas comprendidas entre los 25 y 30°C, mientras que a profundidades superiores a los 1.000 metros la temperatura sea de 4°C aprox. Lugares como al Este y Oeste de América Central y algunos lugares del Sur de Estados Unidos, también tienen gran potencial.

Así, usando el agua superficial para calentar un líquido con un punto de ebullición bajo (usando un intercambiador de calor) este se transformaría en vapor que podría mover una turbina para generar electricidad. Luego este vapor se enfriaría en otro intercambiador de calor en contacto con el agua fría de las profundidades para luego reiniciar el ciclo de generación.

El gradiente térmico presenta las ventajas de ser una fuente constante de energía, capaz de proporcionar, además, agua dulce para el consumo humano o agrícola. Por el contrario, los costes resultan aún muy elevados asociados al hecho de que el recurso se encuentra en zonas alejadas de los puntos de consumo.

En la actualidad, países como Francia, Italia y Alemania están realizando investigaciones sobre nuevos diseños de plantas que posibiliten el aprovechamiento térmico del agua de los océanos.

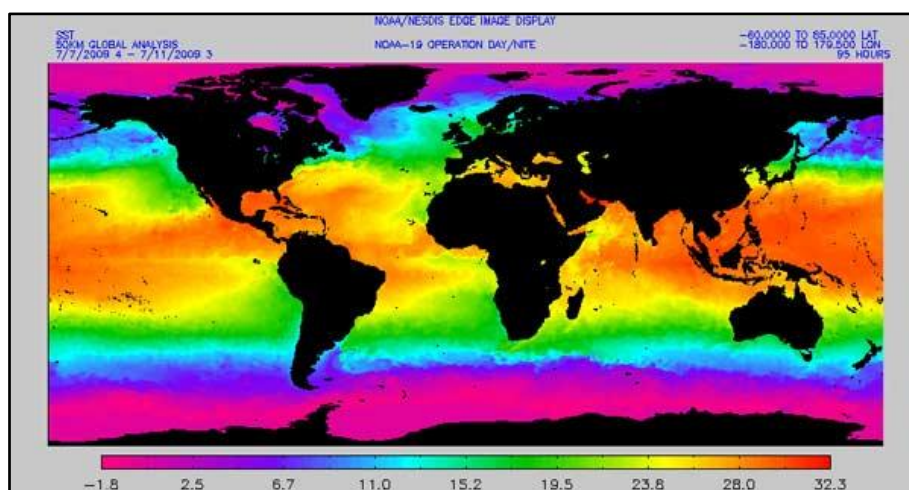


Figura 22 Gradiente geotérmico oceánico.

Energía de gradiente salino:

El flujo de agua dulce hacia el agua salada de mar produce un incremento de presión que mueve a su vez una turbina.

La diferencia de salinidad entre el agua del mar y de los ríos es también una posible fuente de energía. La naturaleza tiende hacia el equilibrio. Cuando una porción de agua dulce es mezclada con una de agua salada, esta tendencia natural hace que se obtenga una nueva solución con una concentración equilibrada de sal. Si entre estas dos soluciones se interpone una membrana semipermeable (que permita el paso de agua, pero no la de la sal) se observa un flujo neto de agua dulce hacia donde se encuentra el agua salada, que busca equilibrar concentraciones. La fuerza impulsora de este fenómeno de equilibrio es conocida como “presión osmótica” y es la fuente de energía utilizada por las tecnologías de gradiente salino.

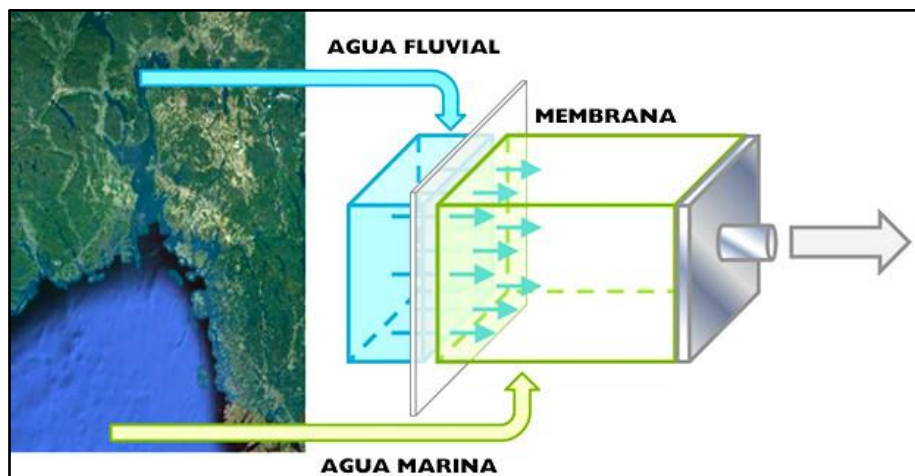


Figura 23 Gradiente salino.

La cantidad de energía que podría generarse a través de la diferencia de concentración de sal entre las aguas marinas y fluviales de todo el mundo se estima entre 1,4 y 2,6 Tera vatios, lo que equivale a un 20% del consumo eléctrico total. Se trata de un proceso natural que no provoca contaminación térmica, no produce dióxido de carbono ni genera ninguna otra emisión contaminante debida a combustión.

Se calcula que Europa podría generar 94 Gigavatios con la energía de gradiente salino, lo cual equivale a la producción de 94 centrales eléctricas de carbón.

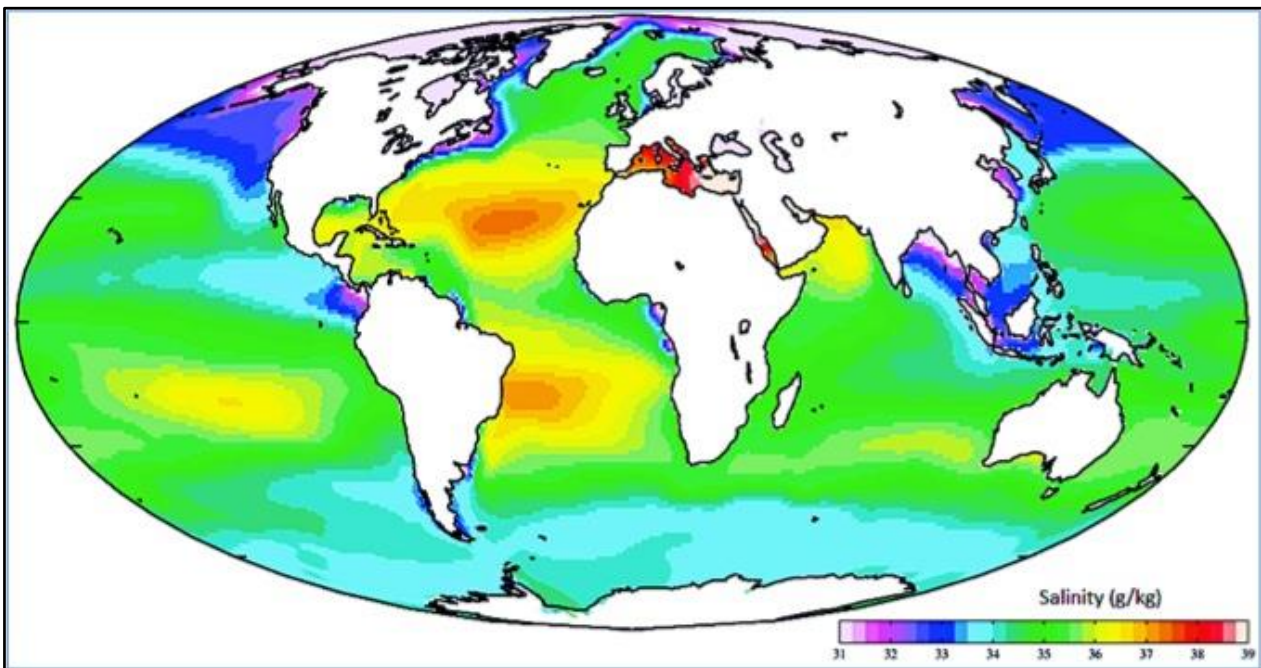


Figura 24 Salinidad en el mundo.

3.2 Encuestas

Hemos realizado una encuesta para saber qué opina la población de Vilanova i la Geltrú respecto a las energías renovables y para saber también la aceptación que supondría este cambio en un futuro.

En los siguientes gráficos mostramos las edades y género:

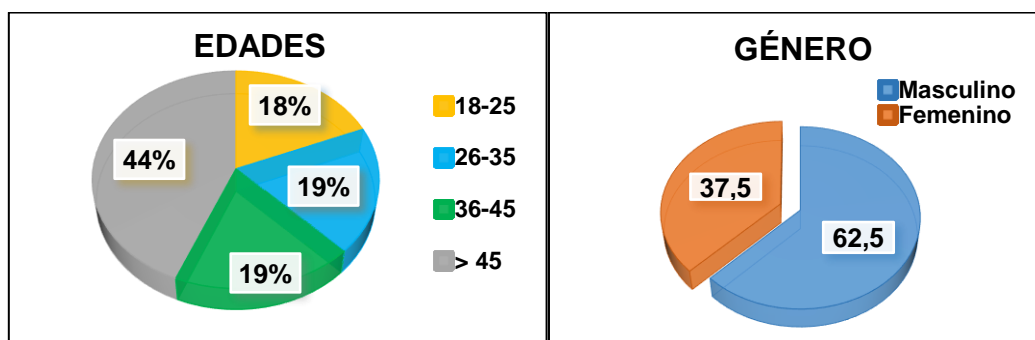


Figura 25 Estadística edades y género.

La encuesta la hemos realizado en la Rambla principal y en los alrededores de l'EPSEVG (Escola Politècnica de Vilanova i la Geltrú).

Las preguntas que hemos realizado son las siguientes:

- 1- *¿Es importante el cambio de energías no renovables a energías renovables?*
- 2- *¿Te gustaría que Vilanova i la Geltrú tuviese esa tendencia?*
- 3- *¿Qué te parece si se instalase un dispositivo en el espigón del puerto?*
- 4- *¿Crees que es importante el impacto visual?*
- 5- *¿Estarías de acuerdo en implantar más sistemas de este tipo en Vilanova?*

Elaboramos una estadística:

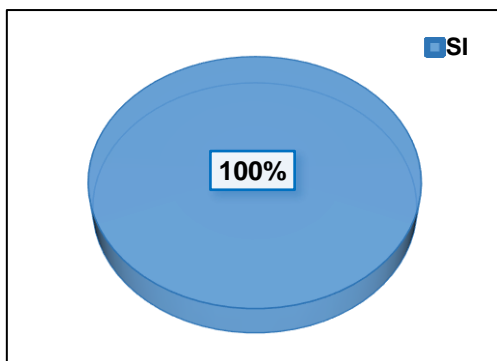


Figura 26 Resultado de la encuesta a la pregunta 1.

Pregunta 1: *¿Es importante el cambio de energías no renovables a energías renovables?*

El resultado a esta pregunta es unánime, la mayoría de la gente opina y están de acuerdo con las energías renovables.

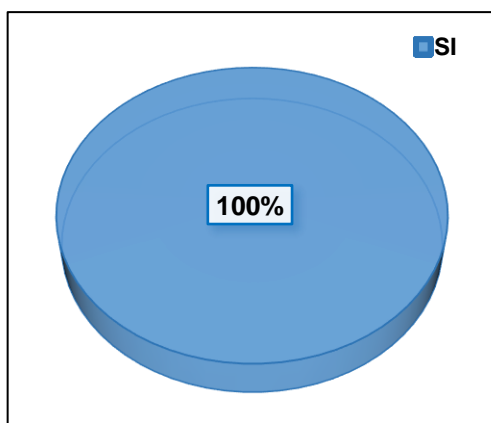


Figura 27 Resultado de la encuesta a la pregunta 2.

Pregunta 2: *¿Te gustaría que Vilanova i la Geltrú tuviese esa tendencia?*

La respuesta a esta pregunta también es unánime, y el 100% de los encuestados estarían de acuerdo en seguir esta tendencia hacia las energías renovables.

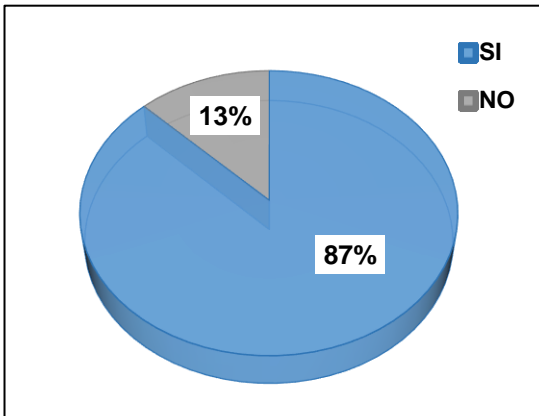


Figura 28 Resultado de la encuesta a la pregunta 3.

Pregunta 3: *¿Qué te parece si se instalase un dispositivo en el espigón del puerto?*

El 13% de los encuestados no estarían de acuerdo en instalar este dispositivo en el puerto, en cambio, el 87% están de acuerdo en la instalación, ya que su finalidad es obtener energía renovable.

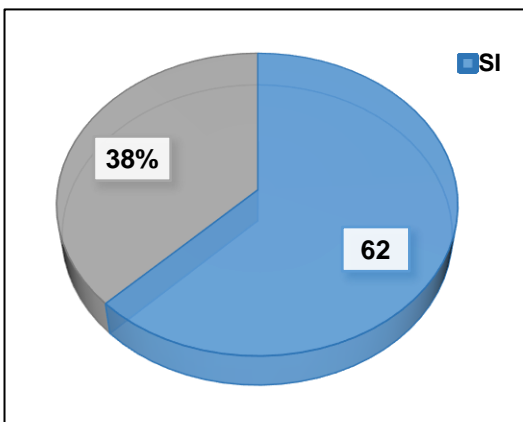


Figura 29 Resultado de la encuesta a la pregunta 4.

Pregunta 4: *¿Crees que es importante el impacto visual?*

Casi un 40% de los encuestados le da importancia al impacto visual que les generaría encontrarse con algún dispositivo sobre el paisaje, el resto no le importaría ya que su fin nos aportaría un beneficio y un cuidado del medio ambiente.

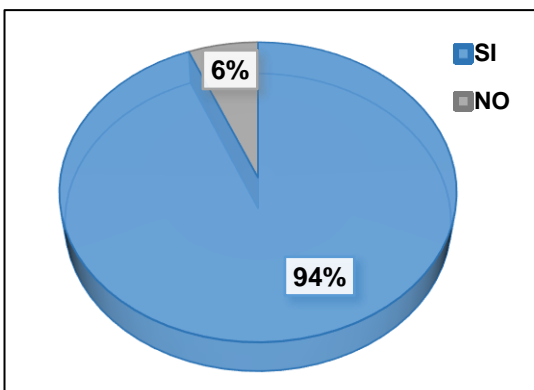


Figura 30 Resultado de la encuesta a la pregunta 5.

Pregunta 5: *¿Estarías de acuerdo en implantar más sistemas de este tipo en Vilanova?*

Cerca del 100% estaría de acuerdo en la instalación de otros dispositivos para la generación de energía renovable.

3.3 Ideas y conceptos de empresas

En este punto vamos a destacar y comentar algunos proyectos más importantes que existen actualmente en las empresas de este sector.

Pelamis:

Desarrollado por la empresa Ocean Power Delivery (OPD) desde 1998. A pesar del color rojo con que se han pintado estos generadores, su nombre viene dado de una serpiente de agua llamada "*Pelamis platurus*" que vive en aguas tropicales y subtropicales.

Un generador eléctrico Pelamis consiste en una serie de secciones cilíndricas que flotan sobre la superficie del mar. Las secciones están unidas por juntas bisagra. Se anclan en zonas donde la profundidad del mar es de entre 50 y 100 metros, donde el oleaje profundo genera importantes fuerzas.

Las olas inducen un movimiento relativo entre las secciones del generador, con este movimiento se bombea aceite a alta presión mediante un sistema hidráulico. Esta circulación de aceite debida al movimiento producido por las olas impulsa a los generadores eléctricos que también se encuentran en el interior de Pelamis.

Cada Pelamis mide 142 metros de largo y 3,5 de diámetro, y tiene un peso de 700 toneladas. El fabricante ha diseñado a Pelamis teniendo en cuenta su resistencia a las condiciones marinas adversas.



Figura 31 Pelamis en pleno funcionamiento.

Powerbuoy:

La empresa *Ocean Power Technologies* (OPT), es propietaria de esta patente. El diseño actual es una boya en cuyo interior se comprime aceite debido por el movimiento pendular y vertical de la boya, accionando un motor hidráulico que es el que se encarga de producir la energía eléctrica. La potencia marina mínima para que este dispositivo sea rentable se calcula en 20kW/m.

Se instala en lugares donde no haya una profundidad excesiva (a partir de 30 metros). El mantenimiento de la instalación se recomienda alrededor de los tres años, y consiste en la extracción de la boya, limpieza y repintado de la superficie con algún producto que diera protección. Cada 7 u 8 años es conveniente sustituir el generador o la bomba hidráulica.



Figura 32 Boya de la empresa Ocean Power Technologies (OPT).

Oyster:

La compañía escocesa *Aquamarine Power*, ha creado un sistema que usa tecnologías hidráulicas para transferir la energía de las olas hasta la costa.

Un simple convertidor de acero que oscila 18 metros con la ayuda del océano y dos pistones situados a una profundidad de entre 10 y 12 metros. Cada ola que pase activará el bombeo, el cual enviara una gran presión de agua a través de tuberías hacia la costa. El

agua a gran presión es convertida en electricidad utilizando turbinas y generadores hidroeléctricos convencionales.

El prototipo del nuevo dispositivo, denominado Oyster (Ostra) puede llegar a generar hasta 600kW, dependiendo de la ubicación y la configuración. La ventaja principal es que la maquina no usa ninguna sustancia tóxica, ya que usa únicamente agua de mar.

Este dispositivo fue puesto en marcha gracias a la colaboración entre la Queen's University Belfast, Aquamarine Power Ltd. y el gobierno de Escocia.

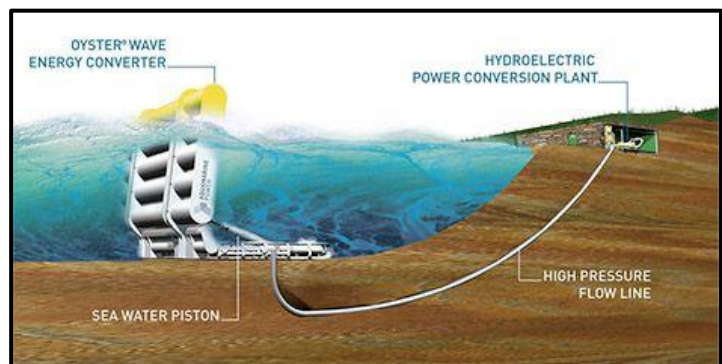


Figura 33 Dispositivo Oyster.

Columna de agua oscilante (OWC):

Uno de los países con un mejor nivel de investigación y desarrollo en estas técnicas es Portugal. Ingenieros del MIT y del Instituto Técnico Superior de la Universidad Técnica de Lisboa están diseñando un dispositivo que captará más energía de las olas oceánicas que los sistemas existentes.

El dispositivo lo han llamado OWC, consiste en una cámara con una abertura, al mismo tiempo que las olas entran y salen, el nivel del agua dentro de la cámara sube y baja. El movimiento de la superficie del agua obliga al aire a comprimirse sobre ella y,

posteriormente a fluir hacia la abertura que lo dirige hacia la turbina y esta convierte la energía mecánica en electricidad.

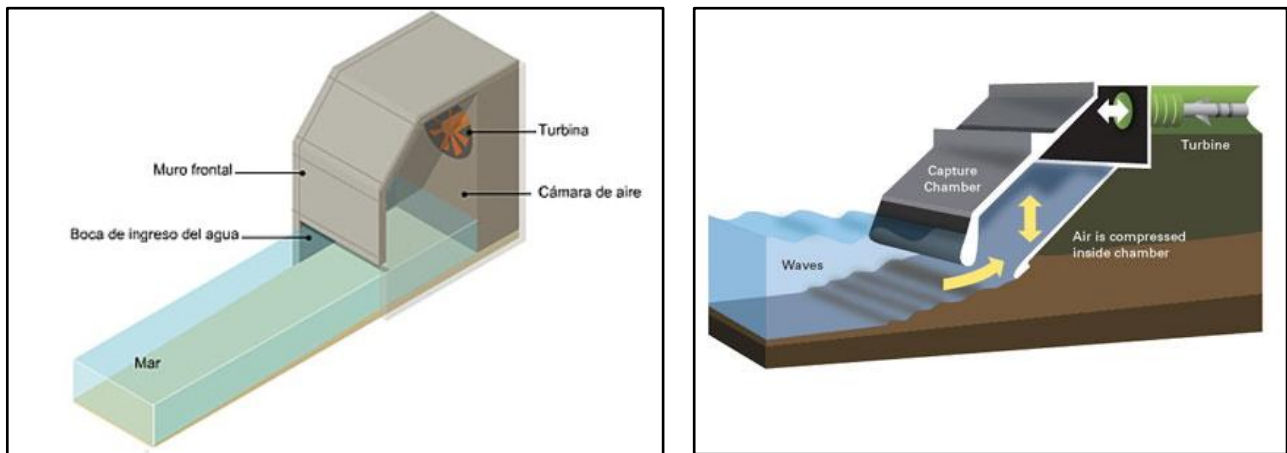


Figura 34 Columna de agua oscilante (OWC).

El plan es instalar la planta OWC en la cabecera de un rompeolas, en la desembocadura del río Duero, en Oporto, al norte de Portugal. La instalación incluirá tres OWC's que generarán 750 kilovatios, suficiente para abastecer de energía a 750 hogares. Esta instalación, además, permitirá calmar las aguas en esta área y reducir la erosión local.

3.4 Conclusiones de la investigación 2

En el mundo de las grandes compañías de energías renovables, hay muchos y variados dispositivos para la captación de energía en los océanos, pero lógicamente estos proyectos son de gran envergadura, capaces de captar 750 kW de energía que en unión con varios dispositivos se podría abastecer a una población entera. Nuestra idea es diseñar/crear un prototipo y/o dispositivo más reducido.

Viendo y analizando todos los dispositivos de captación de energía a través de los diferentes medios, undimotriz, mareomotriz, etc... y teniendo en cuenta el enfoque de nuestro proyecto y el valor de las encuestas realizadas en la población de Vilanova i la Geltrú, nos decantaremos por diseñar un dispositivo medianamente pequeño pero capaz de poder captar la energía de las olas del mar de forma undimotriz y mareomotriz, la situación de dicho dispositivo se encontrará en un espigón del puerto.

4 Desarrollo de la propuesta

4.1 Especificaciones

En este apartado vamos a especificar las condiciones donde se encontrará nuestro prototipo y sus características, como el mecanismo, el diseño, materiales, etc. Nuestro prototipo estará en el mar, por lo tanto, vamos a describir las condiciones ambientales y la situación geográfica.

Como estaremos en el mar, y lo que pretendemos con este dispositivo es captar la máxima energía de las olas del mar, estas son el resultado visible de la transferencia energética del viento a la mar. Sin viento no hay olas, si bien el viento puede soplar en regiones alejadas del lugar donde se observa oleaje (mar de fondo o tendida). Al contrario de lo que se pueda pensar las olas no transportan agua, lo que si producen a su paso es un movimiento circular en las partículas del agua, y cuando la ola ha pasado las partículas vuelven al mismo lugar donde se encontraban antes de llegar la ola. El oleaje está compuesto de una superposición de ondas de distintas alturas, periodos y direcciones. En virtud de esto, los parámetros disponibles más representativos del oleaje son la altura de la ola, el periodo de la ola y la dirección.

La cresta de la ola es su parte más alta mientras que el valle es la parte más baja. La altura de la ola es la distancia vertical entre la cresta y el valle. La longitud de onda de la ola es la distancia entre dos crestas mientras que el periodo es el tiempo transcurrido entre ambas crestas.

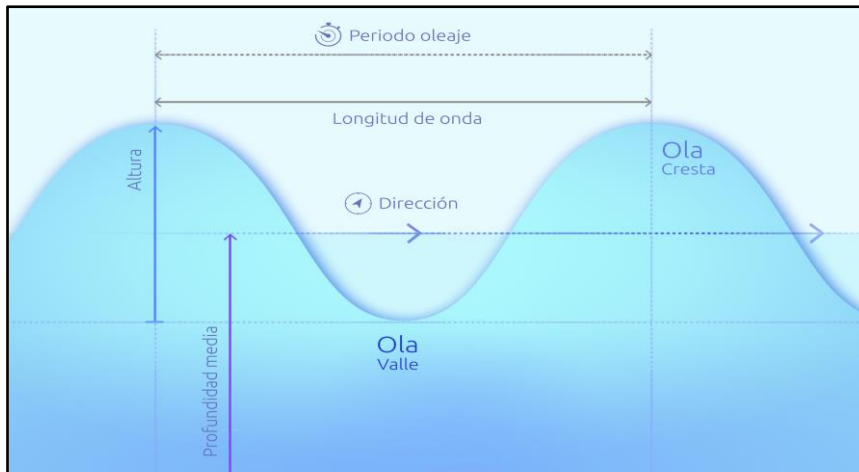


Figura 35 Características de una ola.

Como las olas son muy variables para analizarlas y describirlas se usan métodos estadísticos. Así, para la altura, normalmente indica la altura significativa. Ésta es el promedio del 1/3 de las olas más altas observadas en una serie en un período de tiempo determinado. Si cogemos 100 olas, la altura significativa es la media de las alturas de las 33 olas más altas.

Los mayores temporales se producen en la costa noroeste española (costa de Galicia). En esta zona son habituales las borrascas que producen vientos de componente oeste. Éstas son las que originan mayor período, ya que las olas se suelen generar en el Atlántico Norte y después se propagan hasta la costa gallega. Este tipo de temporales son los más característicos y se llegan a obtener alturas significantes de hasta 10 metros con alturas máximas de ola de hasta 17 metros y periodos de hasta 20 segundos.

En cuanto a récords, la Red de boyas de Aguas Profundas de Puertos del Estado midió en 2014 la ola solitaria más alta nunca registrada en aguas españolas. El 6 de enero de 2014, la boya de Villano-Sisargas (Cabo Vilán) midió una ola individual de 27,81 metros de altura, de valle a cresta. Este valor corresponde a un registro con altura significativa de 12,4 metros. El anterior récord lo tenía la boya Augusto González Linares, con 26,13 metros cerca de Santander, que se midió al paso del ciclo génesis explosiva Klaus el 24 de enero de 2009.

