



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

GENERACIÓN DE UN VECTOR ENERGÉTICO APROVECHABLE A PARTIR DE ENERGÍAS MARINAS.

Autor: Gonzalo Delgado Martín de Blas

Director: Aleix Jesús Maria Arenas

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Generación de un vector energético aprovechable a partir de energías marinas
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022/2023 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Gonzalo Delgado Martín de Blas

Fecha: 5/ 07/2023



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Aleix María Arenas Fecha: 04/07/2023



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

GENERACIÓN DE UN VECTOR ENERGÉTICO APROVECHABLE A PARTIR DE ENERGÍAS MARINAS

Autor: Gonzalo Delgado Martín de Blas

Director: Aleix Jesús Maria Arenas

Madrid

Agradecimientos

Agradezco a mis tutores de la universidad por haberme dado los conocimientos y la forma de pensar de un ingeniero. De ellos haber aprendido a resolver los problemas de la forma más sencilla y eficiente que para tantas cosas sirve en la vida.

A mis padres y familia que me han acompañado desde pequeño y me han hecho ser como soy. Y mi novia y amigos.

Este proyecto va dirigido a un futuro más limpio y tecnológico, en el que el ser humano se acerque poco a poco a comprender el potencial energético marino. Que la vida humana al igual que cuando los simios bajaron de los árboles, quizás se pueda embarcar al mar. Creo que el desarrollo de tecnologías marinas nos puede hacer comprender más y mejor la inmensidad del océano que hasta ahora es lo más inexplorado.

Generación de un vector energético aprovechable a partir de energías marinas

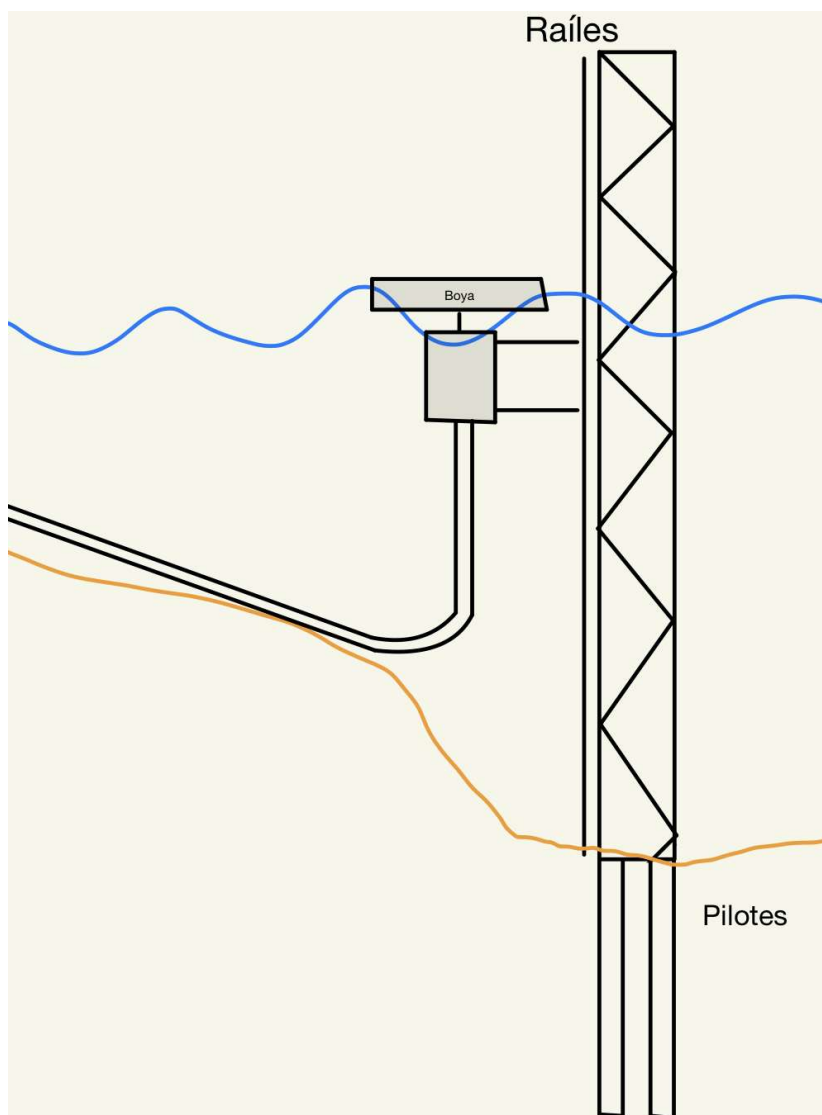
Autor: Delgado Martín de Blas, Gonzalo.