El período del oleaje está relacionado con la energía de las olas. Por definición, el periodo es el tiempo medio (en segundos) que transcurre entre que las dos crestas de dos olas consecutivas pasan por el mismo punto en alta mar. Por norma general, los períodos de olas suelen ir desde los pequeños períodos, que son de unos 4 o 5 segundos, a los grandes que rondan los 15 o 16. Por ejemplo, un período de 5 segundos quiere decir que las olas están pasando en cortos períodos de tiempo, por lo cual la mar estará más agitada. Si por el contrario el período de la ola es grande, quiere decir que transcurre más tiempo entre olas, pero cuando llegan a tierra llegan con mucha fuerza. Es el típico mar que, por ejemplo, gusta a los surfistas, un mar ordenado. En cambio, en la pesca, interesan más períodos cortos para que la ola no llegue con demasiada fuerza a la orilla.

Dependiendo de la actividad que realicemos habrá que tener en cuenta periodos altos o bajos. En resumen, un período grande es aquel que hará que las olas al llegar a tierra lleguen con más fuerza y tamaño.

La dirección del oleaje nos indica el lugar de procedencia de las olas. Es un dato muy importante normalmente la dirección influye mucho en la calidad de las olas, pero también en la precisión de las medidas de las boyas. La dirección puede ser, por lo tanto, cualquiera de las direcciones de los puntos cardinales.

A continuación, definiremos las condiciones físicas y ambientales donde podríamos instalar nuestro dispositivo, en la playa de El Far / Sant Cristòfol, en Vilanova i la Geltrú.

En la siguiente imagen se puede ver la situación geográfica y las coordenadas terrestres que hemos obtenido con la aplicación Google Maps de la zona del puerto.

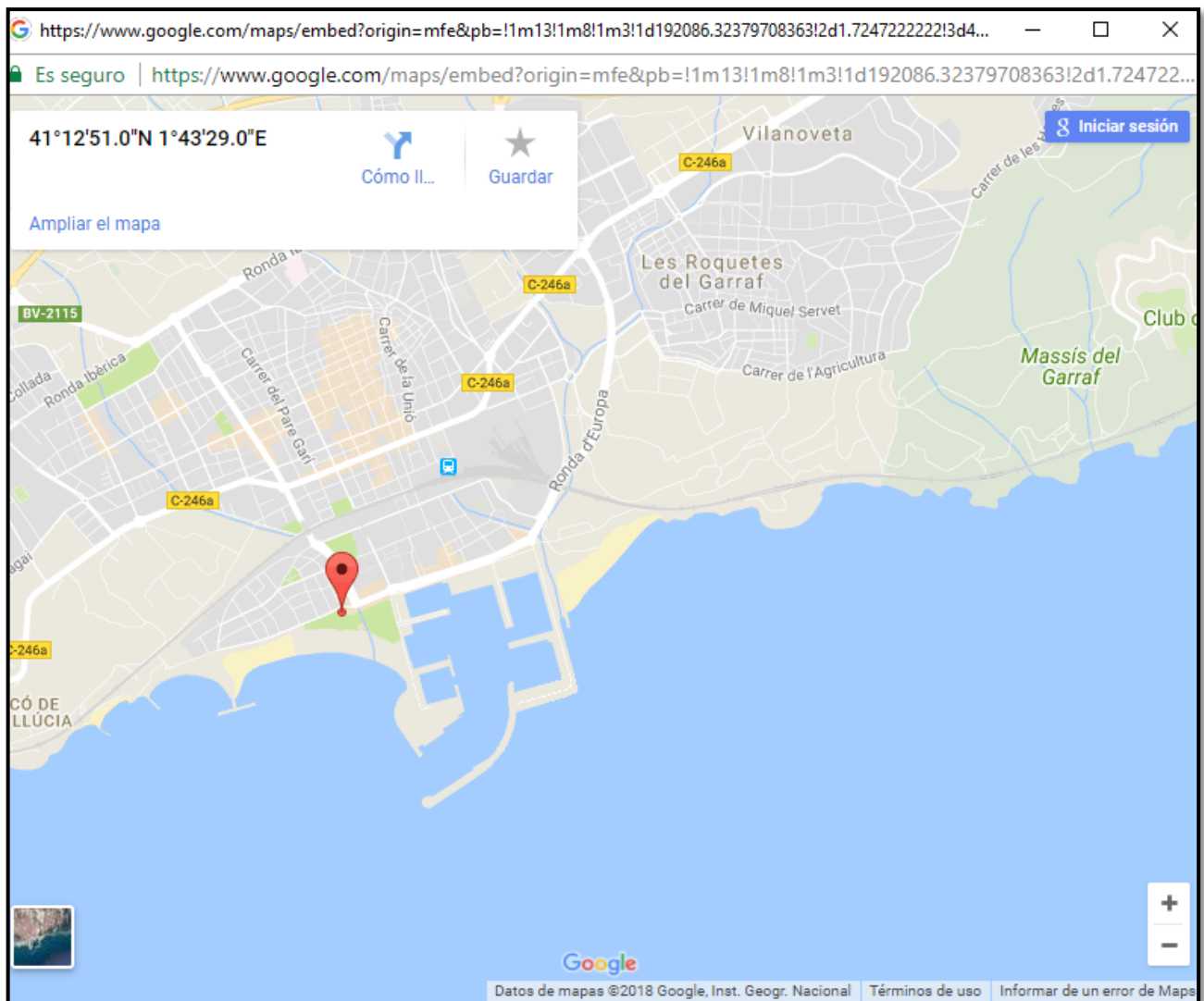


Figura 36 Coordenadas terrestres del puerto de Vilanova i la Geltrú.

Mediante la aplicación de *eltiempo.es* nos muestra la altura de las olas del mar en esta zona, que es de 0,5 metros.

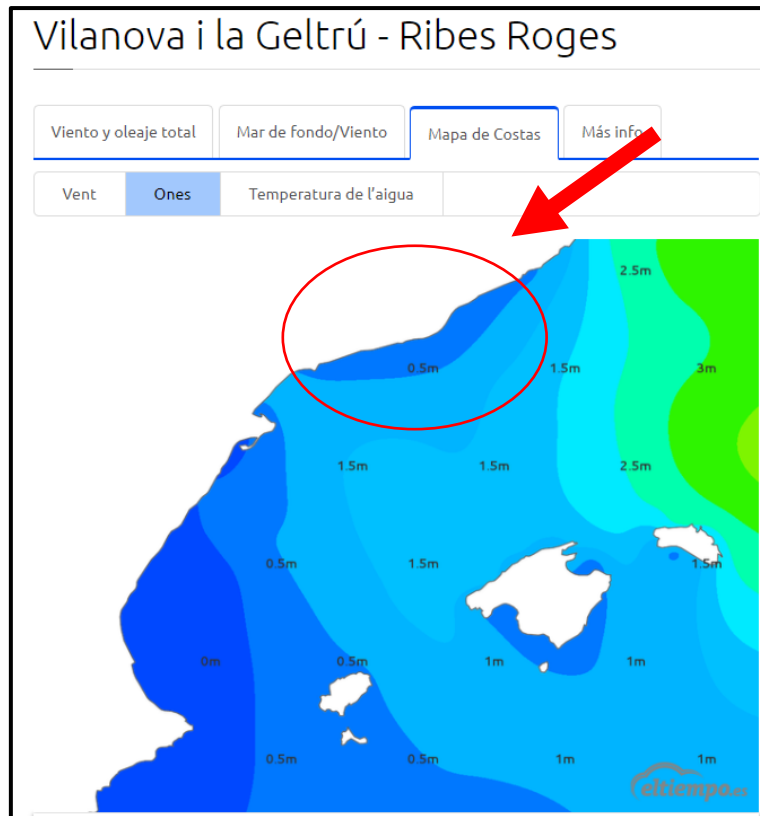


Figura 37 Altura de las olas mediante el tiempo.es.

En la siguiente gráfica mostramos la media anual del tamaño de las olas.

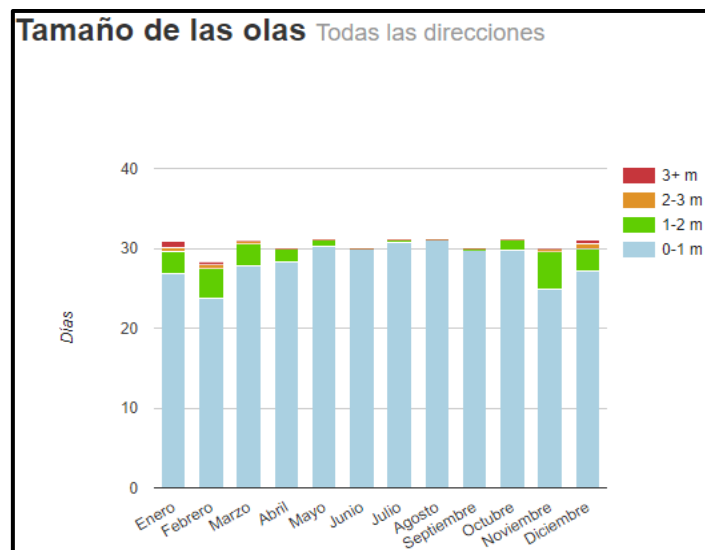


Figura 38 Tamaño de las olas.

Cojiendo unos días al azar, podemos consultar el estado de la mar, como su altura total del oleaje (m), período medio del oleaje (s), y dirección.

Vilanova i la Geltrú - Ribes Roges									
Viento y oleaje total	Mar de fondo/Viento			Mapa de Costas			Más info		
Paràmetre	Dilluns 15 gener			Dimarts 16 gener					
	15	18	21	0	3	6	9	12	15
Velocitat (km/h)	15	13	15	14	14	16	19	18	14
Ratxes (km/h)	27	26	26	25	24	29	35	35	31
Direcció	SO	O	O	O	O	O	SO	SO	SO
Alçada total d'onatge (m)	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.6	0.4	0.6
Període mitjà d'onatge (s)	4.7	4	4.2	4.3	4.7	5.2	5.2	5.6	5.2
Direcció	←	↑	↑	↗	↗	↑	↗	↗	↗

Figura 40 Consulta de datos del estado del mar.

En la siguiente vista aérea, se puede observar la dirección de las olas del mar cuando impactan en el espigón.



Figura 41 Dirección de las olas en el espigón.

La playa del Faro de Sant Cristòfol está ubicada en un entorno residencial alrededor del Faro de Sant Cristòfol, que guía a los navegantes de la Costa de Barcelona y de la costa Daurada, y de la ermita de Sant Cristòfol, del siglo XIV, que Eugeni d'Ors adquirió en el año 1944 y en la cual ubicó la Academia del Far donde se reunía con escritores, filósofos y artistas de la época.

El Faro es de pendiente suave y arena fina, por su extremo norte limitada con un pequeño acantilado y por su extremo sur con el puerto de Vilanova i la Geltrú. Tiene una longitud de 650 metros, una anchura media de 110 metros y una superficie total de arena de unos 67.000m².



Figura 42 Imágenes playa del Far desde Google Maps, Vilanova i la Geltrú.

4.2 Diseño

A partir de los diseños iniciales, hemos desarrollado en cada uno, otros posibles sistemas mecánicos para la captación de energía. En las siguientes figuras mostramos dichos bocetos.

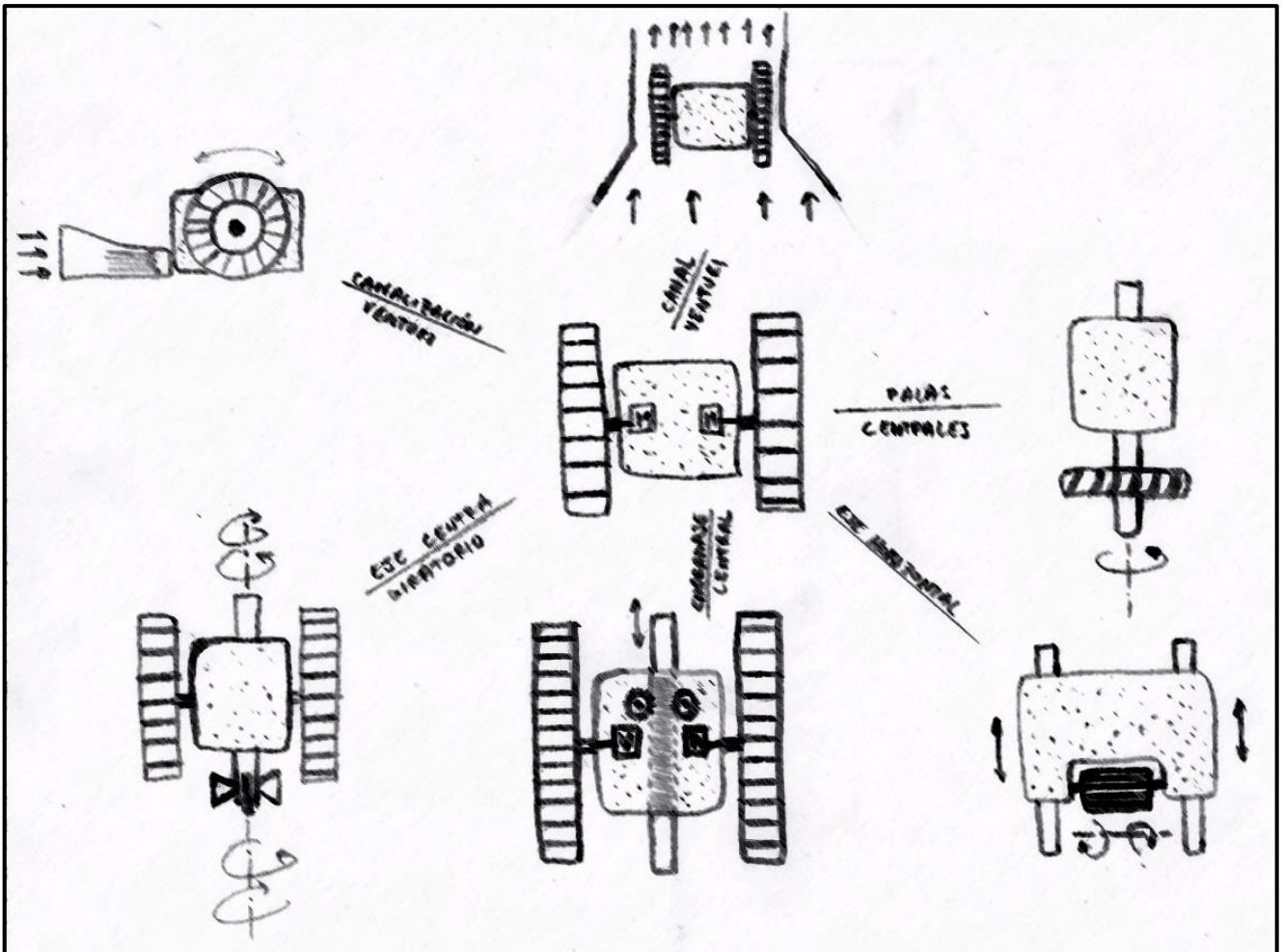


Figura 43 Ideas a partir del diseño inicial 1.

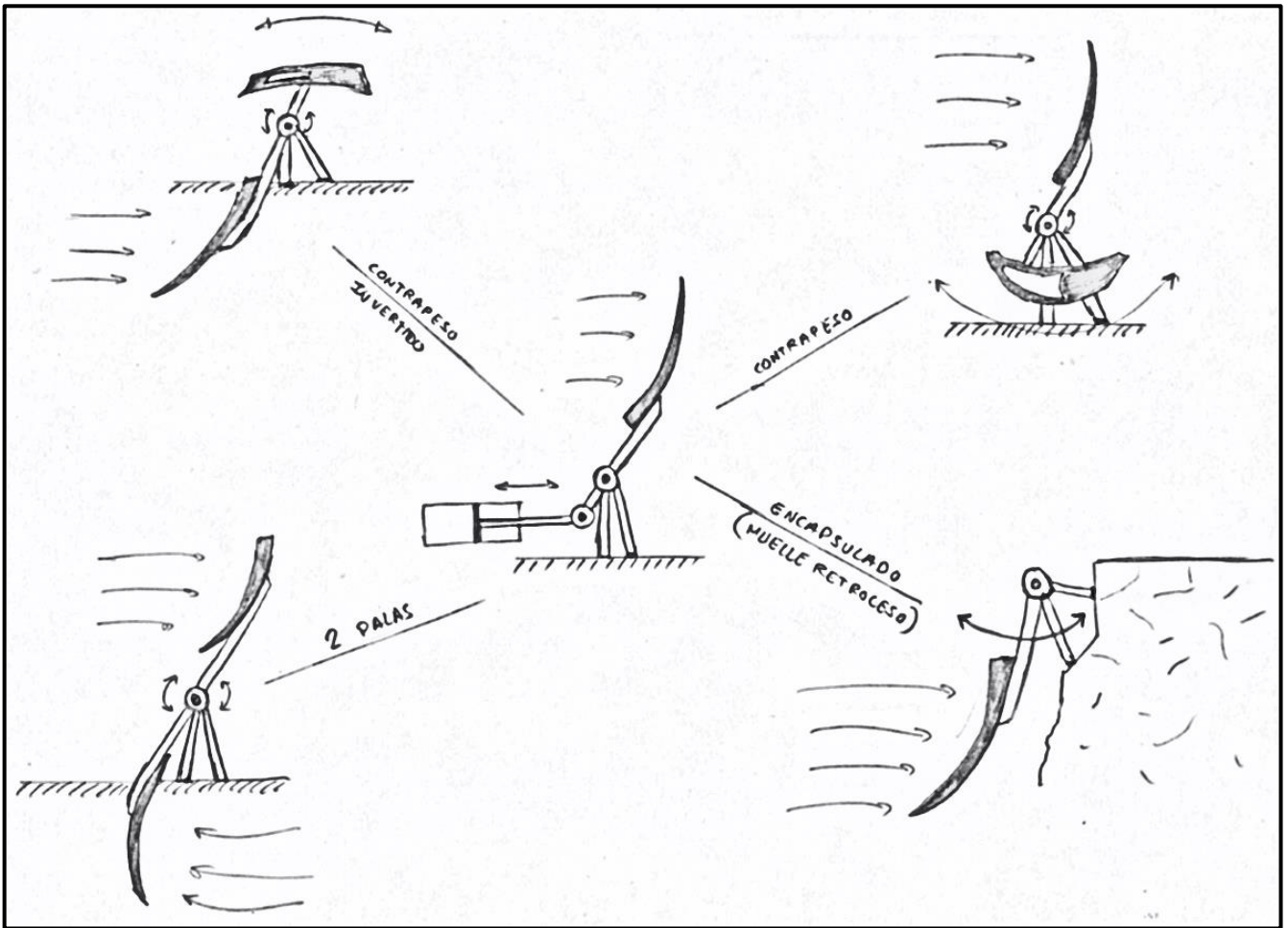


Figura 44 Ideas a partir del diseño inicial 2.

Analizando todos estos bocetos de diseño, tenemos que elegir cual es el prototipo más idóneo para obtener la máxima energía de las olas.

Nos decantamos por el diseño inicial-2 y dentro de este, el dispositivo con contrapeso invertido, que luego más adelante modificaremos en el diseño 3D.

Una vez que ya tenemos definido como va a ser el prototipo final, lo diseñaremos en ordenador a través del programa Solid Edge versión ST9.

4.3 Funcionalidad y uso del producto

La función de este prototipo es captar la energía de las olas del mar que impactan en el espigón, mediante un eje central que, rota en su propio eje, tiene conectado una guía-patín. En el patín tiene instalada dos palas de un material con menos densidad que el agua, para que flote y pueda aprovechar las olas de la superficie con el vaivén del mar.

Con esta rotación constante del eje, se puede transformar mediante otros mecanismos en energía eléctrica para el consumo propio de las instalaciones del puerto marítimo.

Para obtener la máxima funcionalidad de este prototipo habría que instalar varios dispositivos a lo largo del espigón separados entre sí de forma que la ola de una pala no colapse a la pala del dispositivo posterior.

La posición de los dispositivos debe ser perpendicular a la dirección de las olas del mar (ver figura 36). Y la altura de la posición de instalación debe ser la altura media de las olas.

El prototipo tiene dos palas simétricas, que capta el oleaje que viene de frente y el oleaje que rebota en la pared del espigón, denominado "resaca".

Las palas son de un material polímero flexible que tiene una menor densidad que la del agua para que flote sobre la superficie del mar y así poder aprovechar la fuerza del oleaje. Estas palas están unidas a un patín y este patín a una guía de la cual se desliza y se adapta al nivel del mar.

Con el movimiento del eje central, obtenemos un giro del engranaje de 90° constantes en los dos sentidos de giro, los cuales pueden ser aprovechados de forma cinemática o dinámica.

El uso principal de este prototipo será producir energía eléctrica para la alimentación del sistema de iluminación del puerto, y también para las necesidades energéticas del puerto de Vilanova i la Geltrú.

5 Estudio y análisis de los materiales

Todos los componentes que forman parte del prototipo están diseñados con material Polyoxymethylene (Acetal, POM). Este material es rígido, con buena resistencia a la fatiga y resistente al agua. Por sus características hemos decidido que este será el material idóneo para las condiciones climatológicas que se encontrará el dispositivo. El material de la pala es una espuma de polímero flexible (MD). Se fabrican mediante la expansión controlada y la solidificación de un líquido o masa fundida a través de un agente de soplado. El material celular resultante tiene una densidad más baja, rigidez y resistencia que el material original, en una cantidad que depende de su densidad relativa: fracción de volumen de sólido en la espuma.

La estructura de anclaje al espigón, son unas barras de acero inoxidable que estarán fijadas mediante unos tornillos. A continuación, mostraremos gráficas y las características generales de estos materiales. En la siguiente gráfica hemos obtenido una visualización general de todos los materiales por su módulo de Young vs densidad. En color verde, es la zona de los materiales que hemos utilizado.

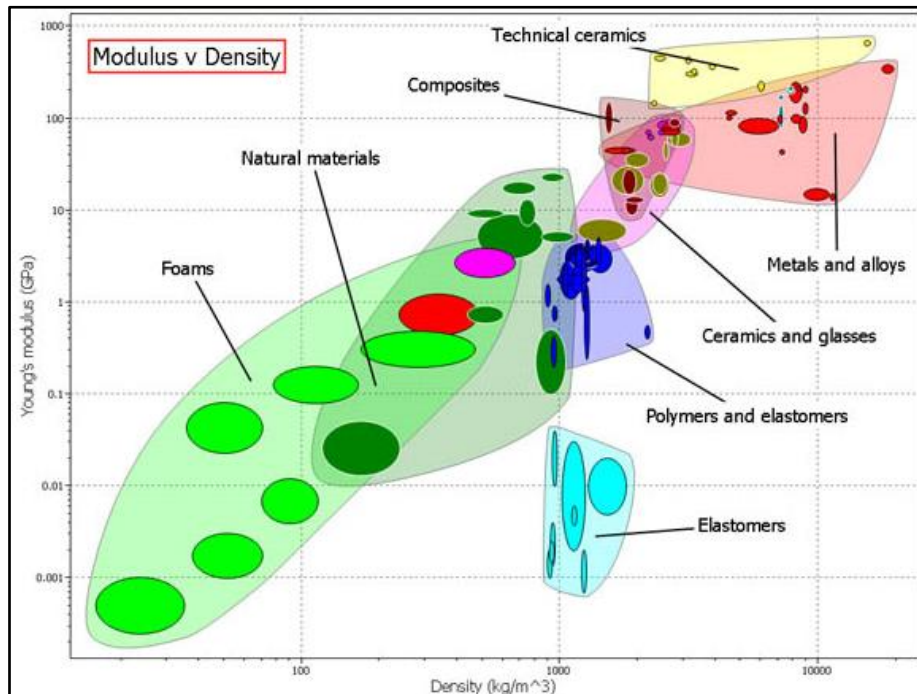


Figura 45 Modulo Young vs Densidad.

En la gráfica siguiente se muestra dónde está situado el material POM respecto a otros según su densidad.

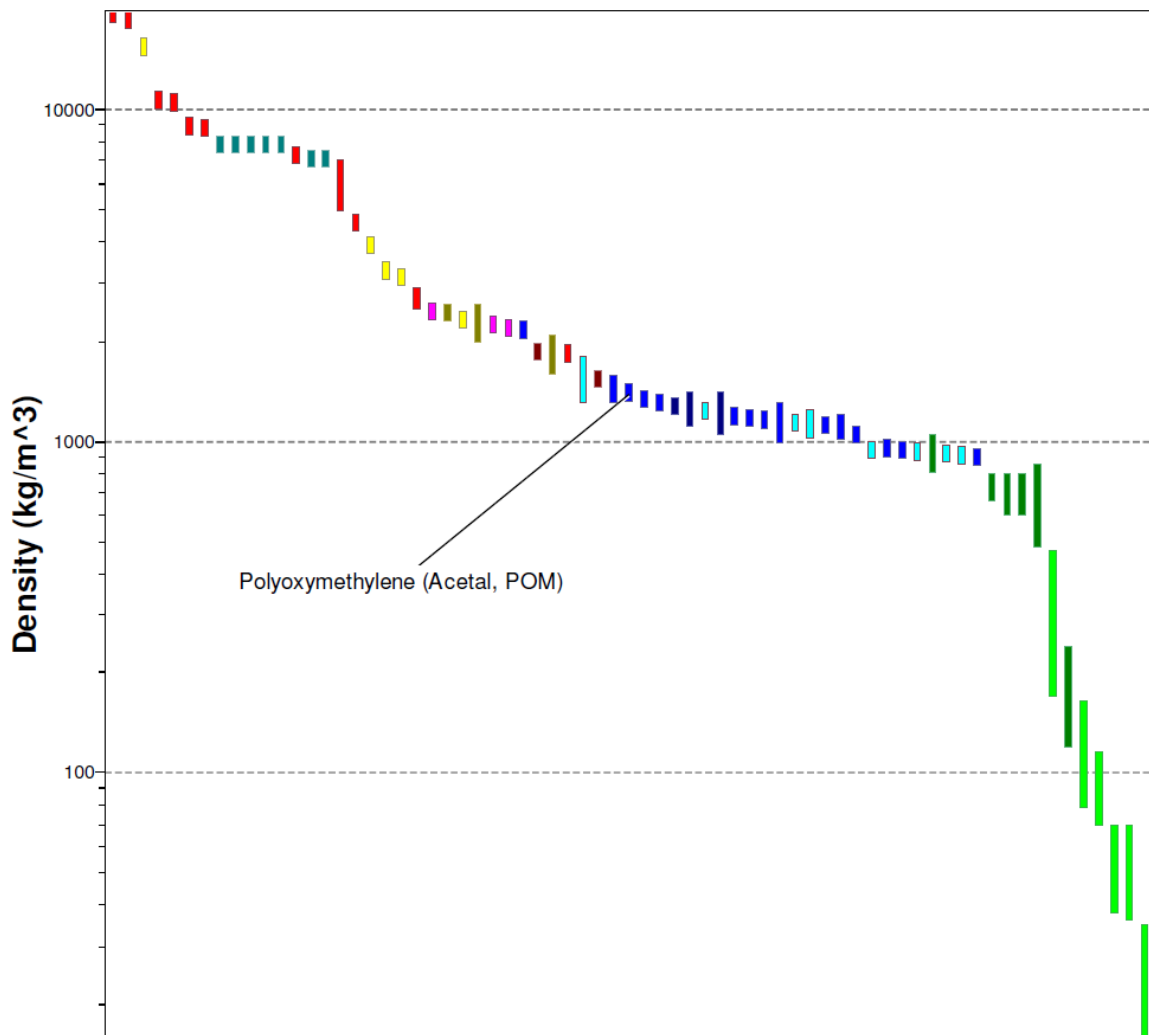


Figura 46 Gráfica densidad del POM.

La ficha técnica del material POM como la ficha técnica de los otros materiales la hemos obtenido gracias al programa **CES EDUPACK 2017** en el laboratorio de materiales de l'Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú (EPSEVG).

Polyoxymethylene (Acetal, POM)



Composition (summary)

(CH₂-O) n

General properties

Density	1,39e3	-	1,43e3	kg/m ³
Price	* 2,71	-	2,84	EUR/kg

Mechanical properties

Young's modulus	2,5	-	5	GPa
-----------------	-----	---	---	-----

POM was first marketed by DuPont in 1959 as Delrin. It is similar to nylon but is stiffer, and has better fatigue and water resistance - nylons, however, have better impact and abrasion resistance. It is rarely used without modifications: most often filled with glass fiber, flame retardant additives or blended with PTFE or PU. The last, POM/PU blend, has good toughness. POM is used where requirements for good moldability, fatigue resistance and stiffness justify its high price relative to mass polymers, like polyethylene, which are polymerized from cheaper raw materials using lower energy input.

Yield strength (elastic limit)	48,6	-	72,4	MPa
Tensile strength	60	-	89,6	MPa
Elongation	10	-	75	% strain
Hardness - Vickers	14,6	-	24,8	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 21,9	-	34,2	MPa
Fracture toughness	1,71	-	4,2	MPa.m ^{0.5}

Thermal properties

Melting point	160	-	184	°C
Maximum service temperature	76,9	-	96,9	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,221	-	0,35	W/m.°C
Specific heat capacity	1,36e3	-	1,43e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	75,7	-	202	µstrain/°C

Electrical properties

Electrical conductor or insulator?	Good insulator
------------------------------------	----------------

Optical properties

Transparency	Opaque
--------------	--------

Eco properties

Embodied energy, primary production	* 85,4	-	94,4	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 3,85	-	4,26	kg/kg



Recycle	✓
---------	---

Recycle mark

Supporting information

Typical uses

POM is more expensive than commodity polymers such as PE, so is limited to high performance applications in which its natural lubricity is exploited. It is found in fuel-system, seat-belt components, steering columns, window-support brackets and handles, shower heads, ballcocks, faucet cartridges, and various fittings, quality toys, garden sprayers, stereo cassette parts, butane lighter bodies, zippers, telephone components, couplings, pump impellers, conveyor plates, gears, sprockets, springs, gears, cams, bushings, clips, lugs, door handles, window cranks, housings, seat-belt components, watch gears, conveyor links, aerosols, mechanical pen and pencil parts, milk pumps, coffee spigots, filter housings, food conveyors, cams, gears, TV tuner arms, automotive under hood components.

En la siguiente gráfica se muestra la densidad de la espuma de polímero flexible (FOAM), respecto a otros materiales.

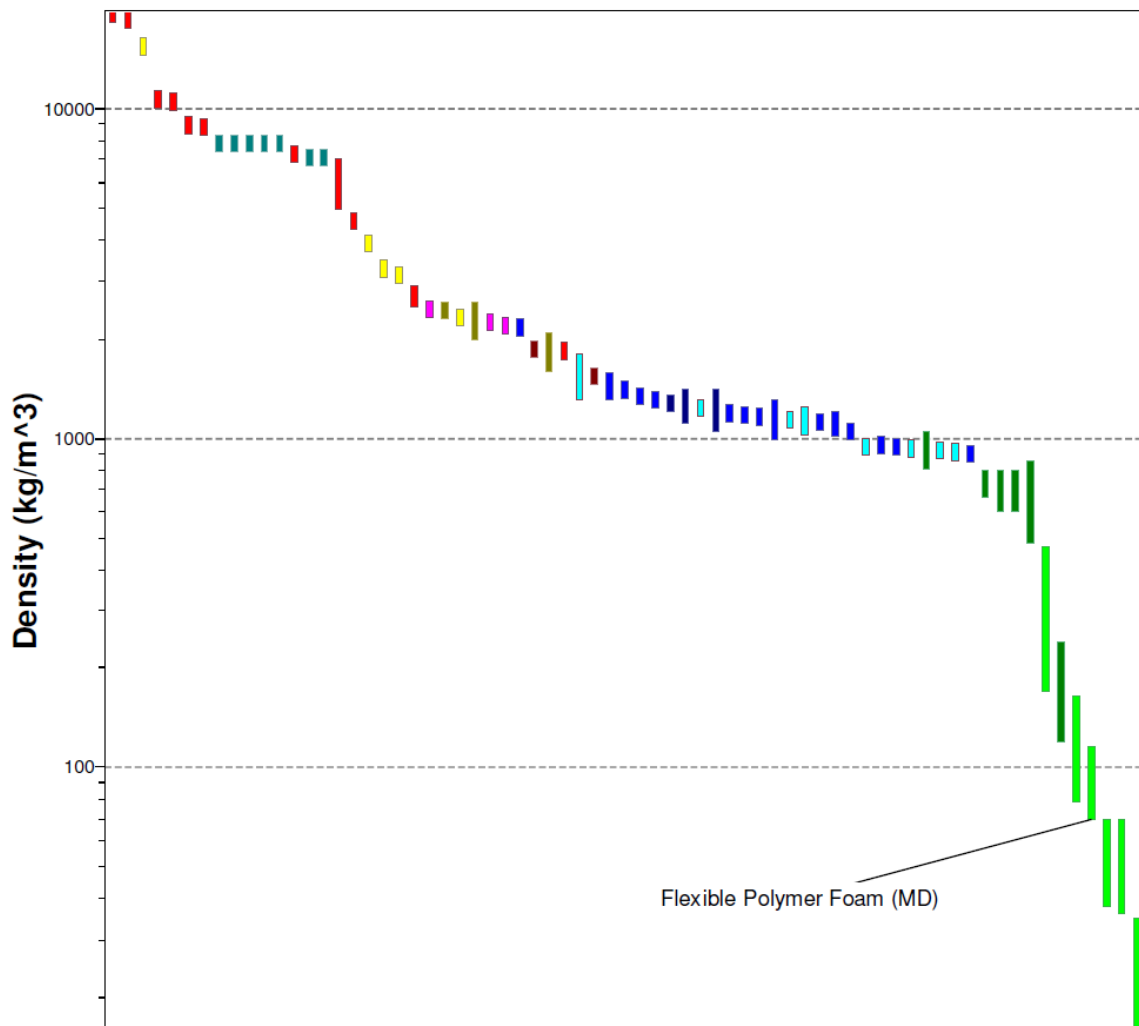


Figura 47 Gráfica densidad de la espuma de polímero flexible (FOAM).

A continuación, la ficha técnica de la espuma de polímero flexible (FOAM), obtenida con el programa **CES EDUPACK 2017**

Flexible Polymer Foam (MD)



Flexible latex foams are used for cushions, mattresses, packaging and

Polymer foams are made by the controlled expansion and solidification of a liquid or melt through a blowing agent; physical, chemical or mechanical blowing agents are possible. The resulting cellular material has a lower density, stiffness and strength than the parent material, by an amount that depends on its relative density – the Volume-fraction of solid in the foam. Flexible foams can be soft and compliant, the material of cushions, mattresses, and padded clothing. Most are made from polyurethane, although latex (natural rubber) and most other elastomers

Composition (summary)

Hydrocarbon

General properties

Density	70	-	115	kg/m ³
Price	* 2,46	-	2,73	EUR/kg

Mechanical properties

Young's modulus	0,004	-	0,012	GPa
Yield strength (elastic limit)	0,048	-	0,7	MPa
Tensile strength	0,43	-	2,95	MPa
Elongation	9	-	115	% strain

Hardness - Vickers	0,0048	-	0,07	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 0,34	-	2,5	MPa
Fracture toughness	* 0,03	-	0,09	MPa.m ^{0.5}

Thermal properties

Melting point	112	-	177	°C
Maximum service temperature	82,9	-	112	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,041	-	0,078	W/m.°C
Specific heat capacity	1,75e3	-	2,26e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	115	-	220	µstrain/°C

Electrical properties

Electrical conductor or insulator?	Good insulator
------------------------------------	----------------

Optical properties

Transparency	Opaque
--------------	--------

Eco properties

Embodied energy, primary production	* 100	-	111	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 3,43	-	3,79	kg/kg
Recycle	✘			

Supporting information

Typical uses

Packaging, buoyancy, cushioning, sleeping mats, soft furnishings, artificial skin, sponges, carriers for inks and dyes.

En los anexos se puede consultar más información de las características del módulo de Young, la densidad, la ECO propiedades, el límite elástico y la relación material-precio.

En los anexos se encuentran las propiedades físicas de cada componente del prototipo.

6 Presupuesto

6.1 Estudio de costes

NOMBRE	MATERIAL	DENSIDAD	MASA	VOLUMEN	PRECIO/Kg	UNIDADES	TOTAL (€)Brutos
Capsula Inferior	POM	1385 kg/m ³	0,241 kg	173932,273 mm ³	2,84 EUR/kg	1	0.684
Soporte Rodamiento2-2	POM	1385 kg/m ³	0,013 kg	9103,516 mm ³	2,84 EUR/kg	2	0.0639
Soporte Rodamiento1	POM	1385 kg/m ³	0,021 kg	14874,587 mm ³	2,84 EUR/kg	1	6.54
Soporte Rodamiento2	POM	1385 kg/m ³	0,019 kg	13814,299 mm ³	2,84 EUR/kg	1	7.71
Rodamiento	POM	1385 kg/m ³	0,005 kg	3558,245 mm ³	2,84 EUR/kg	2	8.52
Eje Central	POM	1385 kg/m ³	0,042 kg	30132,157 mm ³	2,84 EUR/kg	1	0.1192
Engranaje	POM	1385 kg/m ³	0,037 kg	26494,540 mm ³	2,84 EUR/kg	1	5.99
Tornillo M3	POM	1385 kg/m ³	0,000 kg	142,304 mm ³	2,84 EUR/kg	4	0.25
Goma Tope	POM	1385 kg/m ³	0,000 kg	210,420 mm ³	2,84 EUR/kg	2	0.15
Patín	POM	1385 kg/m ³	0,033 kg	23862,411 mm ³	2,84 EUR/kg	1	0.9372
Pala	FOAM	115 kg/m ³	0,014 kg	120740,738 mm ³	2,73 EUR/kg	1	12.5
Pala1	FOAM	115 kg/m ³	0,009 kg	80935,175 mm ³	2,73 EUR/kg	1	25
Tornillo M5	POM	1385 kg/m ³	0,001 kg	369,549 mm ³	2,84 EUR/kg	2	0.25
Capsula Superior	POM	1385 kg/m ³	0,256 kg	184483,745 mm ³	2,84 EUR/kg	1	0.684
Guía	POM	1385 kg/m ³	0,115 kg	83033,400 mm ³	2,84 EUR/kg	1	0.3266
Eje Perno	POM	1385 kg/m ³	0,000 kg	246,267 mm ³	2,84 EUR/kg	1	0.1

Estructura Soporte	INOX	7750 kg/m ³	6,0405 Kg	779425,856572 mm ³	12.33 EUR/m	2	24.66
Diseño final	-		0.896 Kg	779602.268 mm ³		1	
							94,4849

Tabla 1 Estudio de costes.

El coste de los materiales en bruto para fabricar este dispositivo y de las piezas estándar es de 94,849 euros.

Las piezas estándar son: soporte rodamiento2-2, soporte rodamiento1, soporte rodamiento2, rodamiento, engranaje, tornillos métricos tres y tornillos métricos cinco. Para estimar el valor de las palas hemos buscado productos similares en el mercado.

También hemos considerado que las horas totales de montaje del dispositivo y mecanizado para las capsula, el eje central, el patín, la guía, estructura soporte y el eje perno es de unas diez horas. El coste hora de taller supone cuarenta y ocho euros, por lo que nos supondría unos cuatrocientos ochenta euros.

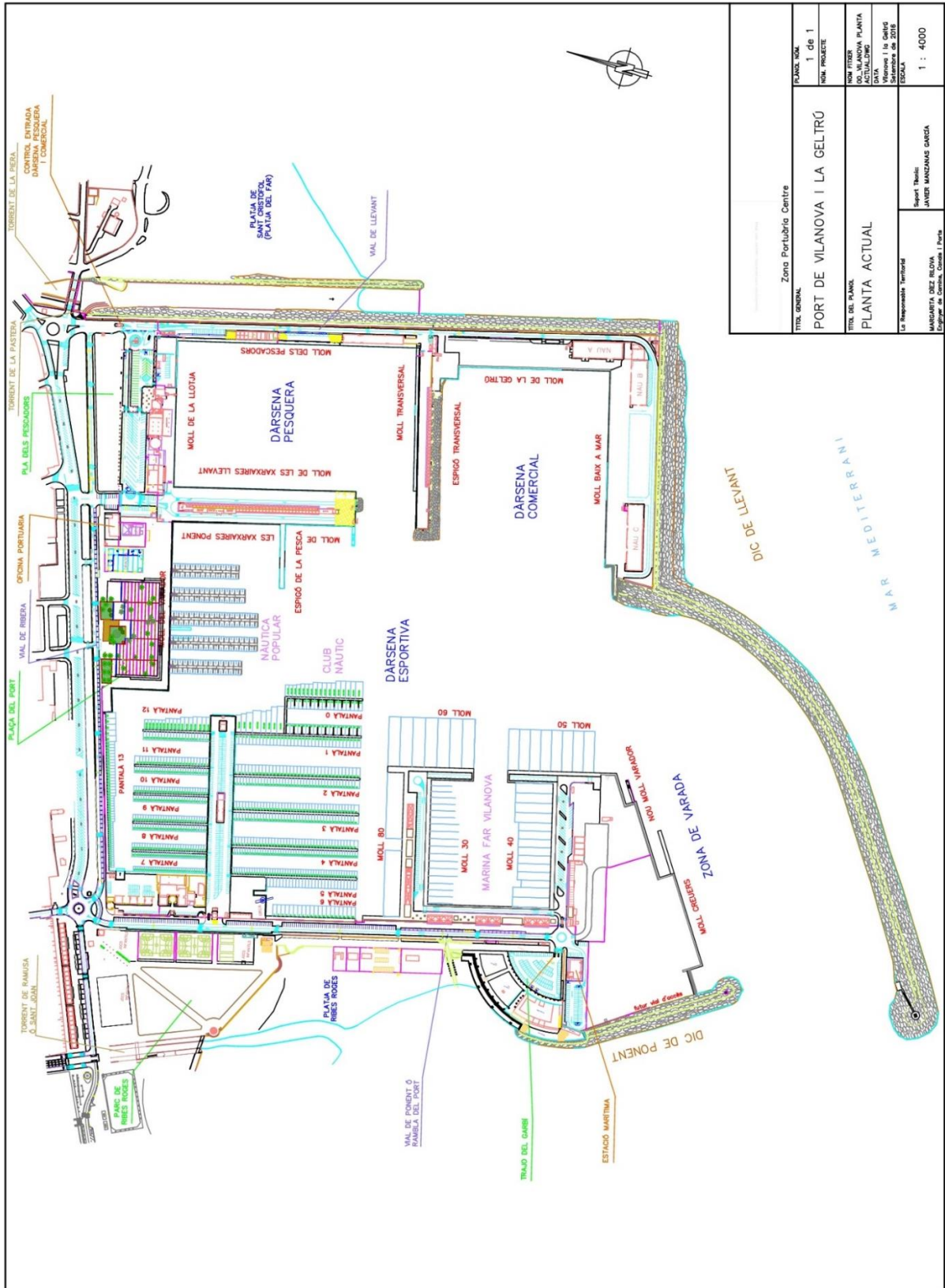
Así podemos determinar el valor total del dispositivo que sería 480 € del montaje y mecanizado, más 94,4849 € del material. Esto suma un total de **574,4849 €**.

7 Planos

En este apartado vamos a detallar todos los componentes con sus cotas en planos din-a4. También un plano en planta en formato AutoCAD de la zona del puerto de Vilanova i la Geltrú. El plano del patín-guía y del cojinete se encuentra en anexos.

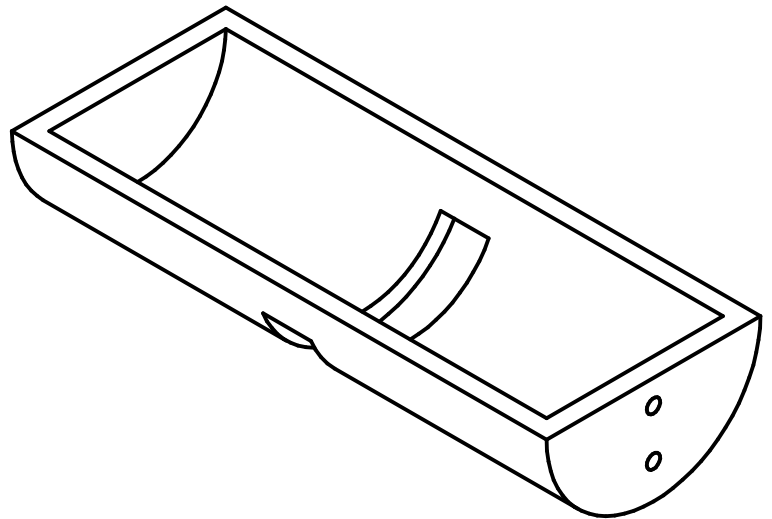
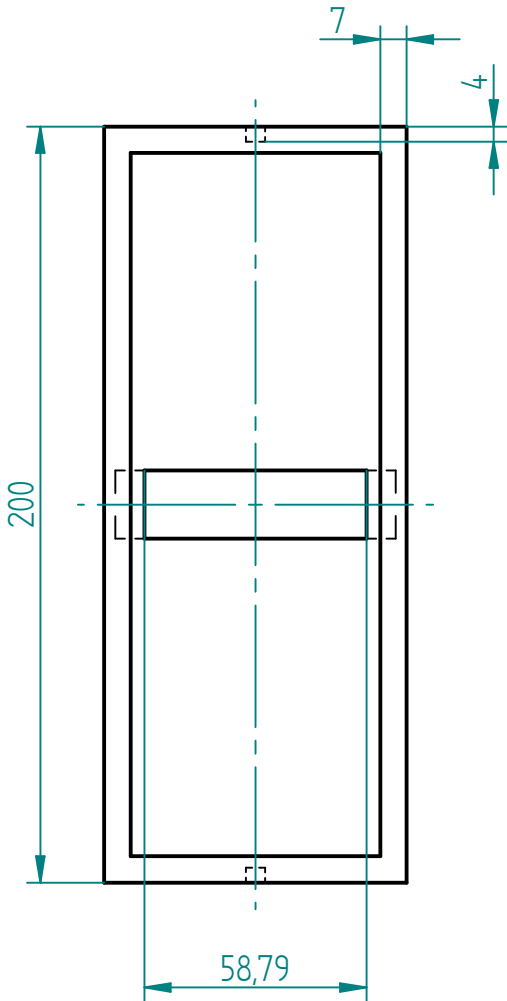
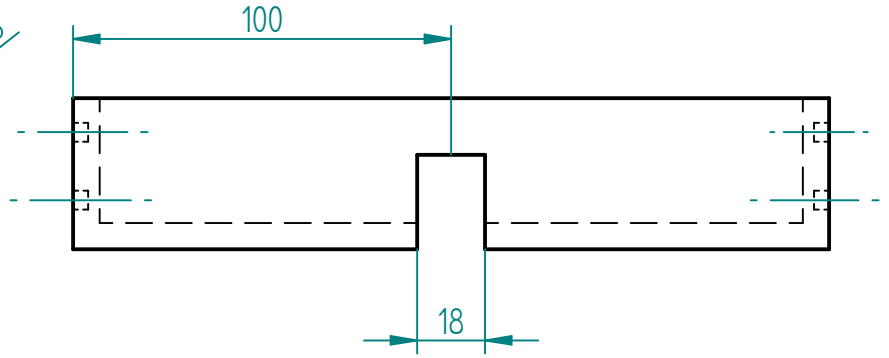
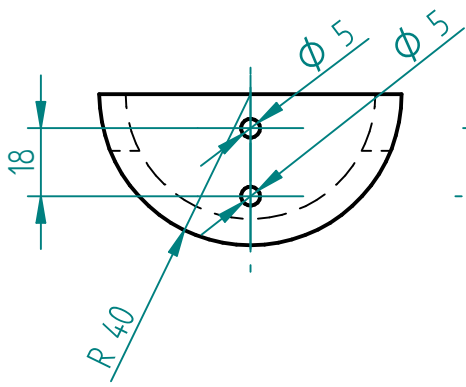
Primero adjuntamos el plano en AutoCAD del puerto nos lo ha proporcionado Ports de la Generalitat. Javier *Manzanas (Suport tècnic) Zona Portuària Centre*. Passeig Marítim s/n 08800, Vilanova i la Geltrú. Seguidamente los planos de todas las piezas que forman el conjunto.

Los planos del cojinete y del carril guía con el patín los hemos obtenido de la empresa SKF. Los adjuntamos en el apartado de anexos.

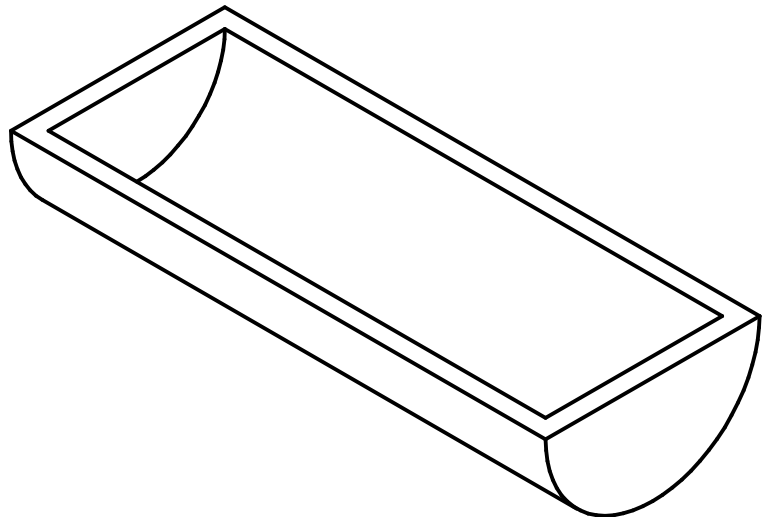
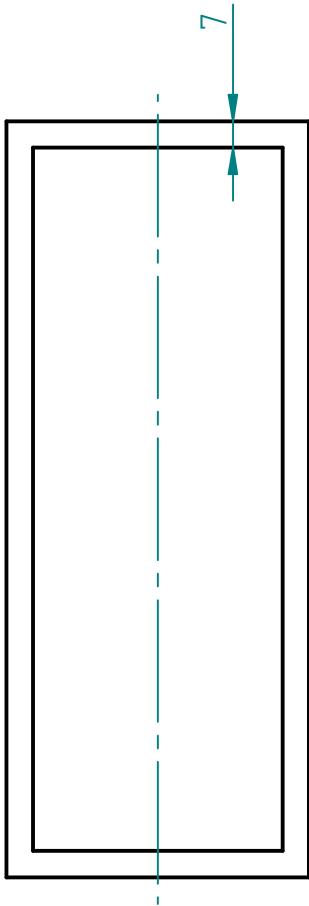
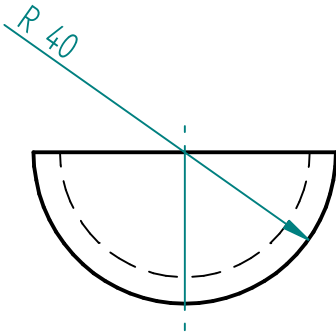


Zona Portuària Centre		PLANO: NOL	1 de 1
PORT DE VILANOVA I LA GELTRÚ		NOM PROJECTE	
PLANTA ACTUAL		NOM EFECTE	00_VILANOVA PLANTA ACTUAL.DWG
La Responsabilitat Territorial		Elaborat per Vilanova i la Geltrú Setembre de 2018 ESCOLA	
Support Tècnic: JAVIER HERNÁNDEZ GARCÍA		Escala: 1 : 4000	
MARGARITA DEZ BELDIA, Enginyer de Construcció i Ports			

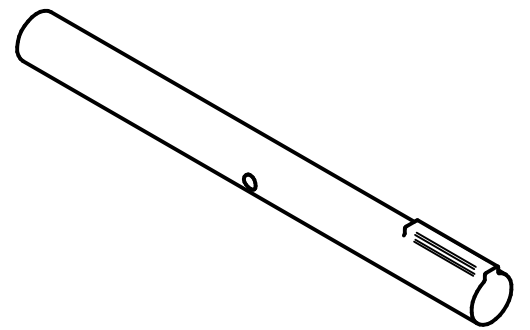
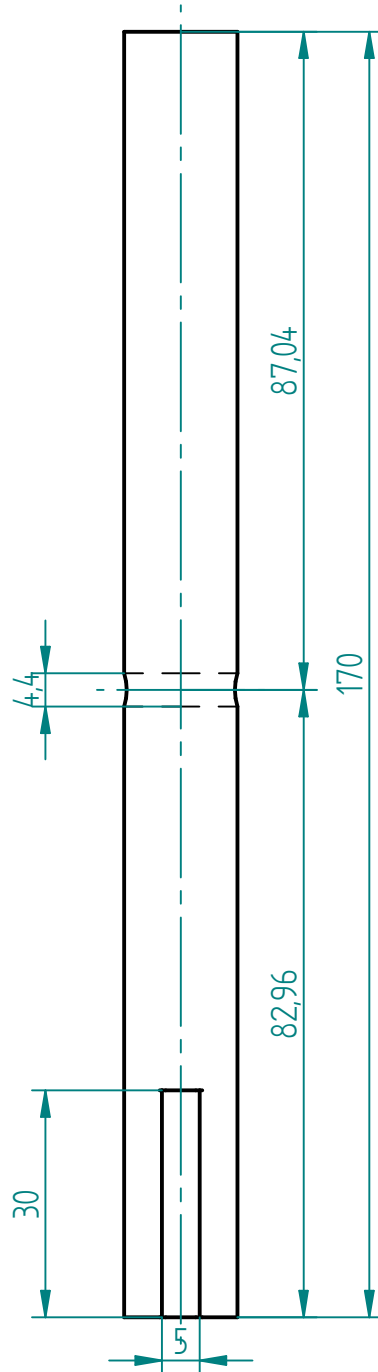
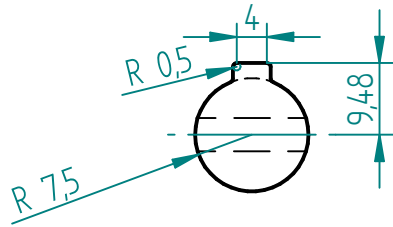
Figura 48 Vista en planta zona puerto Vilanova i la Geltrú.