Director: María Arenas, Aleix Jesús.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Descripción teórica de los usos de un dispositivo de bombeo en el que su energía motriz, proviene del mar. Se comentan los usos en desalación y en estaciones de bombeo y turbinado. Se incluyen descripciones de las instalaciones y el dimensionamiento.



Palabras clave: Energía undimotriz, Bomba de pistón, desalación, ciclo de bombeo turbinado

1. Introducción

El Proyecto nace con la intención de captar energía marina de una forma no vista antes, la intención del proyecto es la mejora de las tecnologías de carácter marino.

El trabajo se basa en el dimensionamiento del dispositivo y el proceso de creación al completo de un proyecto. El proyecto incluirá detalles de emplazamiento, de cimentaciones iniciales, del dispositivo y sus dimensiones, entre otros detalles de la obra.

Mi intención es realizar un proyecto en el que se haya tenido rigor científico a la hora de la toma de decisiones necesarias, pero sin entrar en cada una de ellas en ingeniería de detalle. Es decir, me centraré en responder fundamentalmente a preguntas como por qué, pero a pocas preguntas de cómo.

2. Definición del Proyecto

El proyecto está enfocado en la búsqueda de nuevas formas de aprovechamiento de la energía marina. Se realizará un estudio de distintos dispositivos usados hoy día y en base a estos se intentará mejorar o cambiar el punto de vista que se tiene.

El proyecto consiste en la búsqueda de un nuevo método de abastecimiento para poblaciones, pudiendo ser el producto final energía eléctrica o agua salada a presión. En mi caso abasteceré la desaladora de Arucas Moya que produce 15.000 m³/h de agua desalada. En el caso de producción eléctrica construiré una balsa para el futuro turbinado de agua. En el Proyecto, además de diseñar el dispositivo de bombeo se definen los métodos de aprovechamiento.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

Como ya he comentado la producción de electricidad o presión son generadas con una bomba de pistón.

El dispositivo de bombeo está basado en una bomba de pistón que estará accionada por el vaivén de las olas. Una parte relevante del contenido del presente Proyecto entra en

detalle en los diferentes usos de esta agua a presión. Se incluyen asimismo los diseños de las instalaciones que son necesarios para el funcionamiento del dispositivo.

Este dispositivo bombea mediante válvulas antirretorno una presión y un caudal deseados.