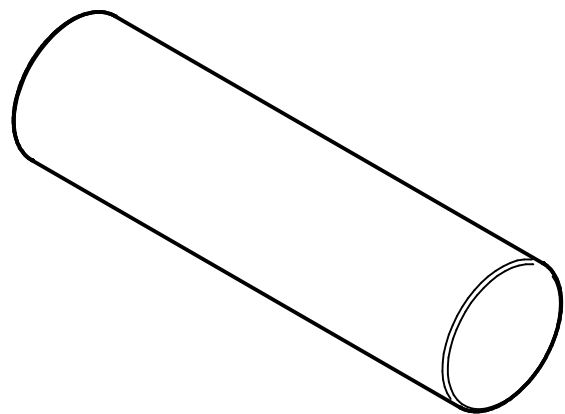
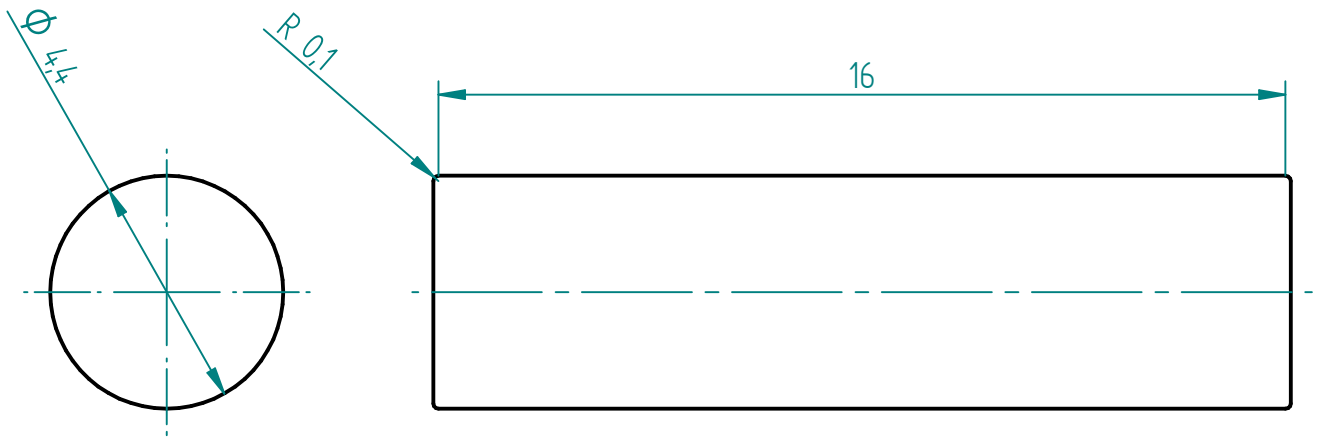
		Nombre	Fecha	Solid Edge ST	
Dibujado	F.Landeira			Siemens PLM Software	
	J.Díez			Título	
Aprobado 1				Capsula Inferior	
Aprobado 2				A4	Plano 1
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$					Rev
				Escala	Peso



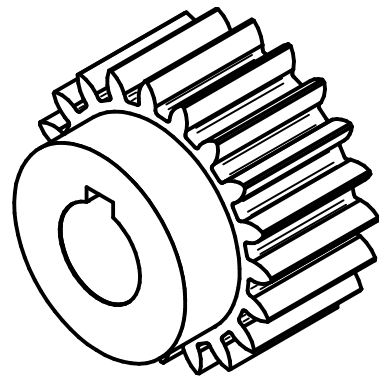
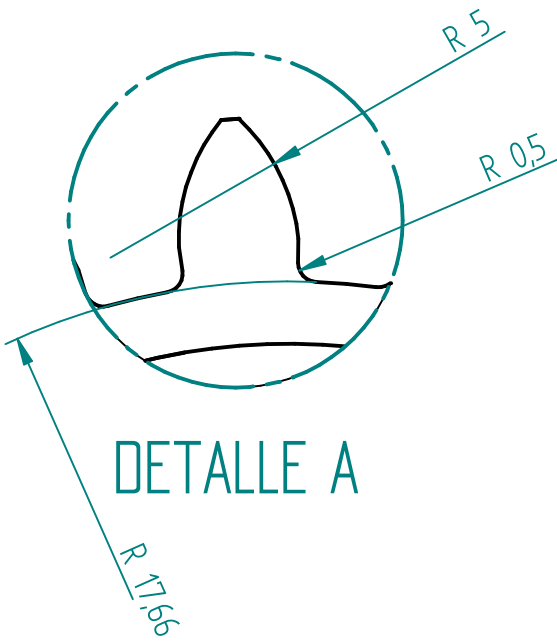
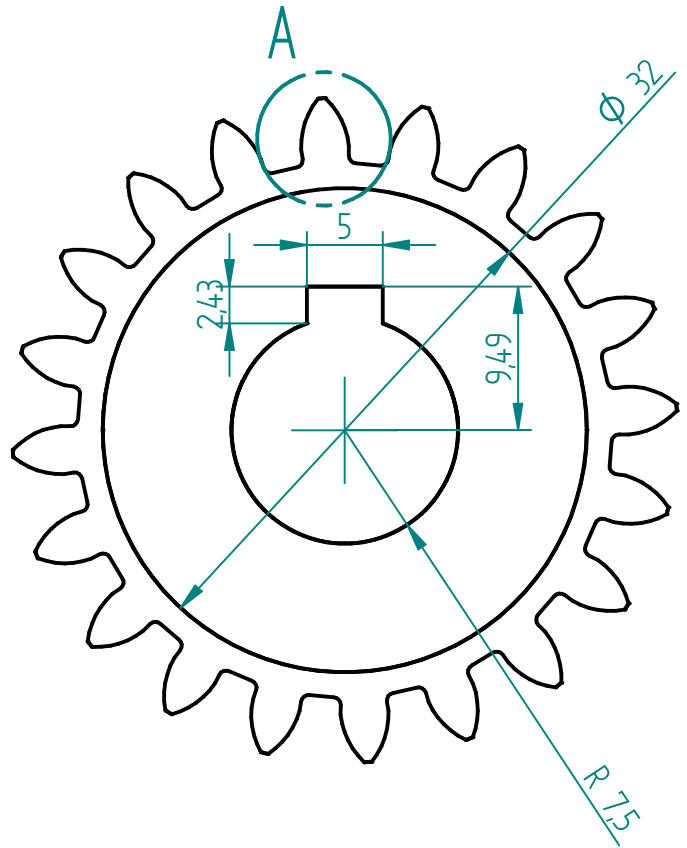
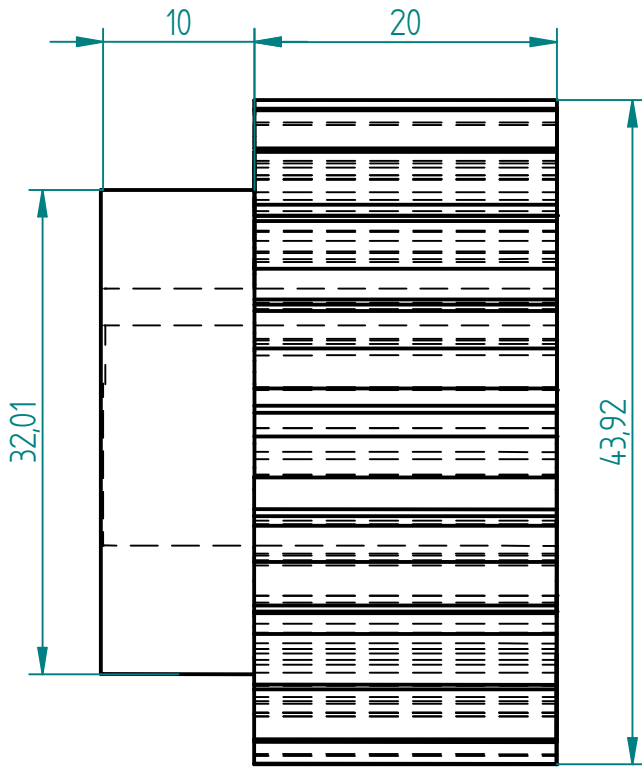
		Nombre	Fecha	Solid Edge ST	
Dibujado		F.Landeira		Siemens PLM Software	
		J.Díez		Título	
Aprobado 1				Capsula Superior	
Aprobado 2				A4	Plano 2
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$					Rev
			Escala	Peso	



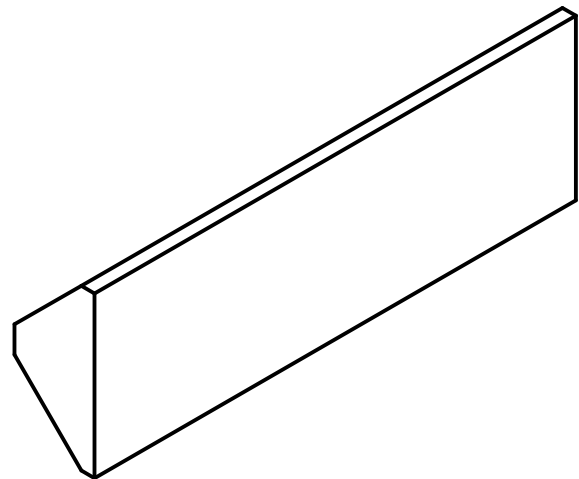
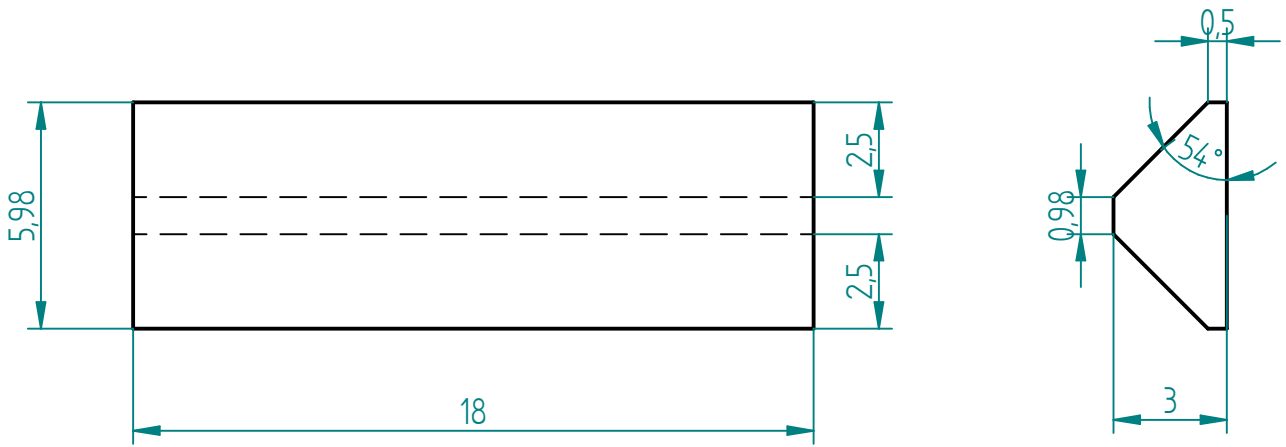
		Nombre	Fecha	Solid Edge ST	
Dibujado	F.Landeira			Siemens PLM Software	
	J.Díez			Título	
Aprobado 1				Eje central	
Aprobado 2				A4	Plano 3
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$				Rev	
Escala		Peso			



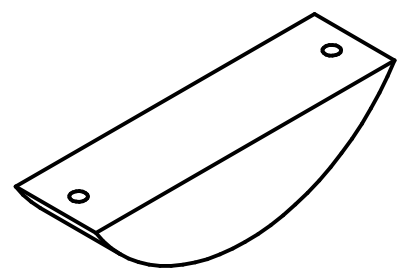
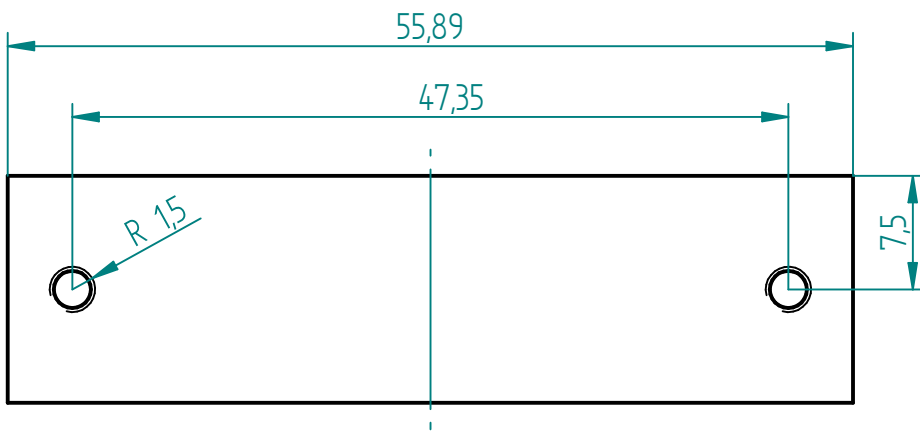
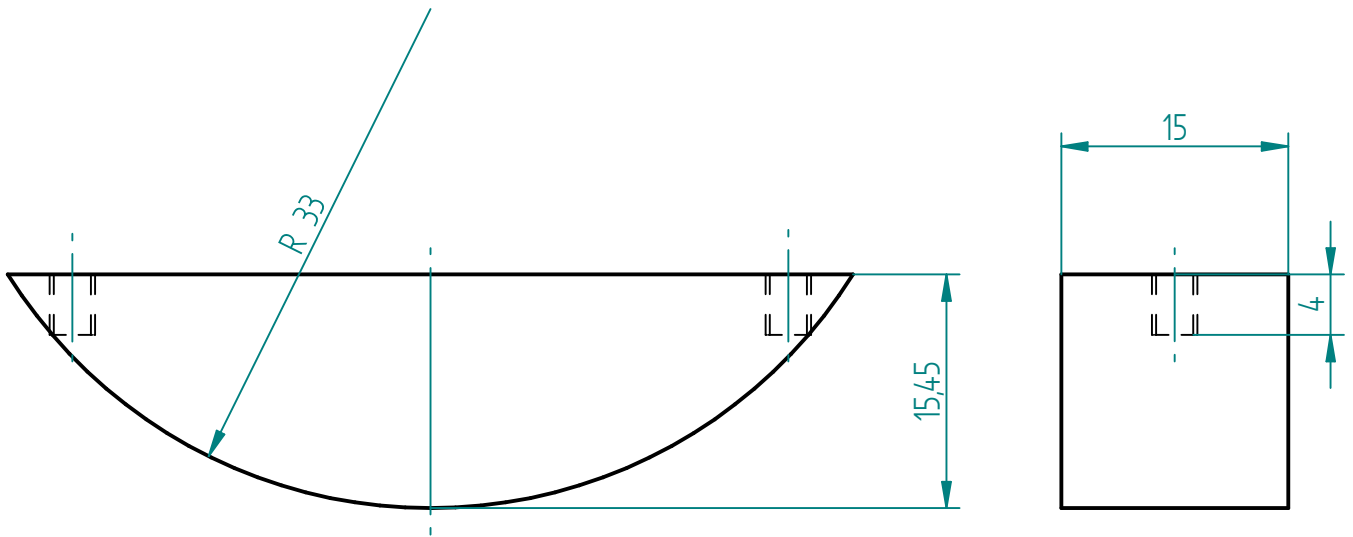
	Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software		
Dibujado	F.Landeira				
	J.Díez		Título		
Aprobado 1			Eje Perno		
Aprobado 2			A4	Plano 4	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$					
			Escala	Peso	



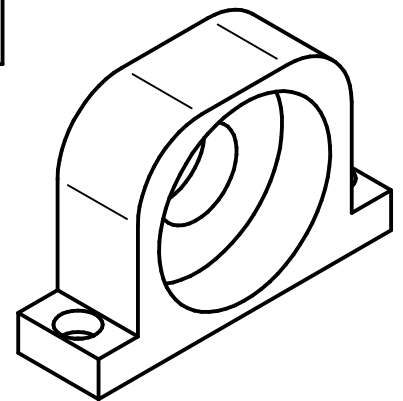
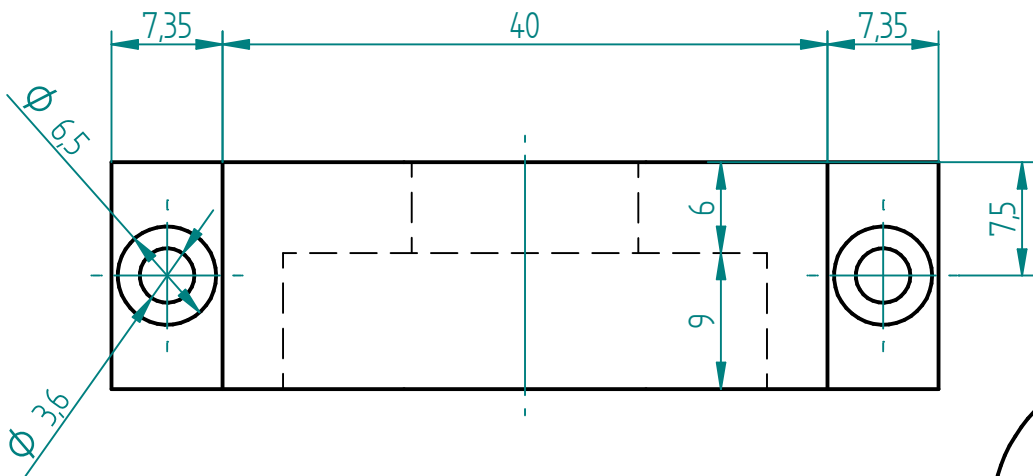
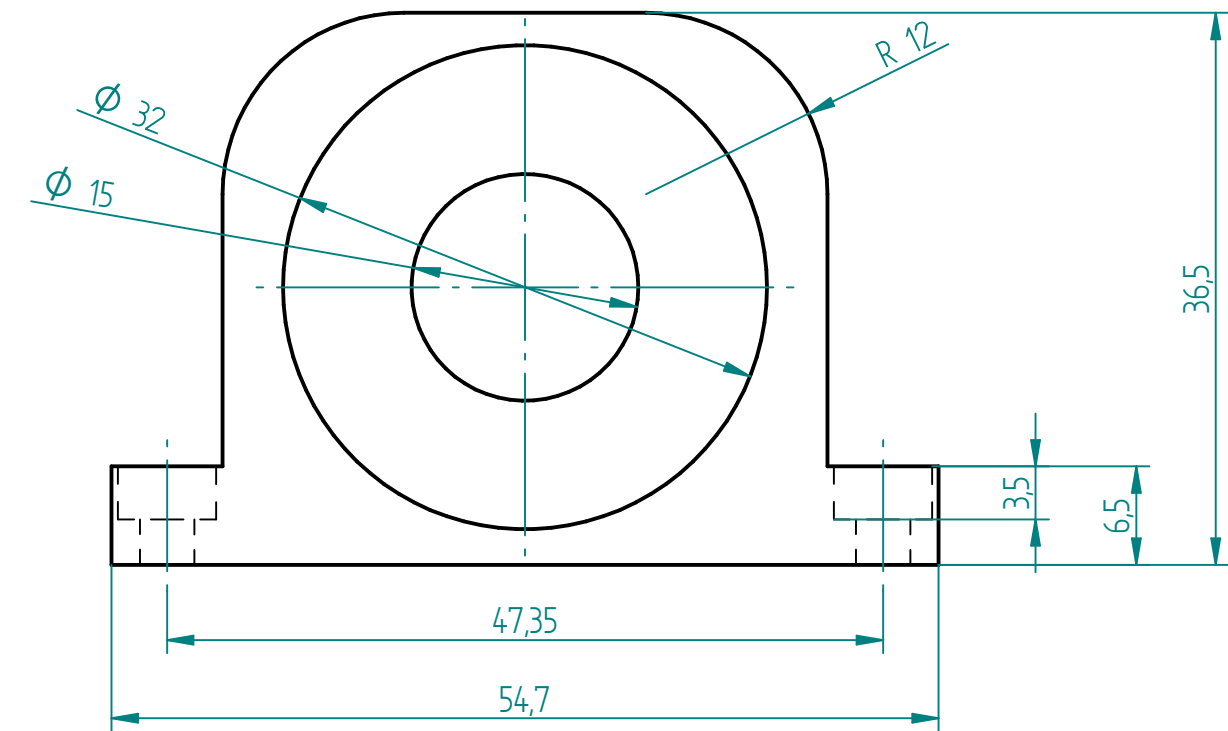
		Nombre	Fecha	Solid Edge ST	
Dibujado		F.Landeira		Siemens PLM Software	
		J.Díez		Título	
Aprobado 1				Engranaje	
Aprobado 2				A4	Plano 5
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$					Rev
Escala		Peso			



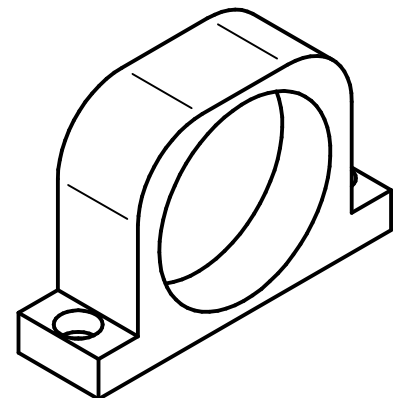
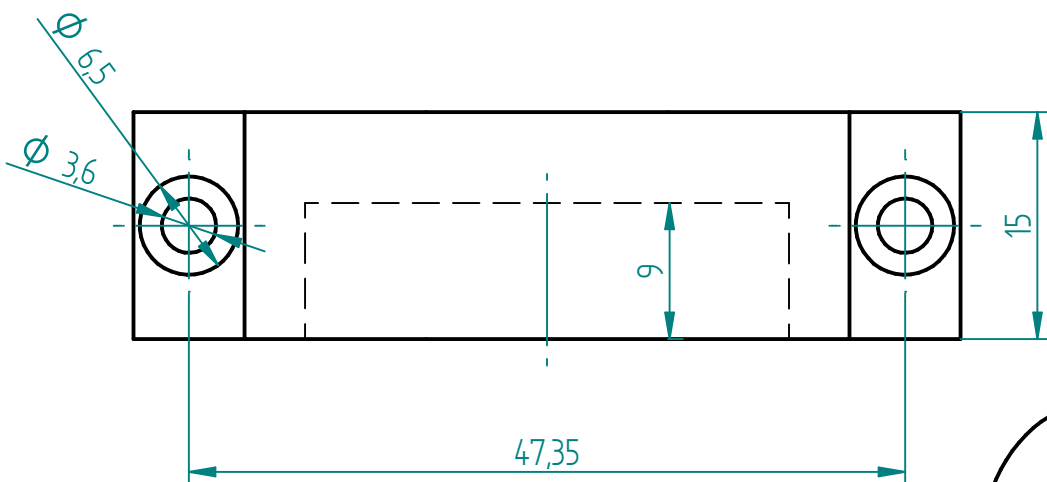
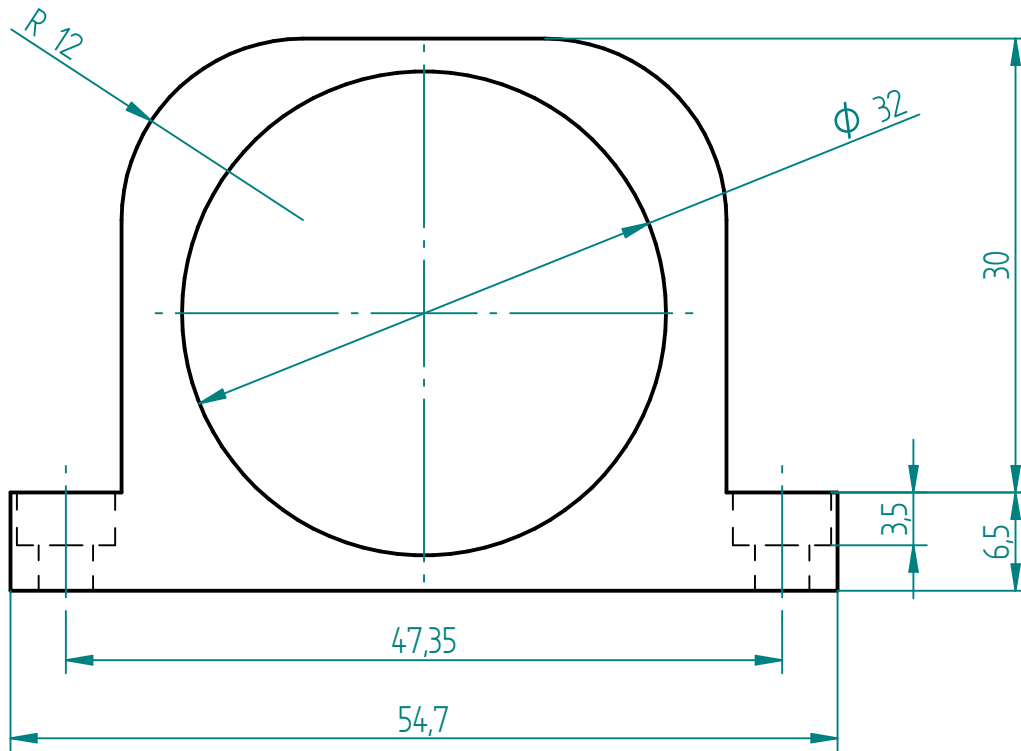
		Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software	
Dibujado		F.Landeira			
		J.Díez			
Aprobado 1				A4 Plano 6 Rev	
Aprobado 2					
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$					
				Escala	Peso



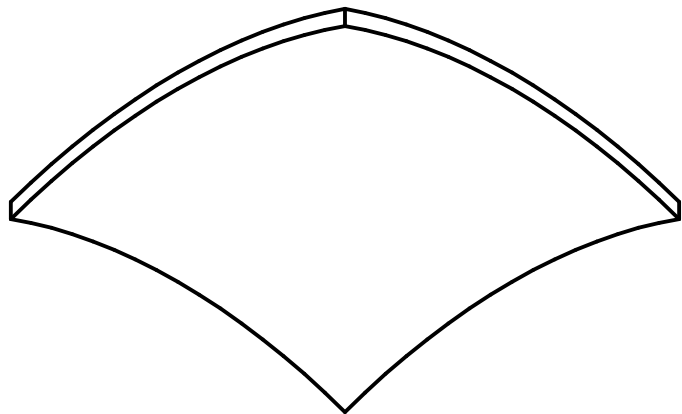
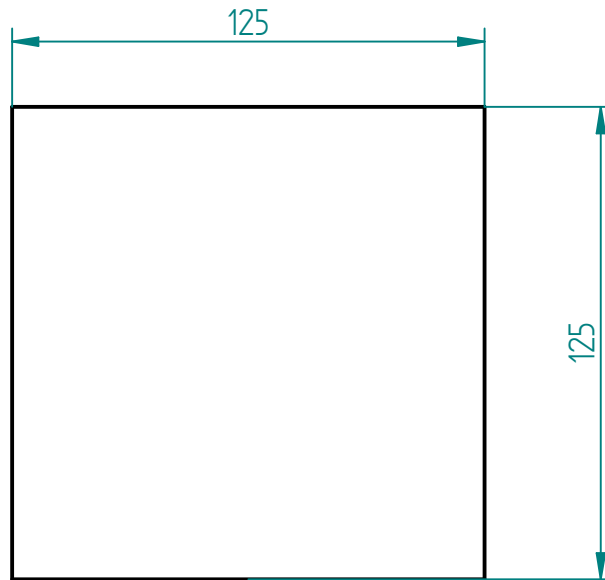
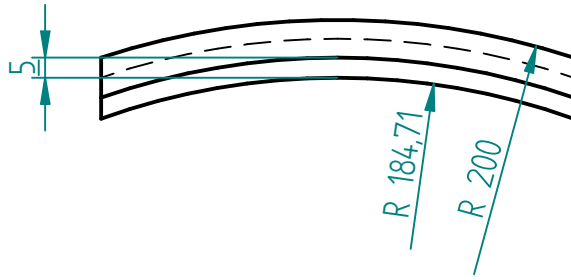
		Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software	
Dibujado		F.Landeira			
		J.Díez			
Aprobado 1					
Aprobado 2				A4 Plano 7 Rev	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$					
				Escala	Peso



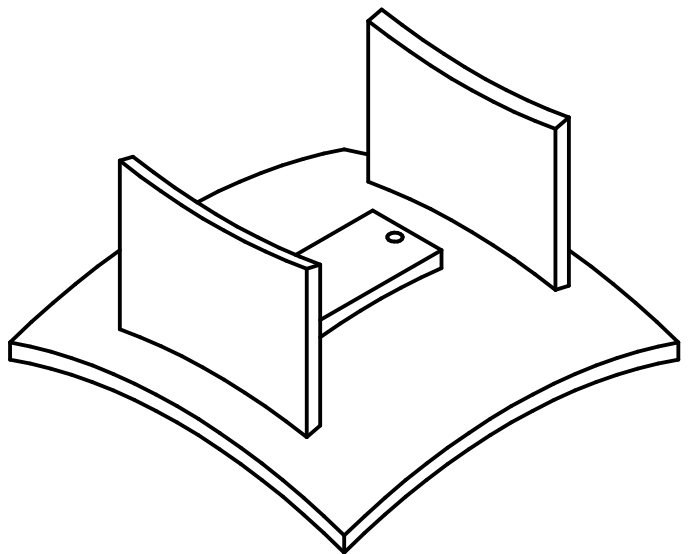
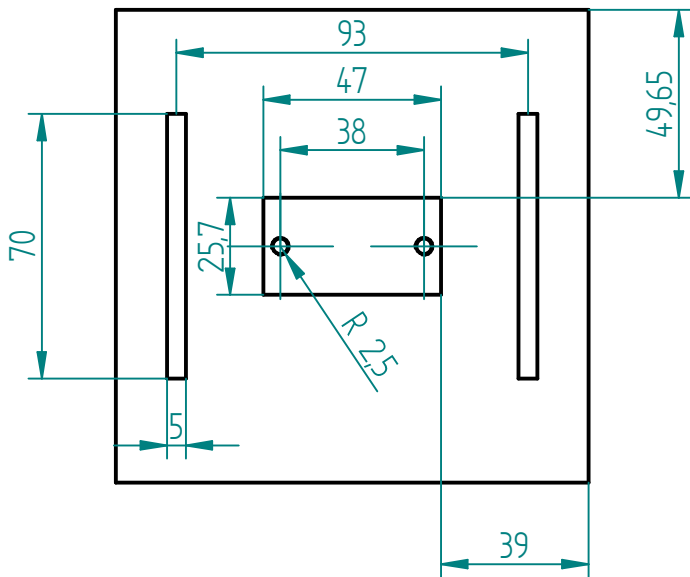
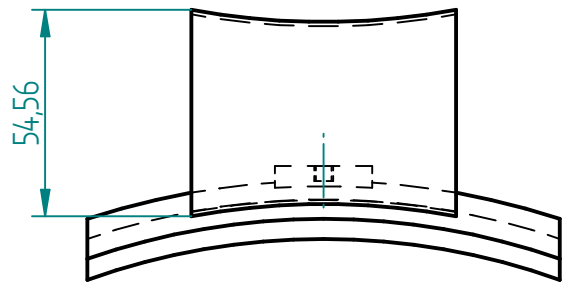
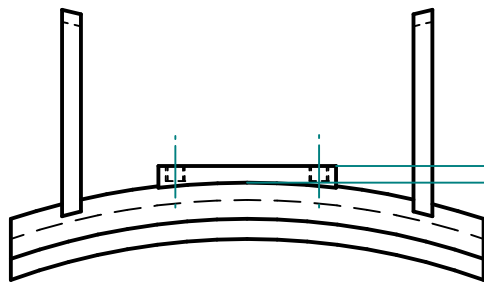
		Nombre	Fecha	Solid Edge ST		
Dibujado	F.Landeira			Siemens PLM Software		
	J.Díez			Título		
Aprobado 1				Soporte Rodamiento 1		
Aprobado 2				A4	Plano 8	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$						
				Escala	Peso	



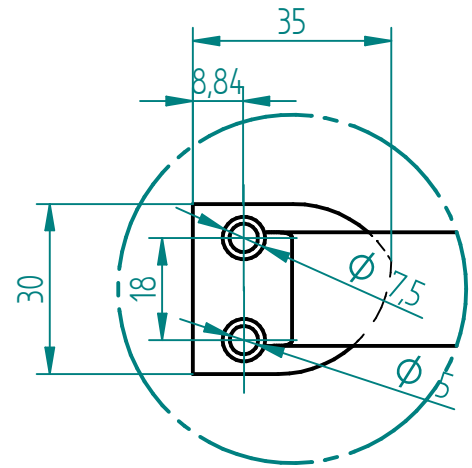
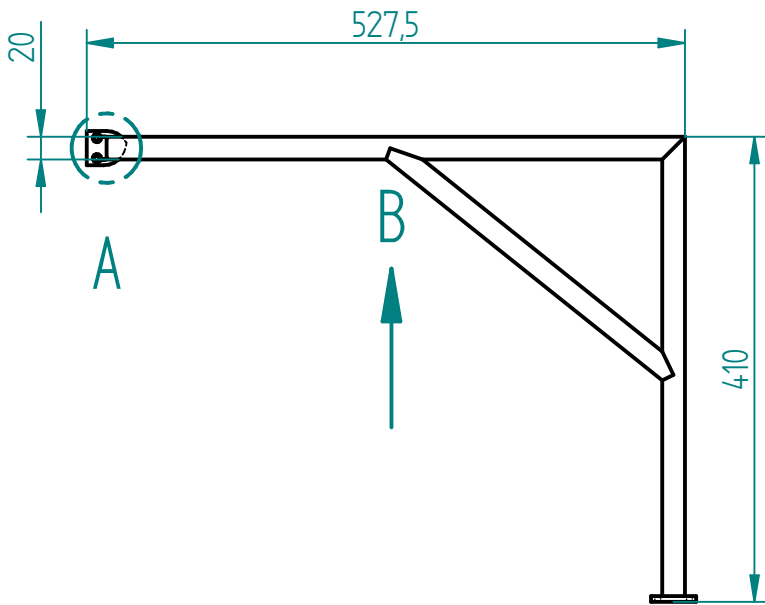
		Nombre	Fecha	Solid Edge ST		
Dibujado	F.Landeira			Siemens PLM Software		
	J.Díez			Título		
Aprobado 1				Soporte rodamiento 2		
Aprobado 2				A4	Plano 9	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$						
				Escala	Peso	



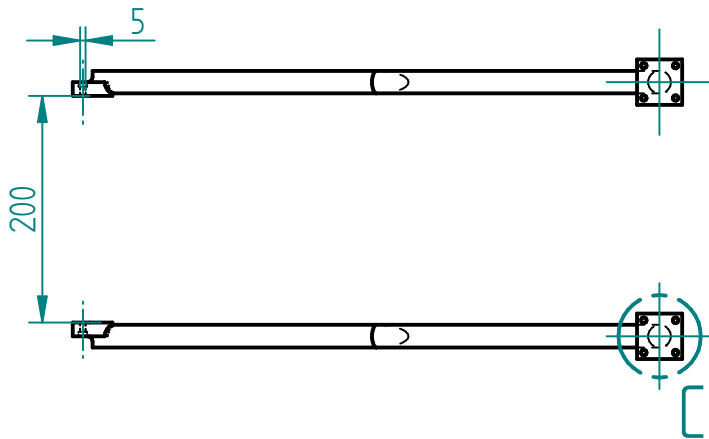
		Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software		
Dibujado	F.Landeira			Título Pala		
	J.Díez					
Aprobado 1				A4 Plano 10 Rev		
Aprobado 2						
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$				Escala		
				Peso		



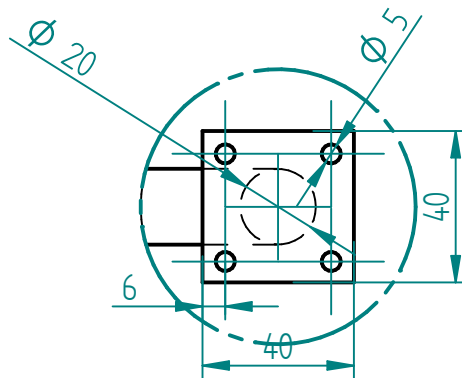
		Nombre	Fecha	Solid Edge ST	
Dibujado	F.Landeira			Siemens PLM Software	
	J.Díez			Título	
Aprobado 1				Pala nervio	
Aprobado 2				A4	Plano 11
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$				Rev	
				Escala	Peso



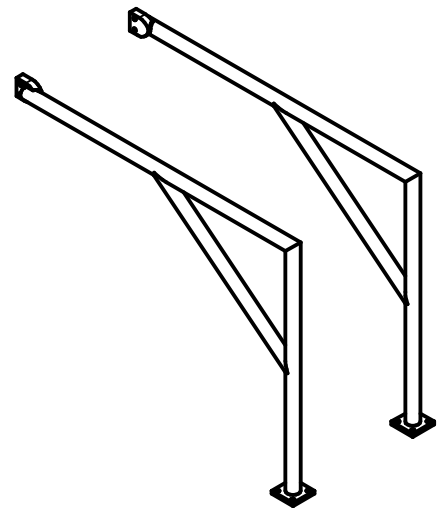
DETALLE A



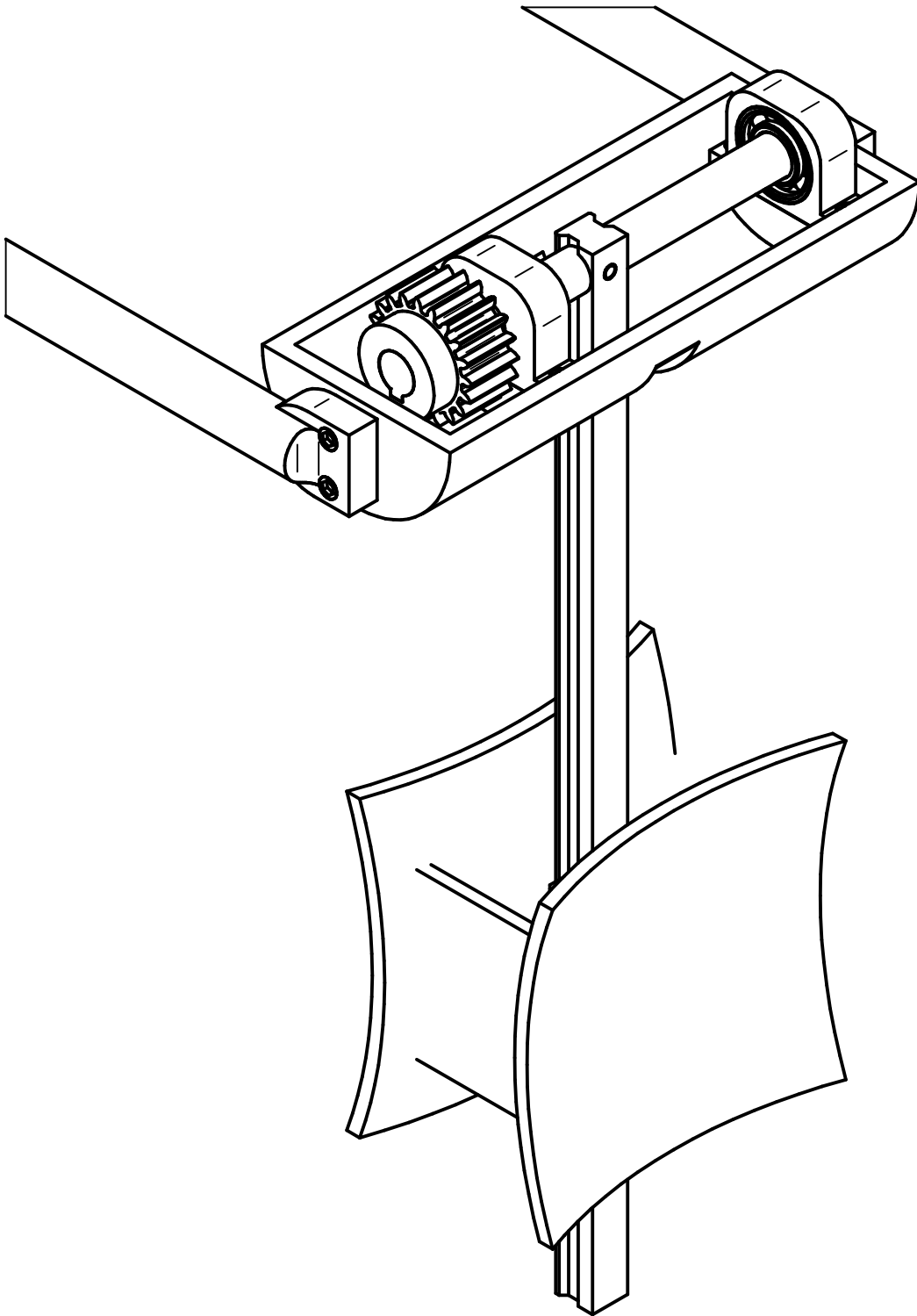
VISTA B



DETALLE C



		Nombre	Fecha	Solid Edge ST	
Dibujado	F.Landeira			Siemens PLM Software	
	J.Díez			Título	
Aprobado 1				Estructura Soporte	
Aprobado 2				A4	Plano 12
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$					Rev
				Escala	Peso



		Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software		
Dibujado		F.Landeira				
		J.Díez		Diseño final		
Aprobado 1						
Aprobado 2				Escala Peso		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$						

8 Impacto ambiental

En la década de los 70, con los primeros encuentros sobre medio ambiente comenzó a verse la necesidad de incorporar la variable ambiental como factor de garantía de progreso sostenible, al detectarse un agravamiento de los problemas sobre el entorno, tanto a nivel global como local. Toda actividad tecnológica produce, en mayor o menor medida, una alteración del medio ambiente. Se conoce como impacto ambiental al efecto que produce la actividad humana sobre el medio ambiente.

La evaluación de impacto ambiental es el conjunto de estudios y análisis técnicos que permiten valorar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto puede causar sobre el medio ambiente. En el caso de las infraestructuras, estos efectos suelen afectar extensas partes de un territorio que tenía usos diferentes.

La evaluación de impacto ambiental de proyectos constituye el instrumento más adecuado para preservar los recursos naturales y defender el medio ambiente. Esta técnica introduce la variable ambiental en la toma de decisiones sobre los proyectos con una incidencia importante en el medio ambiente y se ha manifestado como la forma más eficaz para evitar las agresiones contra la naturaleza.

Nuestro prototipo creemos que no implica un gran impacto ambiental debido a sus dimensiones y por generar energía sin utilizar combustibles. Tiene eficiencia energética y puede favorecer a generar energía limpia.



Figura 49 Impacto ambiental.

9 Visualización del producto final

Una vez todos los componentes ensamblados y ajustados para su funcionamiento quedarían como se muestra en las siguientes figuras.

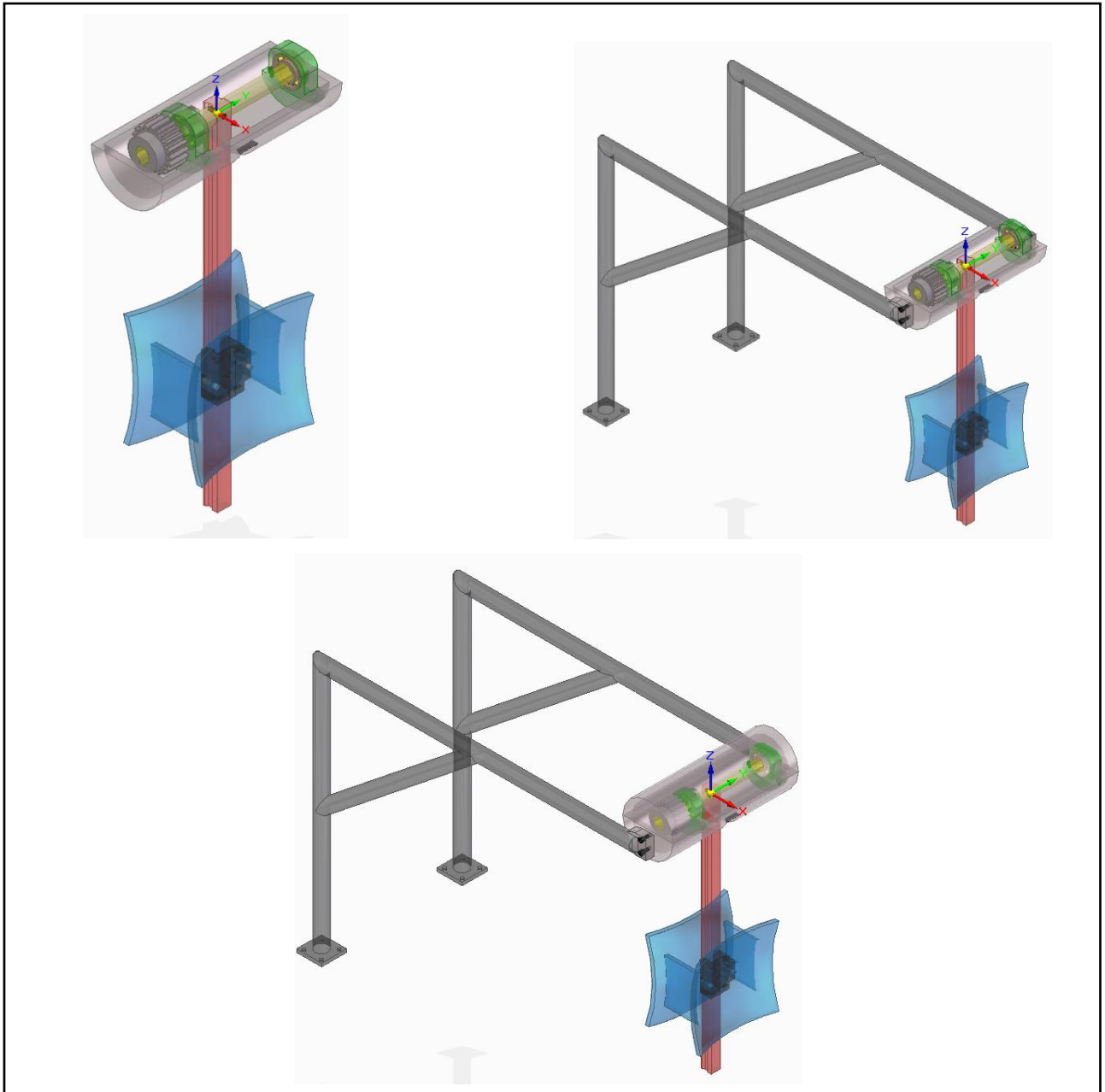
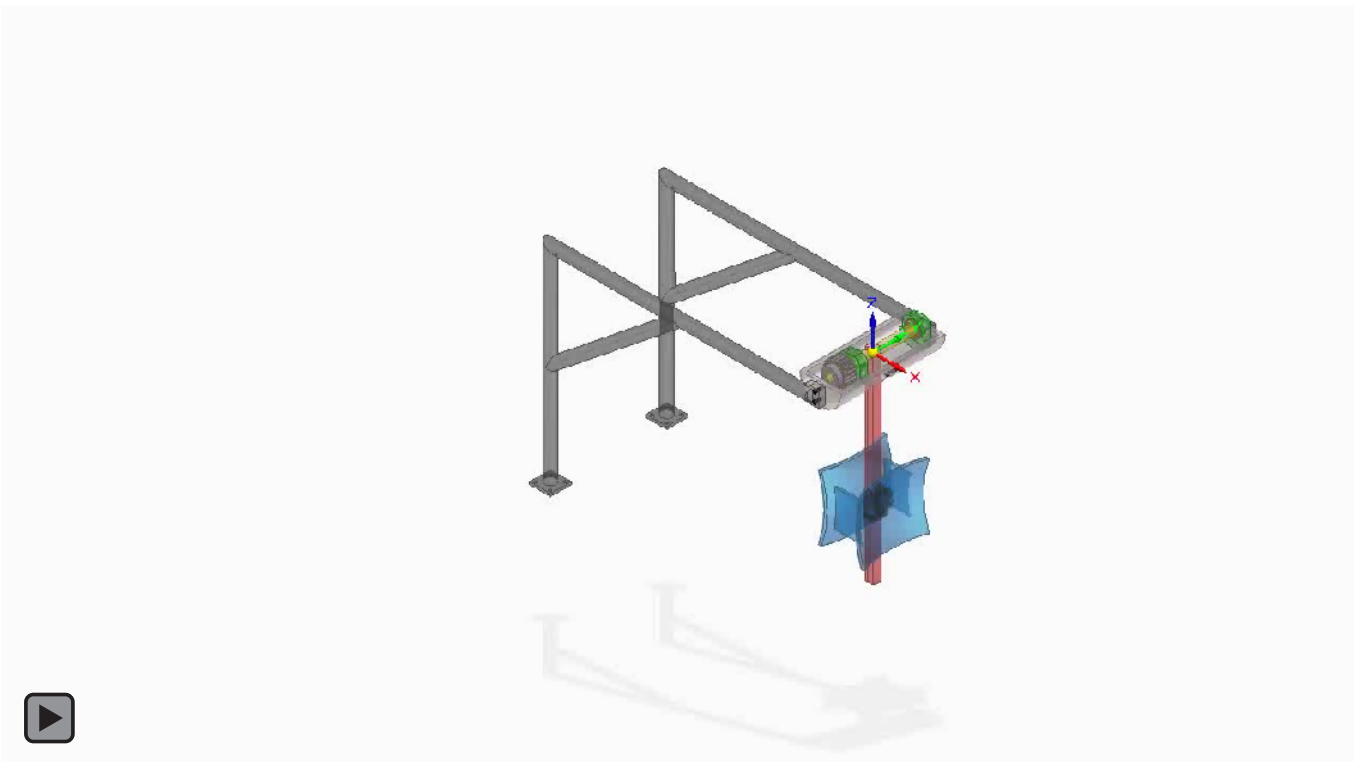
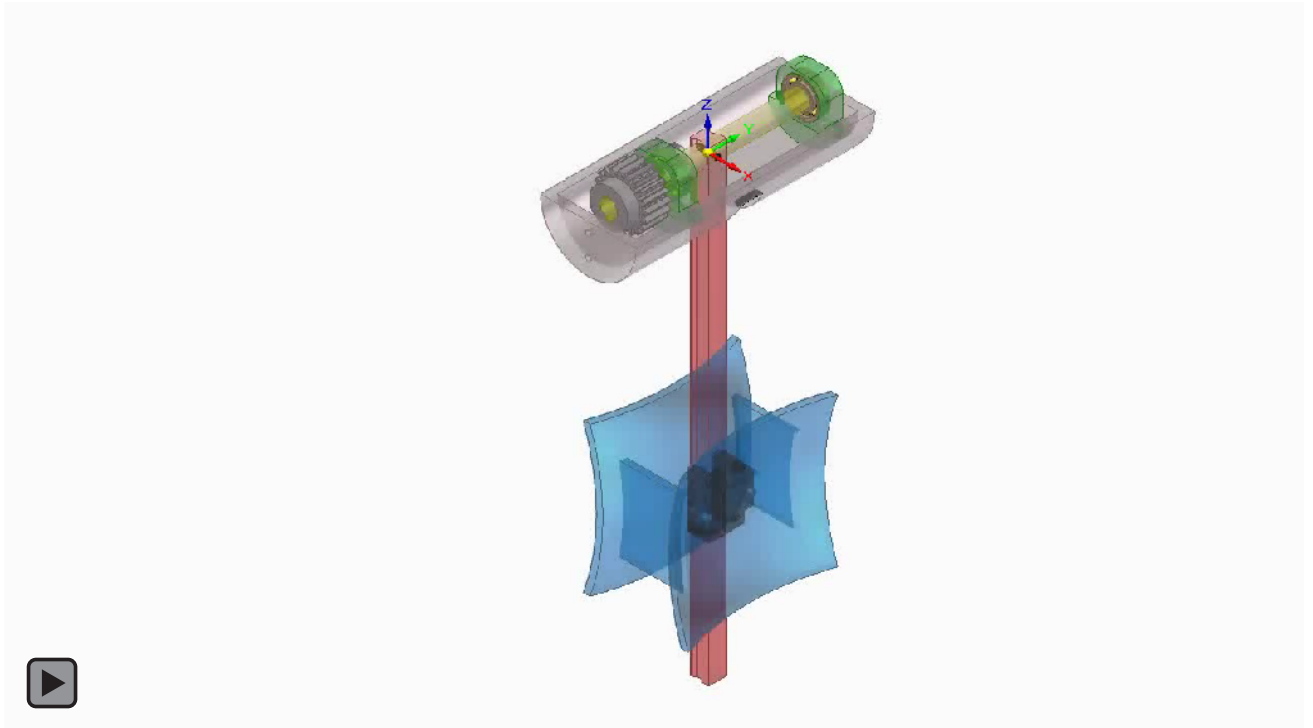


Figura 50 Prototipo final montado.

En la siguiente página, es un **3D**. (Usar el ratón para mover el prototipo y hacer zoom).

Secuencia en video realizada en *Solid Edge ST9* de nuestro prototipo



10 Conclusiones del proyecto

Después de hacer una valoración global de los productos que existen en el mercado actual y analizar la situación geográfica y condiciones atmosféricas del lugar donde se instalara el dispositivo, creemos que podría ser eficiente la instalación de nuestro prototipo para aprovechar la energía perdida de las olas en el espigón.

Es un diseño inicial, con lo cual estamos convencidos que tiene margen de mejora en su desarrollo de los componentes.

Por falta de tiempo no hemos podido fabricar un prototipo a escala reducida para hacer pruebas de funcionamiento en el laboratorio. Nos hubiera gustado hacer esta parte del proyecto. Quizás con más presupuesto y más tiempo se podría haber hecho y desarrollado mejor, para así luego fabricar a escala real e instalarlo en el espigón.