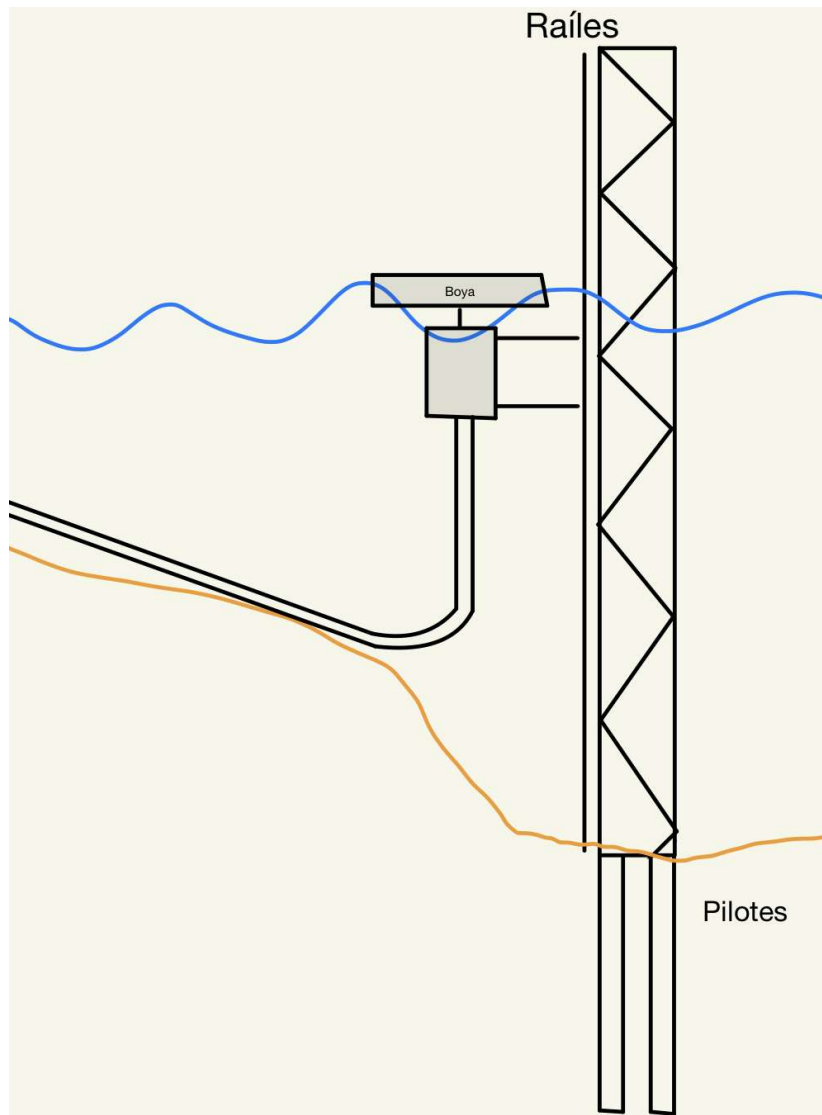


Ilustración 1/ dispositivo a crear

4. Resultados

Este proyecto es una búsqueda de formas de aprovechamiento de la energía del mar en un vector energético de caudal y presión. Durante el proyecto comento no solo esta forma de producir el vector, sino que intento hablar de la forma en la que llego y otras diversas opciones que en el futuro pueden estudiarse.

El resultado es una forma limpia de transformar energía, y no solo ayuda al medio ambiente en la producción de energía, sino que también ayuda a producir agua dulce.

El dispositivo de bombeo obtenido en cada instalación será capaz de aportar las siguientes características:



Bombeo Arucas Moya

Parámetro de Bomba	Valor	Unidad
Caudal aportado	0,52611	m3/s
Altura efectiva	22,81903	m
Radio del embolo	1,4899	m
Volumen del ebolo	5,230365	m3
Velocidad de bajada del embolo	0,3349	m/s
diámetro de las bridas de acople	0,81845	m
Masa de la boya	74373,089	Kg
Volumen de la boya	144,667	m3

**Uso para ciclo de
bombeo**

Bombeo a balsa

Parámetro de Bomba	Valor	Unidad
Caudal aportado	1,57833	m ³ /s
Altura efectiva	304,148	m
Radio del embolo	2,4605	m
Volumen del ebolo	15,7	m ³
Velocidad de bajada del embolo	0,3349	m/s
diámetro de las bridas de acople	1,4176	m
Masa de la boya	2973,75	Tn
Volumen de la boya	5785,81	m ³

En cuanto a la viabilidad de los proyectos resultan ambos posibles, queda por hacer una evaluación económica de este tipo de dispositivo para ver si supone una mejora económica en la desalación y en el caso del ciclo de bombeo que tiempo tarda en amortizarse la compra.

5. Conclusiones

Se puede afirmar que este tipo de dispositivo es viable y funcional, falta comprobar rendimientos del dispositivo, pérdidas hidráulicas y mecánicas entre otras, es decir validar el funcionamiento mediante un modelo para ensayar.

El vector energético creado en ambos casos como explico durante el proyecto depende del dispositivo. Es un dispositivo de funcionamiento único y con un único vector energético

Generation of an usable marine energy vector

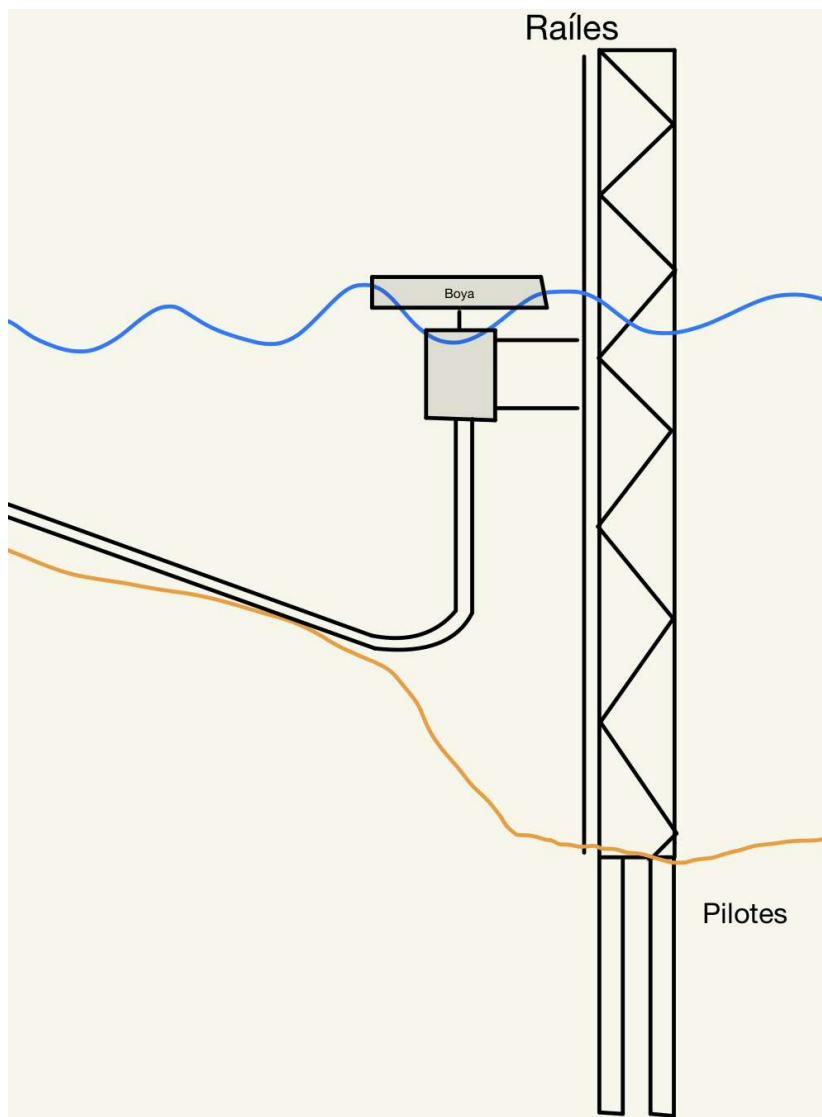
Author: Gonzalo Delgado Martín de Blas

Supervisor: María Arenas, Aleix Jesús

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The project is a description of the possible uses of a pumping system which moving energy comes from the sea. The project contains information of the desalination uses, and the use for a pumping and turbine station.



Keywords: desalination, pumping and turbine station, wave energy, piston pump

1. Introduction

The Project was born with the intention of harnessing marine energy in an unprecedented way, aiming to enhance marine technologies.