En general, ha sido un proyecto de final de grado bastante interesante para nosotros. Hoy en día, las energías renovables son el futuro, y diseños como este son el inicio para innovar futuros proyectos.

11 Agradecimientos

Queremos agradecer a nuestro director de proyecto, Manuel López Membrilla por el tiempo y la dedicación empleada para asesorarnos en la realización de nuestro proyecto. También agradecerle la información técnica que nos ha ofrecido de su tesis doctoral, nos ha servido de ayuda.

También queremos agradecer muy especialmente a nuestras familias y en particular a nuestros padres por la confianza depositada en nosotros y por la ayuda económica para poder realizar nuestros estudios de grado.

12 Fuentes de información

<http://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/energias-del-mar>

<http://www.lavanguardia.com/natural/20170307/42518054015/olas-fuente-energia.html>

<http://technologic.blogspot.com.es/p/recursos.html>

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_PER_2011-2020_def_93c624ab.pdf

<https://estudiantes.elpais.com/EPE2015/periodico-digital/ver/equipo/776/articulo/la-energia-offshore-una-solucion-para-la-crisis>

<http://blogs.lainformacion.com/futuretech/2011/07/08/asi-funciona-la-primera-planta-planta-de-aprovechamiento-de-olas-de-europa-que-se-inaugura-hoy-en-mutriku-vizcaya/>

<http://www.awsocan.com/archimedes-waveswing.html>

<http://fantoma2012.blogspot.com.es/2011/05/pelamis-la-serpiente-marina-que-genera.html>

https://revista-anales.icaei.es/web/n_14/seccion_8.html

<https://www.blogenergiasostenible.com/que-es-energia-mareomotriz/>

https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_mareomot%C3%A9rica

<http://www.comunidadism.es/actualidad/dos-estudiantes-premiadas-con-el-eurec-awards-2012-al-mejor-proyecto-de-energias-renovables>

<https://ciencia.estudiareneuropa.eu/s/3892/76320-Ciencias-fisicas/4077836-La-energia-de-gradiente-salino-una-opcion-ecologica.htm>

<http://energiasrenovablesmarinas.blogspot.com.es/2017/05/la-energia-del-gradiente-salino.html>

<http://www.neoteo.com/pelamis-la-serpiente-marina-robotica-que/>

<http://www.oceanpowertechnologies.com/powerbuoy-technology/>

http://gabinete.org.ar/Enero_2010/oyster2.htm

http://www.tendencias21.net/Un-nuevo-dispositivo-capta-mas-energia-de-las-olas-que-otros-sistemas-ya-existentes_a2847.html

Estudio y diseño de prototipo para captación de energía de las olas del mar en el espigón de Vilanova i la Geltrú

<http://www.meteo.cat/prediccio/platges/vilanova-i-la-geltru-del-far-de-s-cristofol>

<https://www.eltiempo.es/nautica/vilanova-i-la-geltru-ribes-roges>

<http://tiempoytemperatura.es/playas/barcelona/vilanova-i-la-geltru/el-far-sant-cristofol.html>

<http://www.vilanovaturisme.cat/es/ciutat/Que-Hacer/Mar-y-Playas/Playa-del-Faro-de-Sant-Cristofol>

<https://es.windfinder.com/forecast/vilanova>

<http://meteonav.aemet.es/MeteoNav/>

http://mediambient.gencat.cat/es/05_ambits_dactuacio/avaluacio_ambiental/avaluacio_dimpacte_ambiental_d_e_projectes/

<http://www.skf.com/es/index.html>

13 Anexos

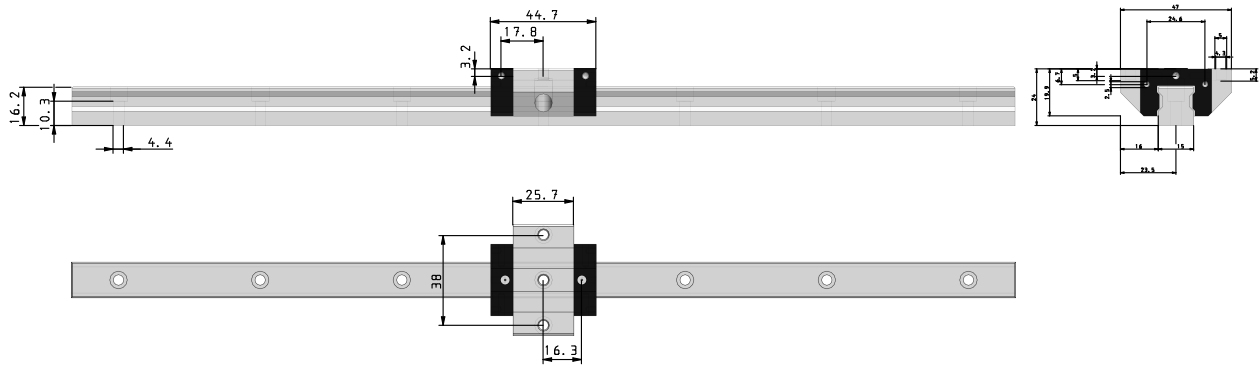
LLRHS15SA1T0-400P5W1E0

LLR - Guías con patines

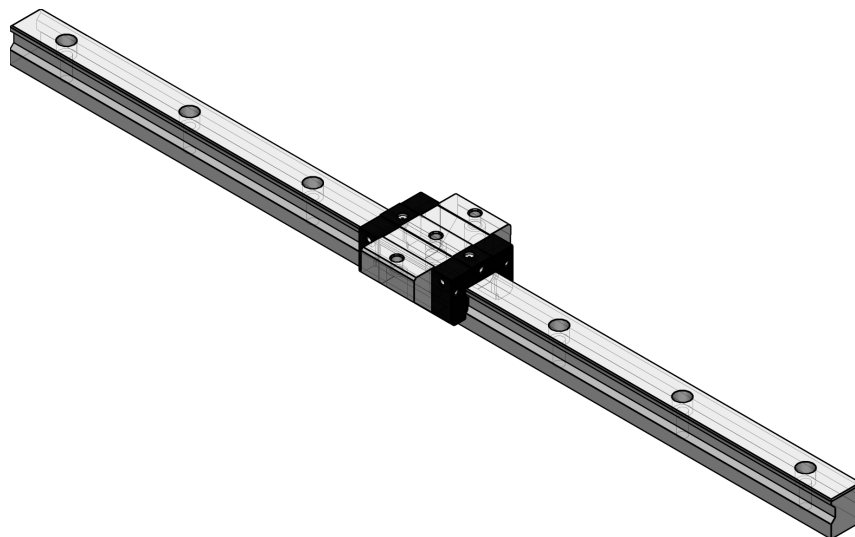
Vista 3D

Interactive 3D graphic, click to activate and rotate

Derivación 2D



Vista ISO

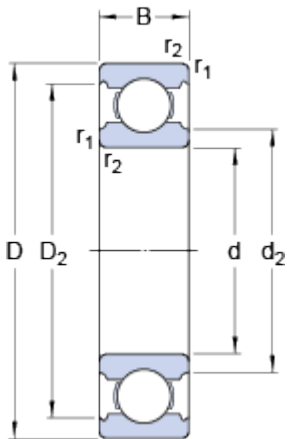


Datos técnicos

Código del producto	Sistema (carro y carril)
Tamaño del carro	15
Tipo de carro	SA - Brida corta, altura estándar
Carro con retención de bolas	No
Cantidad de carros por guía	1
Clase de precarga	T0 - Juego
Longitud del carril (en intervalos de 1 mm)[mm]	400
Nota para longitud de la guía	-
Nota para longitud de la guía	-
Clase de precisión	P5 - Estándar
Cantidad de pistas de guías paralelas	1
Corredora de riel de junta	No
Fuelles	No
Lámina de cubierta	No
E Selección	Simétrico
E (distancia desde el extremo de la guía hasta el centro del primer orificio de fijación)[mm]	20
Recubrimiento	No
Opción de adaptador de lubricación	No
Obturación	Obturación estándar
Ordering key	LLRHS15SA1T0-400P5W1E0

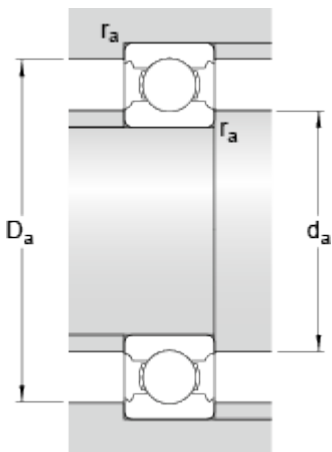
W 6002

Dimensiones



d	15	mm
D	32	mm
B	9	mm
d ₂	18.6	mm
D ₂	29.05	mm
r _{1,2}	min. 0.3	mm

Dimensiones de los resaltes



d _a	min. 17	mm
D _a	max. 30	mm
r _a	max. 0.3	mm

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	4.88	kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	2.8	kN
Carga límite de fatiga	P _u	0.12	kN
Velocidad de referencia		50000	r/min
Velocidad límite		32000	r/min
Factor de cálculo	k _r	0.03	
Factor de cálculo	f ₀	13.9	

Masa

Rodamiento de masa	0.027	kg
--------------------	-------	----

Informe de propiedades físicas Capsula Inferior

densidad= 1385,000000 kg/m³

volumen= 173932,273345 mm³

masa= 0,240896 kg

Área de la superficie= 55022,751995 mm²

Respecto al Sistema de coordenadas global :

Centro de masa :

X= 0,000000 mm

Y= -0,000000 mm

Z= -21,675475 mm

Centro de volumen :

X= 0,000000 mm

Y= -0,000000 mm

Z= -21,675475 mm

Momentos de inercia de la masa :

Ixx= 0,001195 kg-m²

Iyy= 0,000297 kg-m²

Izz= 0,001202 kg-m²

Ixy= 0,000000 kg-m²

Ixz= -0,000000 kg-m²

Iyz= 0,000000 kg-m²

Orientación de ejes principales :

X= 0,000000 0,000000 1,000000

Y= 1,000000 0,000000 0,000000

Z= 0,000000 1,000000 0,000000

Respecto a los ejes principales :

Momentos de inercia principales :

I1= 0,001202 kg-m²

I2= 0,001082 kg-m²

I3= 0,000184 kg-m²

Radios de giro :

Rx= 70,625879 mm

Ry= 67,020189 mm

Rz= 27,646494 mm

Informe de propiedades físicas **Capsula Superior**

densidad= 1385,000000 kg/m³

volumen= 184483,745397 mm³

masa= 0,255510 kg

Área de la superficie= 56587,579582 mm²

Respecto al Sistema de coordenadas global :

Centro de masa :

X= 0,000000 mm

Y= -0,000000 mm

Z= -22,100296 mm

Centro de volumen :

X= 0,000000 mm

Y= -0,000000 mm

Z= -22,100296 mm

Momentos de inercia de la masa :

Ixx= 0,001209 kg-m²

Iyy= 0,000317 kg-m²

Izz= 0,001209 kg-m²

Ixy= 0,000000 kg-m²

Ixz= -0,000000 kg-m²

Iyz= -0,000000 kg-m²

Orientación de ejes principales :

X= 0,000000 0,000000 1,000000

Y= 1,000000 0,000000 0,000000

Z= 0,000000 1,000000 0,000000

Respecto a los ejes principales :

Momentos de inercia principales :

I1= 0,001209 kg-m²

I2= 0,001084 kg-m²

I3= 0,000192 kg-m²

Radios de giro :

Rx= 68,777383 mm

Ry= 65,129912 mm

Rz= 27,426751 mm

Informe de propiedades físicas Eje central

densidad= 1385,000000 kg/m³

volumen= 30132,156652 mm³

masa= 0,041733 kg

Área de la superficie= 8681,208035 mm²

Respecto al Sistema de coordenadas global :

Centro de masa :

X= -0,000000 mm

Y= 84,280611 mm

Z= 0,088166 mm

Centro de volumen :

X= -0,000000 mm

Y= 84,280611 mm

Z= 0,088166 mm

Momentos de inercia de la masa :

Ixx= 0,000399 kg-m²

Iyy= 0,000001 kg-m²

Izz= 0,000399 kg-m²

Ixy= -0,000000 kg-m²

Ixz= 0,000000 kg-m²

Iyz= 0,000000 kg-m²

Orientación de ejes principales :

X= 1,000000 -0,000000 -0,000017

Y= 0,000017 0,002505 0,999997

Z= 0,000000 -0,999997 0,002505

Respecto a los ejes principales :

Momentos de inercia principales :

I1= 0,000103 kg-m²

I2= 0,000103 kg-m²

I3= 0,000001 kg-m²

Radios de giro :

Rx= 49,673833 mm

Ry= 49,665506 mm

Rz= 5,351494 mm

Informe de propiedades físicas **Engranaje**

densidad= 1385,000000 kg/m³

volumen= 26494,539527 mm³

masa= 0,036695 kg

Área de la superficie= 9448,768887 mm²

Respecto al Sistema de coordenadas global :

Centro de masa :

X= -3,571630 mm

Y= -0,000004 mm

Z= -0,099860 mm

Centro de volumen :

X= -3,571630 mm

Y= -0,000004 mm

Z= -0,099860 mm

Momentos de inercia de la masa :

Ixx= 0,000008 kg-m²

Iyy= 0,000007 kg-m²

Izz= 0,000007 kg-m²

Ixy= -0,000000 kg-m²

Ixz= 0,000000 kg-m²

Iyz= -0,000000 kg-m²

Orientación de ejes principales :

X= 0,999990 0,000030 -0,004484

Y= 0,004484 0,000012 0,999990

Z= 0,000030 -1,000000 0,000012

Respecto a los ejes principales :

Momentos de inercia principales :

I1= 0,000008 kg-m²

I2= 0,000006 kg-m²

I3= 0,000006 kg-m²

Radios de giro :

Rx= 14,531270 mm

Ry= 13,210698 mm

Rz= 13,178486 mm

Informe de propiedades físicas Estructura Soporte

densidad= 7750,000000 kg/m³

volumen= 779425,856572 mm³

masa= 6,040550 kg

Área de la superficie= 161276,110869 mm²

Respecto al Sistema de coordenadas global :

Centro de masa :

X= -140,651389 mm

Y= 112,002521 mm

Z= 305,325717 mm

Centro de volumen :

X= -140,651389 mm

Y= 112,002521 mm

Z= 305,325717 mm

Momentos de inercia de la masa :

Ixx= 0,798034 kg-m² Iyy= 0,909459 kg-m²

Izz= 0,414456 kg-m²

Ixy= -0,095156 kg-m² Ixz= -0,326934

kg-m²

Iyz= 0,206569 kg-m²

Orientación de ejes principales :

X= 0,544853 -0,000019 0,838532

Y= -0,000014 1,000000 0,000032

Z= -0,838532 -0,000029 0,544853

Respecto a los ejes principales :

Momentos de inercia principales :

I1= 0,263057 kg-m² I2= 0,226837 kg-m²

I3= 0,115258 kg-m²

Radios de giro :

Rx= 208,682851 mm

Ry= 193,784423 mm

Rz= 138,133016 mm

Informe de propiedades físicas Goma tope

densidad= 1385,000000 kg/m³

volumen= 210,420000 mm³

masa= 0,000291 kg

Área de la superficie= 293,939221 mm²

Respecto al Sistema de coordenadas global :

Centro de masa :

X= 0,000000 mm

Y= 1,143570 mm

Z= 0,000000 mm

Centro de volumen :

X= 0,000000 mm

Y= 1,143570 mm

Z= 0,000000 mm

Momentos de inercia de la masa :

Ixx= 0,000000 kg-m²

Iyy= 0,000000 kg-m²

Izz= 0,000000 kg-m²

Ixy= 0,000000 kg-m²

Ixz= -0,000000 kg-m²

Iyz= 0,000000 kg-m²

Orientación de ejes principales :

X= 0,000000 1,000000 0,000000

Y= 0,000000 0,000000 1,000000

Z= 1,000000 0,000000 0,000000

Respecto a los ejes principales :

Momentos de inercia principales :

I1= 0,000000 kg-m²

I2= 0,000000 kg-m²

I3= 0,000000 kg-m²

Radios de giro :

Rx= 5,375956 mm

Ry= 5,253635 mm

Rz= 1,581640 mm

Informe de propiedades físicas **GUIA**

densidad= 1385,000000 kg/m³

volumen= 83033,400028 mm³

masa= 0,115001 kg

Área de la superficie= 26101,426176 mm²

Respecto al Sistema de coordenadas global :

Centro de masa :

X= 209,722639 mm

Y= 7,862682 mm

Z= 0,000000 mm

Centro de volumen :

X= 209,722639 mm

Y= 7,862682 mm

Z= 0,000000 mm

Momentos de inercia de la masa :

Ixx= 0,000012 kg-m²

Iyy= 0,006452 kg-m²

Izz= 0,006460 kg-m²

Ixy= 0,000190 kg-m²

Ixz= 0,000000 kg-m²

Iyz= 0,000000 kg-m²

Orientación de ejes principales :

X= -0,000000 0,000000 1,000000

Y= 0,000019 1,000000 0,000000

Z= -1,000000 0,000019 -0,000000

Respecto a los ejes principales :

Momentos de inercia principales :

I1= 0,001394 kg-m²

I2= 0,001393 kg-m²

I3= 0,000005 kg-m²

Radios de giro :

Rx= 110,112923 mm

Ry= 110,078137 mm

Rz= 6,284160 mm

Informe de propiedades físicas Pala

densidad= 115,000000 kg/m³

volumen= 120740,738385 mm³

masa= 0,013885 kg

Área de la superficie= 50719,825311 mm²

Respecto al Sistema de coordenadas global :

Centro de masa :

X= -0,000073 mm

Y= 0,000000 mm

Z= 198,925057 mm

Centro de volumen :

X= -0,000073 mm

Y= 0,000000 mm

Z= 198,925057 mm

Momentos de inercia de la masa :

Ixx= 0,000567 kg-m²

Iyy= 0,000574 kg-m²

Izz= 0,000035 kg-m²

Ixy= 0,000000 kg-m²

Ixz= -0,000000 kg-m²

Iyz= 0,000000 kg-m²

Orientación de ejes principales :

X= -0,000001 -0,000000 1,000000

Y= -0,000061 1,000000 0,000000

Z= -1,000000 -0,000061 -0,000001

Respecto a los ejes principales :

Momentos de inercia principales :

I1= 0,000035 kg-m²

I2= 0,000024 kg-m²

I3= 0,000017 kg-m²

Radios de giro :

Rx= 50,190594 mm

Ry= 41,622467 mm

Rz= 35,070995 mm

Informe de propiedades físicas Pala 1

densidad= 115,000000 kg/m³

volumen= 80935,175450 mm³

masa= 0,009308 kg

Área de la superficie= 35061,463786 mm²

Respecto al Sistema de coordenadas global :

Centro de masa :

X= -0,000190 mm

Y= 0,000000 mm

Z= 190,642566 mm

Centro de volumen :

X= -0,000190 mm

Y= 0,000000 mm

Z= 190,642566 mm

Momentos de inercia de la masa :

Ixx= 0,000351 kg-m²

Iyy= 0,000351 kg-m²

Izz= 0,000025 kg-m²

Ixy= 0,000000 kg-m²

Ixz= -0,000000 kg-m²

Iyz= -0,000000 kg-m²

Orientación de ejes principales :

X= -0,000003 0,000000 1,000000

Y= -0,703210 0,710982 -0,000002

Z= -0,710982 -0,703210 -0,000002

Respecto a los ejes principales :

Momentos de inercia principales :

I1= 0,000025 kg-m²

I2= 0,000012 kg-m²

I3= 0,000012 kg-m²

Radios de giro :

Rx= 51,401409 mm

Ry= 36,639145 mm

Rz= 36,637672 mm

Informe de propiedades físicas PATIN

densidad= 1385,000000 kg/m³

volumen= 23862,411242 mm³

masa= 0,033049 kg

Área de la superficie= 8672,157093 mm²

Respecto al Sistema de coordenadas global :

Centro de masa :

X= 12,850001 mm

Y= 11,507877 mm

Z= 0,025453 mm

Centro de volumen :

X= 12,850001 mm

Y= 11,507877 mm

Z= 0,025453 mm

Momentos de inercia de la masa :

Ixx= 0,000010 kg-m²

Iyy= 0,000015 kg-m²

Izz= 0,000016 kg-m²

Ixy= 0,000005 kg-m²

Ixz= 0,000000 kg-m²

Iyz= 0,000000 kg-m²

Orientación de ejes principales :

X= -0,000000 1,000000 -0,000177

Y= 1,000000 0,000000 0,000007

Z= 0,000007 -0,000177 -1,000000

Respecto a los ejes principales :

Momentos de inercia principales :

I1= 0,000010 kg-m²

I2= 0,000006 kg-m²

I3= 0,000006 kg-m²

Radios de giro :

Rx= 17,234267 mm

Ry= 13,565004 mm

Rz= 13,128040 mm

Informe de propiedades físicas Eje Perno

densidad= 1385,000000 kg/m³

volumen= 246,267270 mm³

masa= 0,000341 kg

Área de la superficie= 253,147868 mm²

Respecto al Sistema de coordenadas global :

Centro de masa :

X= 0,000000 mm

Y= 8,100000 mm

Z= 0,000000 mm

Centro de volumen :

X= 0,000000 mm

Y= 8,100000 mm

Z= 0,000000 mm

Momentos de inercia de la masa :

Ixx= 0,000000 kg-m²

Iyy= 0,000000 kg-m²

Izz= 0,000000 kg-m²

Ixy= 0,000000 kg-m²

Ixz= 0,000000 kg-m²

Iyz= 0,000000 kg-m²

Orientación de ejes principales :

X= 0,000000 0,000000 1,000000

Y= 1,000000 0,000000 0,000000

Z= 0,000000 1,000000 0,000000

Respecto a los ejes principales :

Momentos de inercia principales :

I1= 0,000000 kg-m²

I2= 0,000000 kg-m²

I3= 0,000000 kg-m²

Radios de giro :

Rx= 4,803059 mm

Ry= 4,803059 mm

Rz= 1,555457 mm

Informe de propiedades físicas Rodamiento

volumen= 3558,245 mm³

masa= 0,005 kg

Masa de cantidad del usuario= 0,005 kg

Respecto al sistema de coordenadas Global.

Centro de masa:

X= 4,50 mm

Y= 0,00 mm

Z= 0,00 mm

Centro de volumen:

X= 4,50 mm

Y= 0,00 mm

Z= 0,00 mm

Momentos de inercia de la masa:

Ixx= 0,000 kg-m²

Iyy= 0,000 kg-m²

Izz= 0,000 kg-m²

Ixy= 0,000 kg-m²

Ixz= 0,000 kg-m²

Iyz= 0,000 kg-m²

Orientación de ejes principales:

1= 1,000 0,000 0,000

2= 0,000 0,000 1,000

3= 0,000 -1,000 0,000

Respecto a los ejes principales

Momentos de inercia principales:

I1= 0,000 kg-m²

I2= 0,000 kg-m²

I3= 0,000 kg-m²

Radios de giro:

K1= 12,82 mm

K2= 9,40 mm

K3= 9,40 mm

Informe de propiedades físicas Soporte Rodamiento 2-2

densidad= 1385,000000 kg/m³

volumen= 9103,516410 mm³

masa= 0,012608 kg

Área de la superficie= 3118,957845 mm²

Respecto al Sistema de coordenadas global :

Centro de masa :

X= -1,277316 mm

Y= 7,500000 mm

Z= -24,681310 mm

Centro de volumen :

X= -1,277316 mm

Y= 7,500000 mm

Z= -24,681310 mm

Momentos de inercia de la masa :

Ixx= 0,000009 kg-m²

Iyy= 0,000010 kg-m²

Izz= 0,000003 kg-m²

Ixy= -0,000000 kg-m²

Ixz= 0,000000 kg-m²

Iyz= -0,000002 kg-m²

Orientación de ejes principales :

X= 0,000000 0,000000 1,000000

Y= 0,000000 1,000000 0,000000

Z= -1,000000 -0,000000 -0,000000

Respecto a los ejes principales :

Momentos de inercia principales :

I1= 0,000002 kg-m²

I2= 0,000002 kg-m²

I3= 0,000000 kg-m²

Radios de giro :

Rx= 13,589746 mm

Ry= 13,504551 mm

Rz= 5,945170 mm

Informe de propiedades físicas Soporte Rodamiento 1

densidad= 1385,000000 kg/m³

volumen= 14874,586524 mm³

masa= 0,020601 kg

Área de la superficie= 6643,840530 mm²

Respecto al Sistema de coordenadas global :

Centro de masa :

X= 0,000000 mm

Y= 8,959852 mm

Z= 19,568106 mm

Centro de volumen :

X= 0,000000 mm

Y= 8,959852 mm

Z= 19,568106 mm

Momentos de inercia de la masa :

Ixx= 0,000013 kg-m²

Iyy= 0,000014 kg-m²

Izz= 0,000006 kg-m²

Ixy= 0,000000 kg-m²

Ixz= 0,000000 kg-m²

Iyz= 0,000004 kg-m²

Orientación de ejes principales :

X= 0,000000 0,999559 -0,029699

Y= 0,000000 0,029699 0,999559

Z= 1,000000 0,000000 0,000000

Respecto a los ejes principales :

Momentos de inercia principales :

I1= 0,000007 kg-m²

I2= 0,000004 kg-m²

I3= 0,000003 kg-m²

Radios de giro :

Rx= 17,880751 mm

Ry= 14,415307 mm

Rz= 12,187312 mm

Informe de propiedades físicas Soporte Rodamiento 2

densidad= 1385,000000 kg/m³

volumen= 13814,299003 mm³

masa= 0,019133 kg

Área de la superficie= 6573,154696 mm²

Respecto al Sistema de coordenadas global :

Centro de masa :

X= 0,000000 mm

Y= 8,726511 mm

Z= 19,393423 mm

Centro de volumen :

X= 0,000000 mm

Y= 8,726511 mm

Z= 19,393423 mm

Momentos de inercia de la masa :

Ixx= 0,000012 kg-m²

Iyy= 0,000014 kg-m²

Izz= 0,000006 kg-m²

Ixy= 0,000000 kg-m²

Ixz= 0,000000 kg-m²

Iyz= 0,000003 kg-m²

Orientación de ejes principales :

X= 0,000000 0,999686 -0,025069

Y= 0,000000 0,025069 0,999686

Z= 1,000000 0,000000 0,000000

Respecto a los ejes principales :

Momentos de inercia principales :

I1= 0,000007 kg-m²

I2= 0,000004 kg-m²

I3= 0,000003 kg-m²

Radios de giro :

Rx= 18,483591 mm

Ry= 14,889859 mm

Rz= 12,547080 mm

ESCALAS DE VIENTO Y OLEAJE

Para expresar los valores del viento en el medio marino, se utiliza la Escala Anemométrica de BEAUFORT y para definir el estado de la mar de viento se hace mediante la escala DOUGLAS

Escala de viento Beaufort

Cifra	Nombre	Velocidad en			Efectos del viento en alta mar
		nudos	metros/seg.	>km/h	
0	calma	1	0 - 0,2	1	Mar como un espejo
1	ventolina	1 - 3	0,3 - 1,5	1 - 5	Rizos como escamas de pescado pero sin espuma.
2	flojito	4 - 6	1,6 - 3,3	6 - 11	Pequeñas olas, crestas de apariencia vítrea, sin romperse
3	flojo	7 - 10	3,4 - 5,4	12 - 19	Pequeñas olas, crestas rompientes, espuma de aspecto vítreo aislados vellones de espuma
4	bonancible-moderado	11 - 16	5,5 - 7,9	20 - 28	Pequeñas olas creciendo, cabrilleo numeroso y frecuente de las olas
5	fresquito	17 - 21	8,0 - 10,7	29 - 38	Olas medianas alargadas, cabrilleo (con salpicaduras)
6	fresco	22 - 27	10,8 - 13,8	39 - 49	Se forman olas grandes, crestas de espuma blanca (salpicaduras frecuentes)
7	frescachón	28 - 33	13,9 - 17,1	50 - 61	El mar crece; la espuma blanca que proviene de las olas es arrastrada por el viento
8	temporal	34 - 40	17,2 - 20,7	62 - 74	Olas de altura media y mas alargadas, del borde superior de sus crestas comienzan a destacarse torbellinos de salpicaduras
9	temporal fuerte	41 - 47	20,8 - 24,4	75 - 88	Grandes olas, espesas estelas de espuma a lo largo del viento, las crestas de las olas se rompen en rollos, las salpicaduras pueden reducir la visibilidad
10	temporal duro	48 - 55	24,5 - 28,4	89 - 102	Olas muy grandes con largas crestas en penachos, la espuma se aglomera en grandes bancos y es llevada por el viento en espesas estelas blancas en conjunto la superficie esta blanca, la visibilidad esta reducida
11	temporal muy duro	56 - 63	28,5 - 32,6	103 - 117	Olas de altura excepcional, (pueden perderse de vista tras ellas barcos de tonelaje pequeño y medio), mar cubierta de espuma, la visibilidad esta reducida
12	temporal huracanado	más de 64	más de 32,7	más de 118	Aire lleno de espuma, salpicaduras, mar cubierto de espuma visibilidad muy reducida

Escala Douglas del estado de la mar de viento

Cifrado	Nombre	Altura en metros
0	Calma o llana	0
1	Rizada	0 a 0,1
2	Marejadilla	0,1 a 0,5
3	Marejada	0,5 a 1,25
4	Fuerte Marejada	1,25 a 2,5
5	Gruesa	2,5 a 4
6	Muy Gruesa	4 a 6
7	Arbolada	6 a 9
8	Montañosa	9 a 14
9	Enorme	Más de 14

Young's modulus, shear modulus, bulk modulus and Poisson's ratio

Definition and measurement.