The work is based on the sizing of the device and the entire creation process of a project. The project will include details of the location, initial foundations, the device, and its dimensions, among other construction details.

My intention is to carry out a project in which scientific rigor has been applied when making the necessary decisions, but without delving into detailed engineering for each of them. In other words, I will primarily focus on addressing why questions, rather than providing detailed explanations of how.

2. Description off the project

The project is focused on exploring new approaches for harnessing marine energy. A study will be conducted on different devices currently in use, with the aim of improving or altering existing perspectives.

The project entails the quest for a novel method of supplying resources to communities, potentially resulting in the generation of either electrical energy or pressurized saline water. In my case, I will provide the desalination plant in Arucas Moya, which produces 15,000 m³/h of desalinated water. In terms of electricity production, a water turbine system will be constructed on a future reservoir. Alongside designing the pumping device, the project will also outline the utilization methods.

3. Description off the model/system

As previously mentioned, electricity or pressure generation is achieved using a piston pump.

The pumping device is based on a piston pump that will be activated by the oscillation of the waves. A significant portion of the content in this Project delves into the various applications of this pressurized water. Furthermore, the designs of the necessary facilities required for the device's operation are included.

This device pumps the desired pressure and flow rate by utilizing check valves.

4. Results

This project is an exploration of ways to harness marine energy into a vector of flow and pressure. Throughout the project, I not only discuss this method of generating the vector but also aim to address the approach taken and explore other potential options for the future.

The outcome is a clean way to convert energy, which not only benefits the environment in energy production but also aids in freshwater generation. The pumping device obtained in each installation will be capable of providing the following features:

- Efficient and reliable energy transformation.
- Sustainable utilization of marine resources.
- Eco-friendly power generation.
- Simultaneous production of fresh water.
- Enhanced environmental impact mitigation.

By focusing on these characteristics, the project aims to contribute to the development of sustainable and environmentally friendly energy solutions while addressing the growing demand for both energy and freshwater resources.

***pumping and
turbine cycle***

Reservoir pump

<i>Pump parameter</i>	<i>value</i>	<i>Unit of Measurement</i>
Flow Rate Contribution	1,57833	m3/s
Pump Head	304,148	m
Piston radius	2,4605	m
Piston Volume	5,230365	m3
Piston Downward Velocity	0,3349	m/s
Coupling Flange Diameter	1,4176	m
Buoy Mass	2973,75	Tn
Buoy Volume	5785,81	m3

Desalination Use

pumping Arucas Moya

<i>Pump parameter</i>	<i>value</i>	<i>Unit of Measurement</i>
Flow Rate Contribution	0,52611	m3/s
Pump Head	22,81903	m
Piston radius	1,4899	m
Piston Volume	15,7	m3
Piston Downward Velocity	0,3349	m/s
Coupling Flange Diameter	0,81845	m
Buoy Mass	74373,089	Kg
Buoy Volume	144,667	m3

Regarding the feasibility of the projects, both are deemed possible. However, an economic evaluation of this type of device is still needed to determine if it represents an economic improvement in desalination. In the case of the pumping cycle, it is necessary to assess how long it takes for the investment to be recovered.

5. Conclusions

It can be affirmed that this type of device is viable and functional. However, further testing is required to verify its performance, including evaluating hydraulic and mechanical losses, among other factors. Validation of its operation through a model testing is necessary.

The energy vector created in both cases, as explained throughout the project, depends on the device. It is a device with a unique operating mechanism and a single energy vector.