Drilling down: the origins of moduli.

Further reading.

Definition and measurement. Figure 1 shows a typical tensile stress-strain curve. The initial part, up to the yield strength σ_y or elastic limit σ_{el} , defined under *Yield strength (elastic limit)*, is linear (Hooke's law), and it is elastic, meaning that the strain is recoverable – the material returns to its original shape when the stress is removed. Stresses above the elastic limit cause permanent deformation or fracture (see notes for [Yield strength \(elastic limit\)](#) and [Fracture toughness](#)).

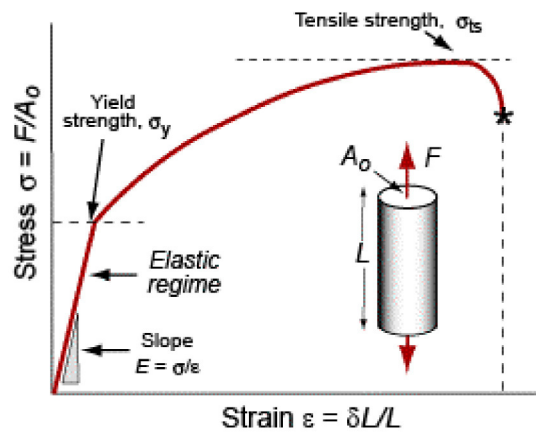


Figure 1. A tensile stress-strain curve.

Within the linear elastic regime, strain is proportional to stress, but stress can be applied in more than one way (Figure 2). The tensile stress σ produces a proportional tensile strain ϵ :

$$\sigma = E \epsilon$$

and the same is true in compression. The constant of proportionality, E , is called Young's modulus. Similarly, a shear stress σ_s causes a proportional shear strain γ

$$\sigma_s = G \gamma$$

and a pressure p results in a proportional fractional volume change (or "dilatation") Δ :

$$p = K \Delta$$

where G is the shear modulus and K the bulk modulus. All three of these moduli have the same dimensions as stress, that of force per unit area (N/m^2 or Pa). It is convenient to use a larger unit, that of 10^9 Pa, Giga-Pascals, or GPa.

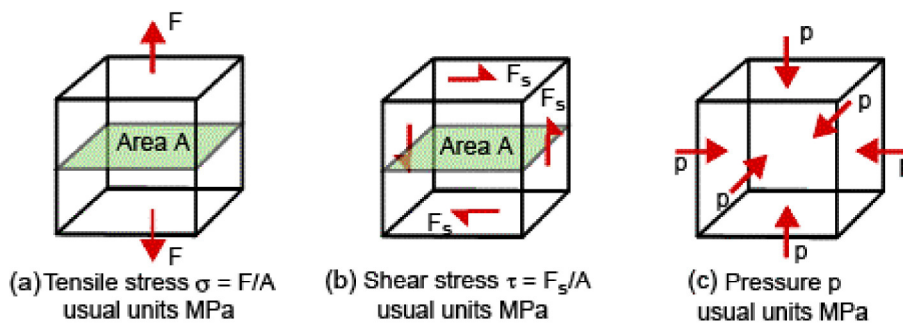


Figure 2. (a) Tensile stress. (b) Shear stress. (c) Hydrostatic pressure.

Young's modulus, the shear modulus, and the bulk modulus are related, but to relate them we need one more quantity, Poisson's ratio. When stretched in one direction, a material generally contracts in the other two directions. Poisson's ratio, ν , is the negative of the ratio of the lateral or transverse strain, ϵ_{tr} , to the axial strain, ϵ , in tensile loading:

$$\nu = -\frac{\epsilon_{\text{tr}}}{\epsilon}$$

You might think that the way to measure the elastic modulus of a material would be to apply a small stress (to be sure to remain in the linear-elastic region of the stress-strain curve), measure the strain, and divide one by the other. In reality, moduli measured as slopes of stress-strain curves are inaccurate, often by a factor of 2 or more, because of contributions to the strain from material creep or deflection of the test machine. Accurate moduli are measured dynamically: by exciting the natural vibrations of a beam or wire, or by measuring the velocity of longitudinal or shear sound waves in the material.

[Top](#)

Drilling down: the origins of moduli. Atoms bond together, some weakly, some strongly. If they bind strongly enough they form solids; the stronger the bond, the higher is the melting point of the solid. Think of the bonds as little springs (Figure 3). The atoms have an equilibrium spacing a_0 ; a force F pulls them apart a little, to $a_0 + \delta$, but when it is released they jump back to their original spacing. The same happens in compression because the energy of the bond increases no matter in which direction the force is applied, as the lower part of the figure suggests. The bond energy is a minimum at the equilibrium spacing. A spring that stretches by δ under a force F has a stiffness, S , defined by

$$S = \frac{F}{\delta}$$

and this is the same in compression as in tension.

Table 1 lists the stiffnesses of the different bond types; these stiffnesses largely determine the value of the modulus, E . The covalent bond is particularly stiff ($S = 20\text{--}200$ N/m); diamond, for instance, has a very high modulus because the carbon atom is small (giving a high bond density) and its atoms are linked by the stiffest springs ($S = 200$ N/m). The metallic bond is a little less stiff ($S = 15\text{--}100$ N/m) and metal atoms are often close-packed, giving metals high moduli too, though not as high as that of diamond. Ionic bonds, found in many ceramics, have stiffnesses comparable with those of metals, giving them, also, high moduli. Polymers contain both strong diamond-like covalent bonds along the polymer chain and weak hydrogen or Van-der-Waals bonds ($S = 0.5\text{--}2$ N/m) between the chains; it is the weak bonds that stretch when the polymer is deformed, giving them low

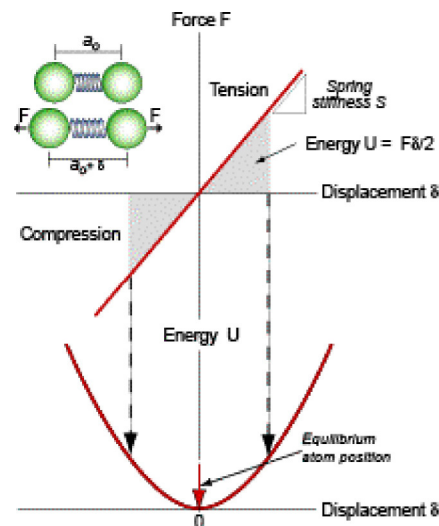


Figure 3. Stretching or compressing an atomic bond raises its energy. Its resistance to stretch is its stiffness, S .

moduli.

When a force F is applied to a pair of atoms, they stretch apart by δ . A force F applied to an atom corresponds to a stress $\sigma = F/a_0^2$ where a_0 is the atom spacing. A stretch δ between two atoms separated by a_0 corresponds to a strain $\epsilon = \delta/a_0$. Substituting these into the last equation gives

$$\sigma = \frac{S}{a_0} \epsilon$$

Table 1 Bond stiffnesses, S

Bond type	Examples	Bond Stiffness S (N/m)	Young's Modulus E (GPa)
Covalent	Carbon-carbon bond	50 – 180	200 – 1000
Metallic	All metals	15 – 75	60 – 300
Ionic	Alumina, Al ₂ O ₃	8 – 24	32 – 96
Hydrogen bond	Polyethylene	6 – 3	2 – 12
Van der Waals	Waxes	0.5 - 1	1 - 4

Comparing this with the definition of Young's modulus reveals that E is roughly

$$E = \frac{S}{a_0}$$

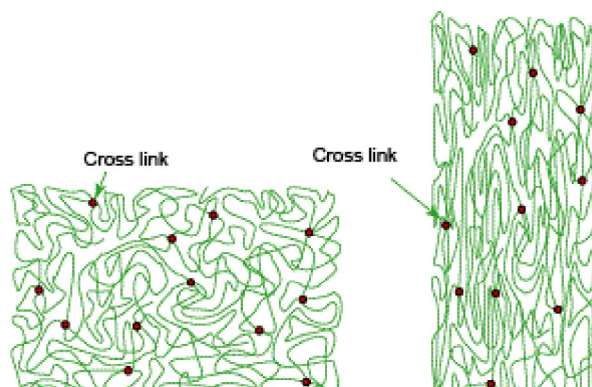
The largest atoms ($a_0 = 4 \times 10^{-10}$ m) bonded with the weakest bonds ($S = 0.5$ N/m) will have a modulus of roughly

$$E = \frac{0.5}{4 \times 10^{-10}} \approx 1 \text{ GPa}$$

This is the *lower limit* for true solids and many polymers do have moduli of about this value; metals and ceramics have values 50–1000 times larger because, as Table 1 shows, their bonds are stiffer.

One class of materials – elastomers (rubber) – have moduli that are much less than 1 GPa. An elastomer is a tangle of long-chain molecules with occasional cross-links, as in Figure 4 (a), as explained in [Density and atom packing](#). The bonds between the molecules, apart from the cross-links, are weak – so weak that, at room temperature, they have melted. We describe this by saying that the glass temperature T_g of the elastomer – the temperature at which the bonds first start to melt – is below room temperature. Segments are free to slide over each other, and were it not for the cross-links, the material would have no stiffness at all.

Temperature favors randomness. That is why crystals melt into disordered fluids at their melting point. The tangle of Figure 4 (a) has high randomness, or expressed in the terms of thermodynamics, its *entropy* is high. Stretching it, as at (b), aligns the molecules – some parts of it now begin to resemble the crystallites shown in the notes on [Density and atom](#)



packing. Crystals are ordered, the opposite of randomness; their entropy is low. The effect of temperature is to try to restore disorder, making the material try to revert to a random tangle, and the cross-links give it a “memory” of the disordered shape it had to start with. So there is a resistance to stretching – a stiffness – that has nothing to do with bond-stretching, but with strain-induced ordering. A full theory is complicated – it involves the statistical mechanics of long-chain tangles – so it is not easy to calculate the value of the modulus. The main thing to know is that the moduli of elastomers are low because they have this strange origin and that they increase with temperature (because of the increasing tendency to randomness), whereas those of true solids decrease (because of thermal expansion).

[Top](#)

Further reading.

Author	Title	Chapter
Ashby et al	Materials: Engineering, Science, Processing and Design	4, 5
Ashby & Jones	Engineering Materials Vol 1 & 2	Vol. 1, Chap. 3, 6, 7
Askeland & Wright	The Science and Engineering of Materials	6
Budinski	Engineering Materials: Properties and Selection	2
Callister & Rethwisch	Materials Science and Engineering: An Introduction	6
Callister & Rethwisch	Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach	7
Callister & Rethwisch	Materials Science and Engineering	8
Shackelford	Introduction to Materials Science for Engineers	6

Further reference details

[Top](#)

Copyright © 2017, [Granta Design](#), Cambridge, UK

Density and atom packing

Definition and measurement.

Drilling down: what determines the density?

Atom packing.

Further reading.

Definition and measurement. Density is mass per unit volume. It is measured in kg/m^3 . The density of a sample with a regular shape can be determined using precision mass balances and accurate measurements of the dimensions (to give the volume), but this is not the best way. Better is the “double weighing” method: the sample is weighed in air and when fully immersed in a liquid of known density. When immersed, it feels an upwards force equal to the weight of liquid it displaces (Archimedes’ principle); the density is then calculated as shown in Figure 1.

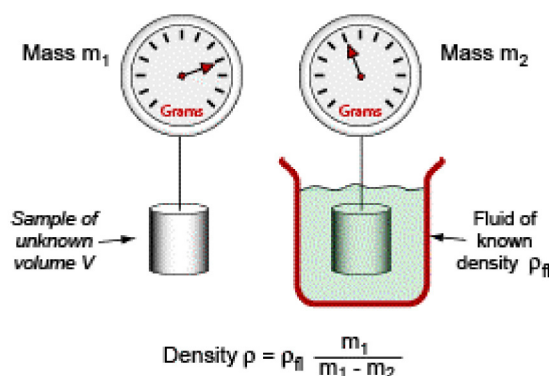


Figure 1. Measuring density by Archimedes’ method.

Top

Drilling down: what determines the density? Atoms differ greatly in weight but little in size. Among solids, the heaviest stable atom, uranium (atomic weight 238), is about 35 times heavier than the lightest, lithium (atomic weight 6.9), yet when packed to form solids their diameters are almost exactly the same (0.32 nm). The largest atom, cesium, is only 2.5 times larger than the smallest, beryllium. Thus the density is mainly determined by the atomic weight, not the atom size, and is influenced to a lesser degree by the way in which atoms are packed. Metals are dense because they are made of heavy atoms, packed densely together. Polymers have low densities because they are largely made of light carbon (atomic weight: 12) and hydrogen (atomic weight: 1) atoms in low-density amorphous or semi-crystalline packings. Ceramics, for the most part, have lower densities than metals because they contain light O, N, C, or Si atoms. Even the lightest atoms, packed in the most open way, give solids with a density of around 1000 kg/m^3 - the same as that of water. Materials with lower densities than this are foams – materials made up of cells containing a large fraction of pore space. Atom packing, then, is important.

Top

Atom packing. The balls on a billiard table, when set, are arranged as a close-packed layer, as in Figure 2(a). The atoms of many metals pack in this way, forming layers that are far more extensive. There is no way to pack atoms more closely than this, so this particular arrangement is called “close packed”. Atomic structures are close packed not just in 2 dimensions but in 3. Surprisingly, there are two ways to do this. The depressions where three atoms meet in the first layer, layer A, allow the closest nesting for a second layer, B. A third layer can be added such that its atoms are exactly above those in the first layer, so that it, too, is in the A orientation, and the sequence repeated to give a crystal with ABABAB...stacking, as in Figure 2 (b); it is called *close packed hexagonal*, or *cph* (or sometimes *hcp*) for short.

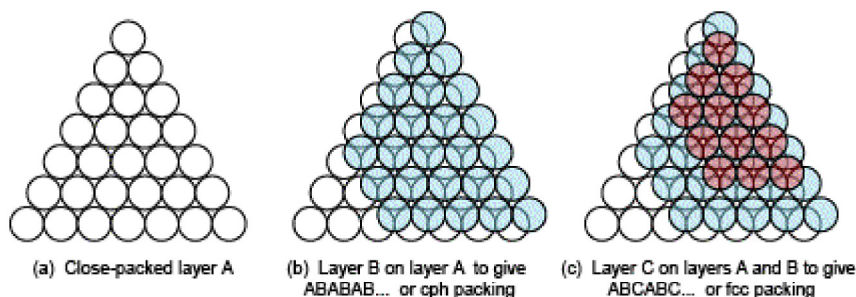


Figure 2 (a) A close-packed layer of spheres, layer A; atoms often behave as if spherical. (b) A second layer, B, nesting in the first; repeating this sequence gives ABAB... or cph stacking. (c) A third layer, C, can be nested so that it does not lie above A or B; if repeated this gives ABCABC... or fcc stacking.

There is also an alternative. In placing the second layer, layer B, there are two choices of position. If the third layer, C, is nested onto B so that it lies in the alternative position, the stacking becomes (on repeating) ABCABCABC...as shown at (c) in the figure; it is called *face-centered cubic* or *fcc* for short. Many metals, such as copper, silver, aluminum, and nickel, have the fcc structure; many others, such as magnesium, zinc, and titanium have the cph structure. The two alternative structures have exactly the same packing fraction, 0.74, meaning that the spheres occupy 74% of the available space.

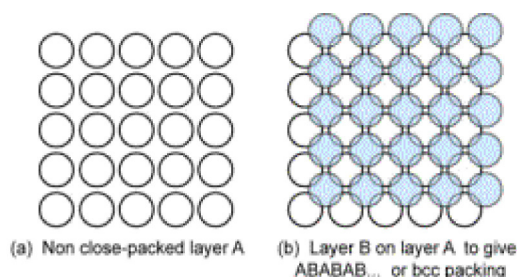


Figure 3 (a) A square grid of spheres; it is a less efficient packing than that of the previous figure. (b) A second layer, B, nesting in the first, A; repeating this sequence gives ABAB... packing. If the sphere spacing is adjusted so that the grey spheres lie on the corners of a cube, the result is the non-close-packed bcc structure.

Not all structures are close packed. Figure 3 shows one of these, made by stacking square-packed layers with a lower packing density than the hexagonal layers of the fcc and hcp structures. An ABABAB... stacking of these layers builds the *body-centered cubic* structure, *bcc* for short, with a packing fraction of 0.68. Iron and most steels have this structure. There are many other crystal

structures, each with their arrangement of atoms in the single layers and stacking sequence.

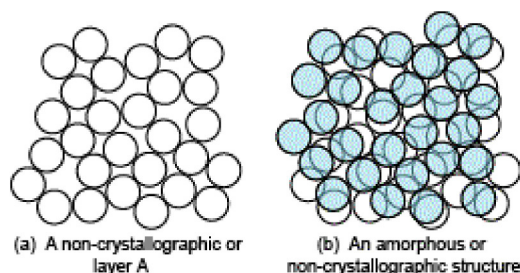


Figure 4 (a) An irregular arrangement of spheres. (b) Extending this in 3 dimensions gives a random or amorphous structure.

Any regular packing of atoms that repeats itself is called a crystal. It is possible to pack atoms in a non-crystallographic way to give what is called an *amorphous* structure, sketched in Figure 4. As you might guess, this is not an efficient way to fill space with spheres: the packing fraction at best is 0.64.

The crystalline state is the lowest energy state for elements and compounds. Melting disrupts the crystallinity, scrambling the atoms and destroying the regular order. On cooling through the melting point most metals crystallize, though by cooling them exceedingly fast it is sometimes possible to trap the molten structure to give an amorphous metallic "glass". With compounds it is easier to do this, and with one in particular, silica – SiO_2 – crystallization is so sluggish that its usual state is the amorphous one. Figure 5 shows, on the left, the atom arrangement in crystalline silica: identical hexagonal Si-O rings, regularly arranged. On the right is the more usual amorphous state. Now some rings have 7 sides, some have 6, some 5, and there is no order – the next ring could be any one of these.

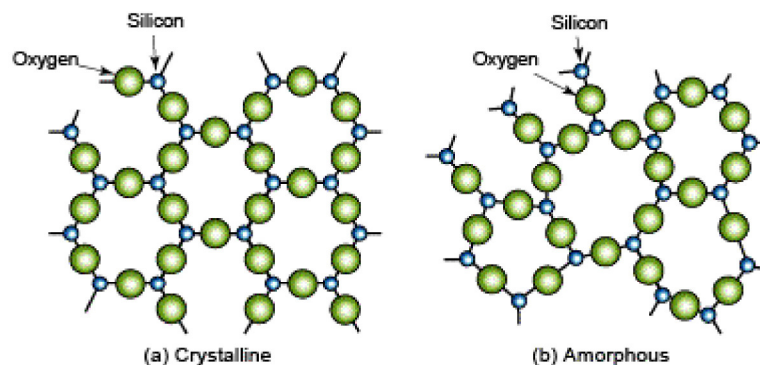


Figure 5. Two alternative structures for silica, the basis of most glasses. (a) Crystalline silica. (b) Glassy or amorphous silica.

Polymer structures are quite different. The backbone of a “high” polymer (“high” means high molecular weight) is a long chain of carbon atoms, to which side groups are attached. Figure 6 shows a segment of the simplest: polyethylene, PE, $(-CH_2-)_n$. The chains bond together to form solids. The resulting structure is sketched in Figure 7(a): a dense spaghetti-like tangle of molecules with no order or crystallinity; it is amorphous. This is the structure of *thermoplastics*; the weak bonds melt easily, allowing the polymer to be molded, retaining its new shape on cooling. *Elastomers*

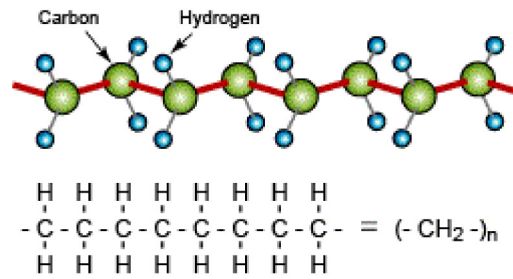


Figure 6 Polymer chains have a carbon-carbon backbone (red links) with hydrogen or other side groups. The figure shows three alternative representations of the polyethylene molecule.

(rubbery polymers) have chains that have occasional cross-links to other chains, as in Figure 7(b). *Thermosets* like epoxies and phenolics have many cross-links, as at (c), making them stiffer and stronger than thermoplastics. The cross-links are not broken by heating, so once the links have formed thermosets cannot be thermally molded or (for that reason) recycled. All these structures are amorphous. The weak bonds of thermoplastics do, however, try to line molecules up giving ordered regions called *crystallites*; as shown at (d).

See also [Young's modulus](#).

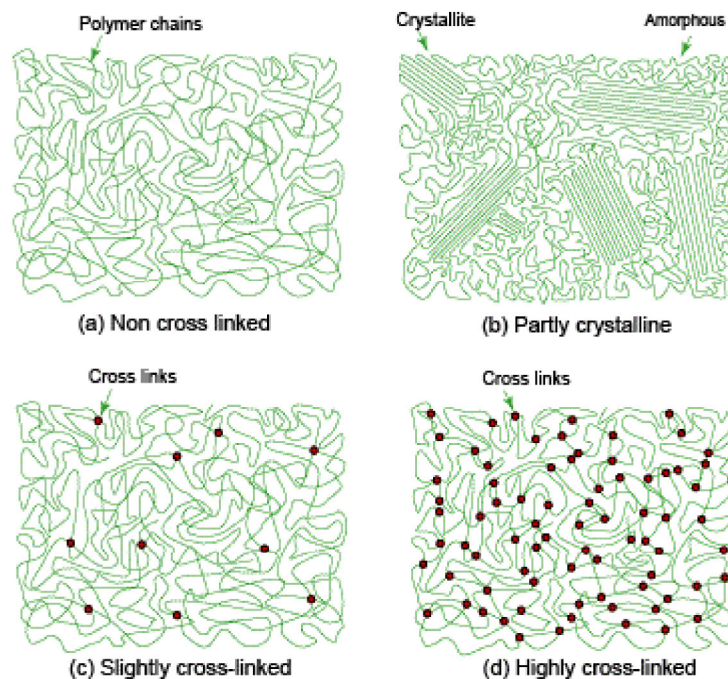


Figure 7 (a) Chains in polymers like polypropylene form spaghetti-like tangles with no regular repeating pattern – that structure is amorphous or “glassy”. (b) Some polymers have the ability to form regions in which the chains line up and register, giving crystalline patches. The sketch shows a partly crystalline polymer structure. (c) Elastomers have occasional cross-links between chains, but these are far apart, allowing the chains between them to stretch. (d) Heavily cross-linked polymers like epoxy inhibit chain sliding.

[Top](#)

Further reading.

Author	Title	Chapter
Ashby et al	Materials: Engineering, Science, Processing and Design	4
Ashby & Jones	Engineering Materials Vol 1 & 2	Vol. 1, Chap. 5
Askeland & Wright	The Science and Engineering of Materials	3
Budinski	Engineering Materials: Properties and Selection	2
Callister & Rethwisch	Materials Science and Engineering: An Introduction	3, 12
Callister & Rethwisch	Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach	3, 5
Callister & Rethwisch	Materials Science and Engineering	3, 4
Shackelford	Introduction to Materials Science for Engineers	3

[Further reference details](#)**[Top](#)**

Copyright © 2017, [Granta Design](#), Cambridge, UK

Eco properties: recycling and disposal

End of life options.

Recycling and downcycling.

Further reading.

End of life options. Materials have a life-cycle. They are extracted and refined, manufactured into products, used, and at end of first life, rejected as “waste”. But what is waste to some markets is a resource to others, creating a number of alternative channels down which the materials continue to flow. Figure 1 introduces the options: commit to landfill, combust for heat recovery, recycle (or downcycle), re-engineer (refurbish or recondition) and reuse. They are not easy to quantify – the last two (re-engineer, re-use) in particular, depend on the nature of the relative cost of goods and labor and on standard of living. One – recycling – can be analyzed, at least approximately. The database contains data for the energy and carbon footprint of recycling and for the fraction of recycled material entering current supply.