Índice de la memoria

<i>Índice de la memoria</i>	<i>I</i>
<i>Índice de figuras</i>	<i>V</i>
<i>Índice de tablas</i>	<i>IX</i>
Capítulo 2. Introducción	10
2.1 Motivación del proyecto.....	12
Capítulo 3. Descripción de las Herramientas Utilizadas	13
Capítulo 4. Estado de la Cuestión	14
Capítulo 5. Definición del Trabajo	15
5.1 Justificación.....	15
5.2 Objetivos	15
Capítulo 6. Energía Undimotriz.....	16
6.1 Sistemas de columna de agua oscilante (OWC).....	18
6.2 Sistema Arquímedes.....	19
6.3 Sistema wave star	19
6.4 Sistema bomba de manguera.....	20
6.5 Sistema tapchan.....	21
6.6 Sistema Pendulor.....	22
6.7 Sistema plelamis.....	23
6.8 Sistema Wave dragon.....	24
Capítulo 7. Clasificación	26

7.1	Las olas.....	27
7.1.1	El movimiento rotativo:	30
7.1.2	Movimiento alternativo:	31
7.2	Tipos de bombas útiles para el caso	31
7.2.1	Bombas de diafragma.....	32
7.2.2	Bombas de pistón.....	34
7.3	Turbomáquinas.....	38
Capítulo 8. Introducción a mi dispositivo de bombeo		42
Capítulo 9. Emplazamiento		44
9.1	Finalidad.....	44
9.2	Ubicación: Distancia a la costa	46
9.3	Emplazamiento desalación	49
9.3.1	Factores de disponibilidad de agua	49
9.4	Potencia del mar	52
9.5	Desalación España.....	55
9.5.1	Falta de agua en canarias	56
9.6	Desalación en Canarias	57
9.7	Emplazamiento de la central hidroeléctrica	59
Capítulo 10. Diseño de las Instalaciones de aplicación del vector		65
10.1	Instalación y Requerimientos para Suministro a una Planta de Desalación.....	65
10.2	Instalación para el Proyecto de Acumulación por Bombeo	67
10.2.1	Construcción del embalse.....	67
10.2.2	Producción eléctrica	78
Capítulo 11. Diseño del Dispositivo de Bombeo.....		89

11.1 Recolección de datos de la marea.....	89
11.2 Cálculo de las dimensiones de la bomba.....	90
11.3 Parámetros de la bomba	93
11.4 Dimensionamiento del Dispositivo para Bombeo y Turbinado posterior.	102
11.5 Selección de Materiales y Espesores.....	107
11.5.1 Ciclo de bombeo en embalse	107
11.5.2 Desalación.....	113
Capítulo 12. Fabricación del Dispositivo y Obra	116
12.1 Diseño tridimensional del dispositivo	116
12.2 Fabricación del dispositivo.....	120
12.2.1 Cuerpo del pistón	121
12.2.2 Labio del embolo	122
12.2.3 Brazo	123
12.2.4 Boya.....	124
12.3 Detalles de obra.....	124
12.3.1 Cimentación.....	124
12.3.2 Estructura reticulada.....	131
12.3.3 Sujeción de tuberías	131
12.3.4 Instalación del dispositivo	132
Capítulo 13. objetivos de desarrollo sostenible.....	132
Capítulo 14. Análisis de Resultados.....	133
Capítulo 15. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	134
Capítulo 16. Bibliografía.....	136
16.1 Energía Undimotriz	136

16.2 Bombas.....	136
16.3 Emplazamiento.....	137
16.3.1 Tablas:.....	137
16.3.2 Información:.....	137
16.4 Diseño del dispositivo	138
16.5 Diseño de la instalación.....	138