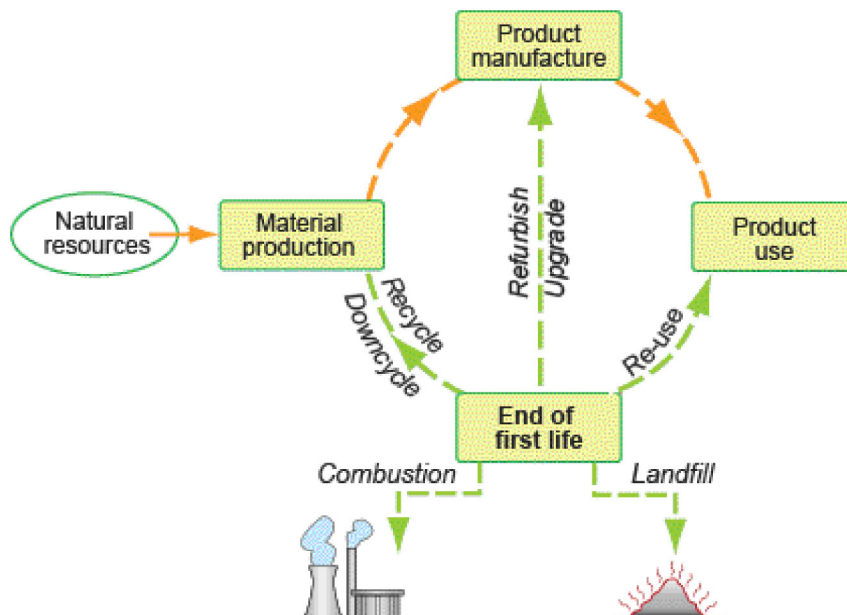


Figure 1. The material life-cycle with, superimposed, the end-of-life options.

Top

Recycling and downcycling. There are two sorts of *scrap*, by which we mean “material with recycle-potential”. *In-house scrap* is the off-cuts, bits and ends left in a material production facility or manufacturing plant when the usable material or product is shipped out. Almost 100% of in-house scrap is recycled, meaning that it goes back into the primary production loop.

Once a material is released into the outside world the picture changes. It has been processed to make parts that may be small; it has been assembled into products that may contain many other materials; it has been painted, printed or plated; and its subsequent use contaminates it further. To reuse it, it must be collected (not always easy), identified, separated from other materials, decontaminated, chopped and processed and more (Figure 1 and 2). Collection is labor-intensive,

and this makes it expensive. Imperfect separation causes problems: even a little copper or tin damages the properties of steel; residual iron embrittles aluminum; heavy metals (lead, cadmium, mercury) are unacceptable in many alloys; dyes, water and almost any alien plastic renders a polymer unacceptable for its original purpose, meaning that it can only be used in less demanding applications (a fate known as *downcycling*).

Despite these difficulties, recycling can be economic, both in cash and energy terms. This is particularly so for metals: the *recycle energy* for aluminum is about one tenth of that for the production of virgin material; that for steel is about one third – and the associated CO₂ is correspondingly reduced. Some inevitable contamination is countered by dilution with virgin material.

The picture for plastics is less rosy. The results of the input/output analyses give the energies required to recycle polymers – the values listed in the database are derived from such analyses. These data suggest that recycling can offer an energy saving. But is it economic? Time, in manufacture, is money. Collection, inspection, separation, drying and the other steps listed in Figure 2 take time, and every minute adds \$ to the recycling cost. Further, the quality of recycled materials – particularly polymers – is less good than the original, limiting their use and reducing their market value to about half of that of virgin material

The consequences of this are brought out by Figure 3. It shows the current *recycle fraction* of commodity metals and plastics. The recycle fraction is the fraction of current supply that derives from recycling. For metals it is high: most of the lead, and almost half steel and aluminum we use today has been used at least once before. For plastics the only small success is PET with a recycle fraction of about 18%, but for the rest the contribution is tiny, for many, zero.

That leaves a lot of scrap that, for economic reasons, cannot be recycled or down-cycled. Its accumulation creates many problems, so disposing of it as *landfill* is a last (and increasingly expensive) resort. Where possible energy is recovered from non-recyclable waste by *controlled combustion* ("controlled" to minimize toxic emissions). Increasingly, efforts are made to develop *biodegradable polymers* (Level 2 of the CES Edu database has records for several of these), particularly for use as disposable packaging. But these, too, have their problems: they biodegrade slowly in a natural environment open to oxygen and water, but land-fill sites are anaerobic, inhibiting bio-activity, and there the materials do not biodegrade.

Plastics recycling plant

1. Inspection
2. Chopping
3. Washing
4. Flotation-separation
5. Drying
6. Melting
7. Filtration
8. Pelletizing
9. Packaging
10. Plant heating, lighting

Figure 2. The energy consuming steps in producing a recycled polymer. Similar steps enter the recycling of other materials.

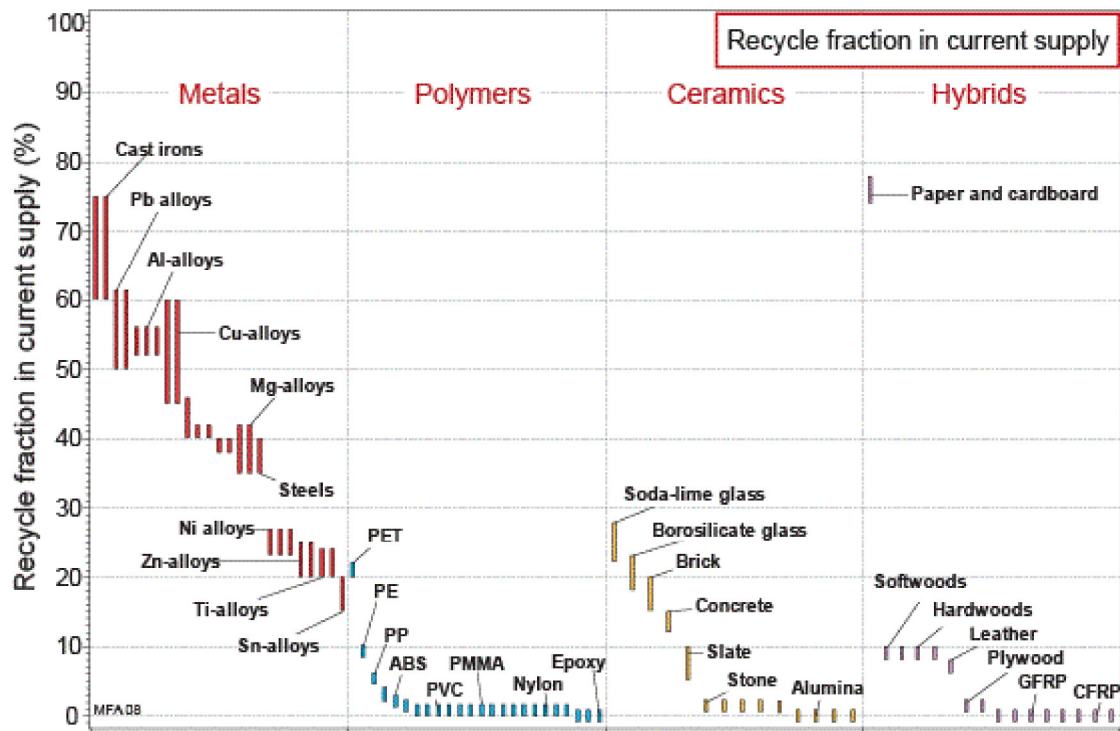


Figure 3. The fractional contribution of recycled material to current consumption. For metals, the contribution is large; for polymers, small (2005/06 data).

[Top](#)

Further reading.

Author	Title	Chapter
Ashby	Materials and the Environment	4
Ashby et al	Materials: Engineering, Science, Processing and Design	20
Ashby & Jones	Engineering Materials Vol 1 & 2	Vol. 1, Chap. 2
Askeland & Wright	The Science and Engineering of Materials	16
Budinski	Engineering Materials: Properties and Selection	6, 20
Callister & Rethwisch	Materials Science and Engineering: An Introduction	22
Callister & Rethwisch	Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach	20
Callister & Rethwisch	Materials Science and Engineering	23
Shackelford	Introduction to Materials Science for Engineers	15

Further reference details

[Top](#)

Copyright © 2017, [Granta Design](#), Cambridge, UK

Yield strength, tensile strength, compressive strength and elongation

Definition and measurement.

Drilling down: yield, ultimate and elongation.

Why does a shear stress make a dislocation move?

Further reading.

Definition and measurement. The yield strength σ_y (or elastic limit σ_{el}), (units: MPa or MN/m²) requires careful definition. For metals, we often identify σ_y with the 0.2% offset yield strength, that is, the stress at which the stress-strain curve for axial loading deviates by a strain of 0.2% from the linear-elastic line as shown in Figure 1 (this 0.2% offset point is also associated with plastic strain). σ_y can also be defined by the proportional limit. For metals, it is often, but not always the same in tension and compression – notice for example that the wrought aluminum alloys datasheets show a tension/compression anisotropy. For polymers, σ_y is identified as the stress at which the gradient of the stress-strain graph is zero. When such a local maximum is not present, then it is defined as the stress at which the stress-strain curve becomes markedly non-linear: typically, a strain of 1% (Figure 2). Polymers are a little stronger ($\approx 20\%$) in compression than in tension. The strength σ_y of a composite is best defined by a set deviation from linear-elastic behavior: 0.5% is sometimes taken. Composites that contain fibers (and this includes natural composites like wood) are a little weaker (up to 30%) in compression than tension because fibers buckle. Strength, for ceramics and glasses, depends strongly on the mode of loading (Figure 3). In tension, “strength” means the fracture strength – this value is taken as both the ultimate tensile and yield strength (elastic limit), σ_{el} , for ceramics. In compression it means the crushing strength, which is much larger, by a factor of 10 to 15, than that in tension.

The *ultimate (tensile) strength* σ_{ts} (units: MPa) is the maximum engineering stress (applied load divided by the *original* cross-sectional area of the specimen) in a uniaxial stress-strain test. For non-deformable materials, it is the nominal stress at which a round bar of the material, loaded in tension, separates. For deformable materials, it occurs at the onset of necking at strains preceding breakage (separation). For brittle solids – ceramics, glasses, and brittle polymers – it is the same as the failure strength in tension. For metals and most composites, it is larger than the yield strength, σ_y , by a factor of between

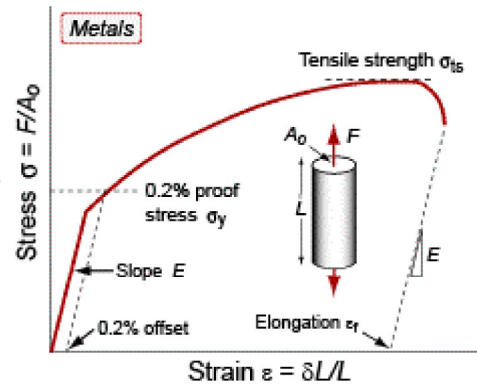


Figure 1. Stress-strain curve for a metal.

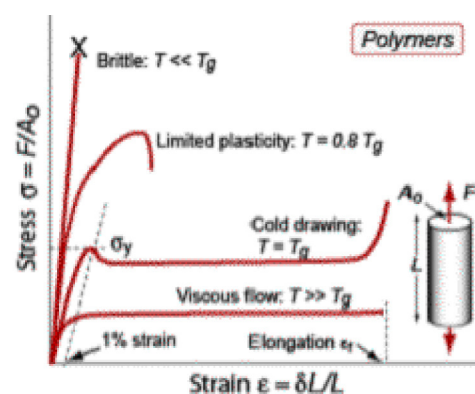


Figure 2. Stress-strain curve for a polymer.

1.1 and 5 because of work hardening or, in the case of composites, load transfer to the reinforcement. The *elongation* ϵ_f is the tensile strain at break, expressed as a percent.

The *compression strength* σ_c is the yield or crushing strength in compression. For ceramics this value is larger than the value stored under *Yield strength (elastic limit)*, which is taken to be the same as the tensile fracture strength.

Plastic work is the work done in deforming a material permanently by yield or crushing. Its value, for a small permanent extension or compression dL under a force F , per unit volume V , is

$$dW_{pl} = \frac{F dL}{V} = \frac{F}{A_0} \frac{dL}{L} = \sigma d\varepsilon$$

Thus the plastic work per unit volume at fracture, important in energy absorbing applications, is

$$W_{pl} = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon$$

and that is just the area under the stress-strain curve. It can be estimated approximately in CES as

$$W_{pl} = \left(\frac{\sigma_y + \sigma_{ts}}{2} \right) \varepsilon_f$$

(See also [Young's modulus](#) and [Fracture toughness](#).)

[Top](#)

Drilling down: yield, ultimate and elongation. If the yield strength of a perfect crystal is computed from the known inter-atomic forces, the result, known as the "ideal strength" is very large – about $E/15$ where E is the modulus. In reality the strengths of engineering materials are nothing like this big; often they are barely 1% of it. This was a mystery until half way through the last century (1950), when it was realized that a "dislocated" crystal could deform at stresses far below the ideal. So what is a dislocation, and how does it do it?

A dislocation can be made in the way shown in Figure 4(a). The crystal is cut along an atomic plane up to the line shown as \perp — \perp , the top part is slid across the bottom by one full atom spacing, and the atoms are reattached across the cut plane to give the configuration shown in 4(b). There is now an extra half-plane of atoms with its lower edge along the \perp — \perp line, the *dislocation line*. This particular configuration is called an edge dislocation because it is formed by the edge of the extra half plane, and it is written briefly as \perp .

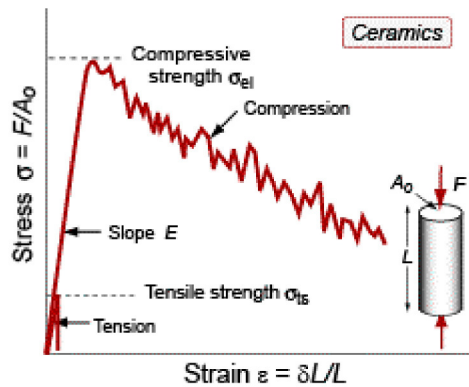


Figure 3. Stress-strain curve for a ceramic.

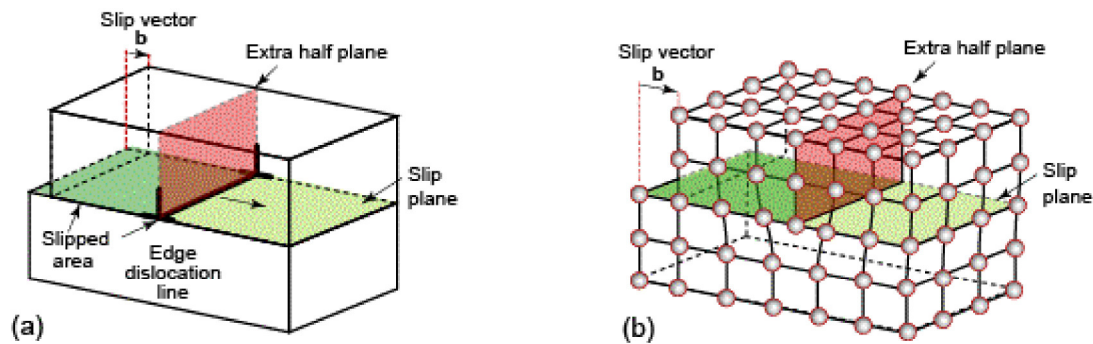


Figure 4. (a) Making a dislocation by cutting, slipping and rejoining bonds across a slip plane. (b) The atom configuration at an edge dislocation.

We could, after making the cut in Figure 4(a), have displaced the upper part of the crystal *parallel* to the edge of the cut rather than normal to it. That too creates a dislocation, but one with a rather different configuration of atoms along its line – one more like a cork-screw than like a squashed worm – and for this reason it is called a *screw dislocation*. We don't need the details of its structure; it is enough to know that its properties are like those of an edge dislocation except that when it sweeps through a crystal (moving normal to its line, of course), the lattice is displaced parallel to the dislocation line, not normal to it. All dislocations are either edge or screw or *mixed*, meaning that they are made up of little steps of edge and screw. The line of a mixed dislocation can be curved but every part of it has the same slip vector \mathbf{b} because the dislocation line is just the boundary of a plane on which a fixed displacement \mathbf{b} has occurred.

Dislocation movement produces plastic strain. Figure 5 shows how the atoms rearrange as the dislocation slides across the plane (called the *slip plane*), displacing the upper part of the crystal relative to the lower by the vector \mathbf{b} , the slip vector or Burgers vector. It is far easier to move a dislocation through a crystal, breaking and remaking bonds only along its line as it moves, than it is to simultaneously break all the bonds in the plane before remaking them. It is like moving a heavy carpet by pushing a ruck across it rather than sliding the whole thing at one go. In real crystals it is easier to make and move dislocations on some planes than on others. The preferred planes are called *slip planes* and the preferred directions of slip in these planes are called *slip directions*.

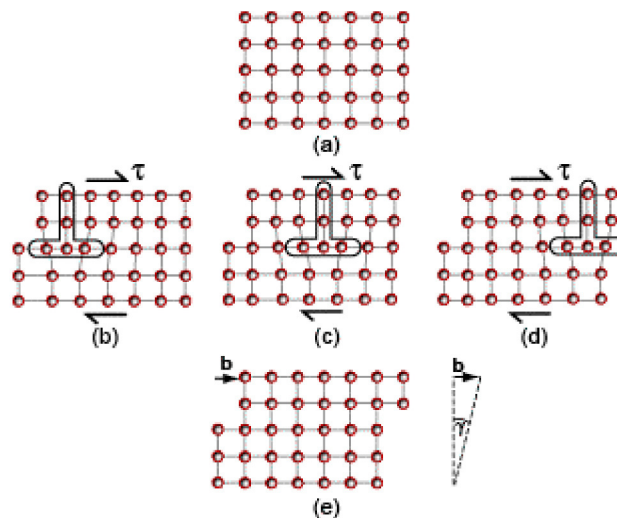


Figure 5. An initially perfect crystal is shown at (a). The passage of the dislocation across the slip plane, shown in the sequence (b), (c) and (d), shears the upper part of the crystal over the lower part by the slip vector b . When it leaves the crystal has suffered a shear strain γ .

[Top](#)

Why does a shear stress make a dislocation move? Crystals resist the motion of dislocations with a friction-like resistance f per unit length – we will examine its origins in a moment. For yielding to take place, the external stress must overcome the resistance f .

Imagine that one dislocation moves right across a slip plane, traveling the distance L_2 , as in [Figure 6](#). In doing so, it shifts the upper half of the crystal by a distance b relative to the lower half. The shear stress τ acts on an area $L_1 L_2$, giving a shear force $F_s = \tau L_1 L_2$ on the surface of the block. If the displacement parallel to the block is b , the force does work

$$W = \tau L_1 L_2 b$$

This work is done against the resistance f per unit length, or $f L_1$ on the length L_1 , and it does so over a displacement L_2 (because the dislocation line moves this far against f) giving a total work against f of $f L_1 L_2$. Equating this to the work W done by the applied stress τ gives

$$\tau b = f$$

This result holds for any dislocation – edge, screw, or mixed. So, provided the shear stress τ exceeds the value f/b it will make dislocations move and cause the crystal to shear.

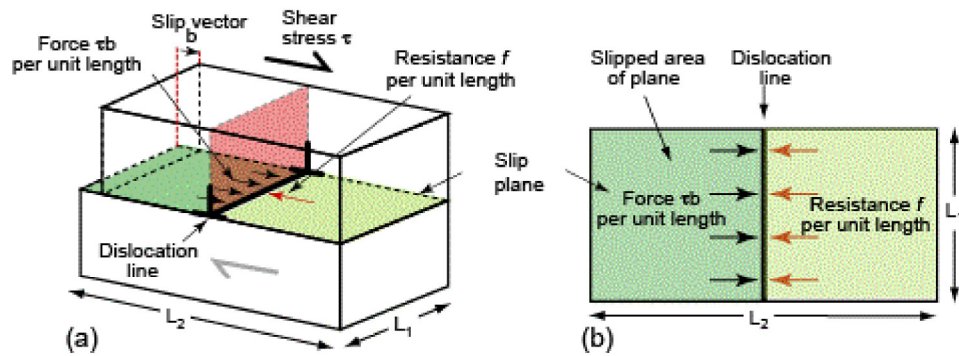


Figure 6. The force on a dislocation. (a) Perspective view of slip plane, (b) plan view of slip plane.

[Top](#)

Further reading.

Author	Title	Chapter
Ashby et al	Materials: Engineering, Science, Processing and Design	6, 7
Ashby & Jones	Engineering Materials Vol 1 & 2	Vol. 1, Chap. 3, 6, 7
Askeland & Wright	The Science and Engineering of Materials	6
Budinski	Engineering Materials: Properties and Selection	2
Callister & Rethwisch	Materials Science and Engineering: An Introduction	6, 15
Callister & Rethwisch	Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach	7
Callister & Rethwisch	Materials Science and Engineering	8, 15
Shackelford	Introduction to Materials Science for Engineers	6

[Further reference details](#)

[Top](#)

Copyright © 2017, [Granta Design](#), Cambridge, UK

Material price

Definition and data sources.

Using data for price.

Further reading.

Definition and data sources. Properties like modulus, strength, or conductivity do not change with time. Cost is troublesome because it does. Supply, scarcity, speculation, and inflation contribute to the considerable fluctuations in the cost-per-kilogram of a commodity like copper or silver. In addition there are three pricing tiers: manufacturer, distributor, and retail. Individual vendors have their own pricing scheme; their prices depend on how much you want to buy and whether or not you have “favored customer” status.

Spot prices for commodity metals and polymers are published daily in sources such as

- London Metal Exchange, Metal prices: (<https://www.lme.com/>)
- Plastics Technology on line, Polymer prices: (<http://www.ptonline.com/>)

but those for others are harder to come by. The Granta team upgrade the prices regularly and have algorithms for extending the upgrades to alloys, composites, and filled polymers. Every effort is made to ensure that these are realistic, but it is ESSENTIAL to recognize that the only totally reliable price is the one that the vendor quotes you (see also [Cost modeling](#) in the ProcessUniverse).

Top

Using data for price. The price of a material is expressed as \$/kg (the units used here – but note that you can change both currency and units of mass in CES). When a material provides a space-filling role, as polymers, concrete, insulation foam, and the like often do, it is price per unit volume $\$/m^3$, not per unit weight, $\$/kg$, that is relevant. More generally still, it is *price-per-unit-of-function* that is the proper measure.

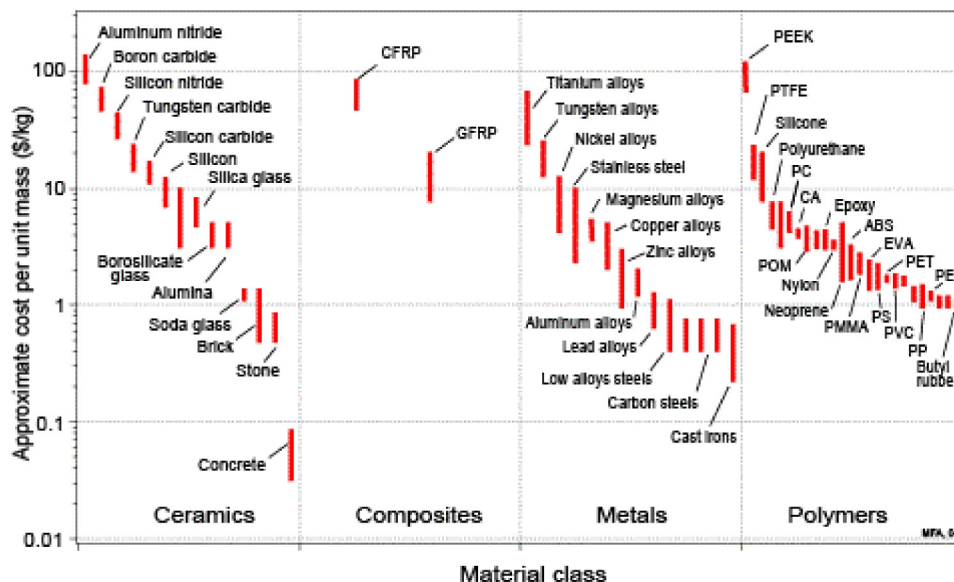


Figure 1. Price per unit mass of materials. This chart was made with CES Edu, Level 1. The units here are \$ and kg, but the software allows these to be changed to other currencies and weight measures.

Approximate values for the cost of materials per kg, and their cost per m³, are plotted in Figures 1 and 2. Most commodity materials (glass, steel, aluminum, and the common polymers) cost between 0.5 and 2 \$/kg. Because they have low densities, the cost/m³ of commodity polymers is less than that of metals.

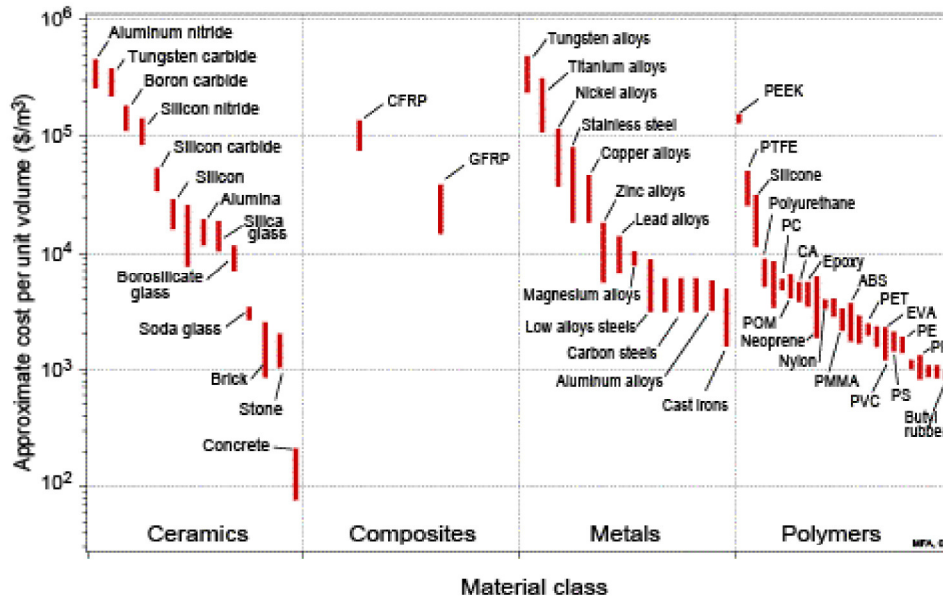


Figure 2. Price per unit volume of materials. This chart was made with CES Edu, Level 1. The units here are \$ and m³, but the software allows these to be changed to other currencies and volume measures.

[Top](#)

Further reading.

Author	Title	Chapter
Ashby et al	Materials: Engineering, Science, Processing and Design	5
Ashby & Jones	Engineering Materials Vol 1 & 2	Vol. 1, Chap. 2
Budinski	Engineering Materials: Properties and Selection	20
Callister & Rethwisch	Materials Science and Engineering: An Introduction	22
Callister & Rethwisch	Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach	20
Callister & Rethwisch	Materials Science and Engineering	23

[Further reference details](#)

[Top](#)

Copyright © 2017, [Granta Design](#), Cambridge, UK