Índice de figuras

Ilustración 1/ dispositivo a crear	10
Ilustración 2/OWC/ http://aggageu.blogspot.com/2014/08/tipus-denergia-undimotriu.html	18
Ilustración 3/Wave Star/ https://www.neozone.org/ecologie-planete/wavestar-la-centrale-electrique-qui-utilise-la-houle-pour-produire-de-lenergie/	19
Ilustración 4/ Funcionamiento wave star/ https://ecoinventos.com/wavestar/	20
Ilustración 5/Bomba de manguera	21
Ilustración 6/Sistema Tapchan/ https://www.freeenergyplanet.biz/renewable-energy-resources/t-vxd.html	22
Ilustración 7/ https://www.mdpi.com/1996-1073/9/4/282	23
Ilustración 8/ pelamis/ https://afinidadelctrica.com/2020/05/22/pelamis-una-serpiente-marina-robotica-que-genera-energia-electrica/	24
Ilustración 9/sistema wave dragon/ https://www.researchgate.net/figure/Wave-Dragon-Courtesy-of-Wave-Dragon_fig2_330336753	25
Ilustración 10/máquinas de fluido/1 https://sifo.comillas.edu/pluginfile.php/3626143/mod_resource/content/9/1.Introducci%C3%B3n%202022-23.pdf	26
Ilustración 11/Ilustración 2 Ilustración que representa la forma dispar de las olas; https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/9217/Estudio%20de%20las%20olas%20y%20su%20aprovechamiento%20en%20energia%20undimotriz%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y	28
Ilustración 12/Ilustración de los movimientos de partículas en el agua	29
Ilustración 13/movimiento alternativo y rotativo aprovechable de la energía marina	30
Ilustración 14/Bomba de diafragma http://bombadediafragma.blogspot.com/2009/07/bomba-de-diafragma.html	32
Ilustración 15/Tipo de tuberías que pueden ser interesantes para el bombeo por cámara variable; https://new.qq.com/rain/a/20210421A0FALG00	33
Ilustración 16/ Representación de un posible diseño	33
Ilustración 17/Bombas de pistón radiales/ https://www.xn--mecatrnica-lbb.com.co/2021/12/bombas-de-pistones.html	35
Ilustración 18/Bomba axial de pistón/ https://www.xn--mecatrnica-lbb.com.co/2021/12/bombas-de-pistones.html	35

Ilustración 19/ https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/energ%C3%ADa-turbinas-y-centrales-mareomotrices	40
Ilustración 20/ https://www.ingenieriamecanicaautomotriz.com/que-son-los-engranes-de-pinion-y-cremallera-y-como-se-dise%C3%91an/	41
Ilustración 21/ https://www.lozurytech.com/product-page/tornillo-sin-fin-8mm-x-500mm	41
Ilustración 22/ https://sites.google.com/site/358maquinas/transmision-por-mecanismo-de-biela-manivela	42
Ilustración 23/Representación del salto de chira/ https://saltodechira.com/	45
Ilustración 24/Emplazamiento en función de la proximidad a la costa	47
Ilustración 25/Mapas Animados de Olas (Oleaje) & Viento para España	48
Ilustración 26/ TIPOS DE RELIEVE: GRANÍTICO, KÁRSTICO Y SEDIMENTARIO / http://historiapaaraaburrir.blogspot.com/2012/11/tipos-de-relieve-granitico-karstico-y.html	51
Ilustración 27/Dureza del agua en España / https://www.aquaprof.es/info/descalcificadores/dureza/	51
Ilustración 28/ https://www.fundacionaquae.org/wiki/plantas-desaladoras-en-espana/	55
Ilustración 29/Precipitación en canarias por mes- https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/islas-canarias_espa%C3%B1a_2520308	56
Ilustración 30/Transmisión de la contaminación y nivel freático	61
Ilustración 31/Ubicación de la presa/ imagen extraída de Google earth	62
Ilustración 32/ https://llamaradasenlanoche.blogspot.com/2010/12/banderas-de-los-municipios-de-gran.html	66
Ilustración 33/aliviadero/ https://es.dreamstime.com/fotograf%C3%ADa-de-archivo-aliviadero-hidr%C3%A1ulico-de-la-presa-image25771422	70
Ilustración 34/Desagüe de fondo/ https://ingeoexpert.com/articulo/sistema-hidraulico-presas-consideraciones-generales/	70
Ilustración 35/ Desagüe en presas de escollera/ https://www.elsevier.es/es-revista-ribagua-revista-iberoamericana-del-217-articulo-aplicacion-del-metodo-sph-al-52386378116000049	71
Ilustración 37/ Representación de la zona en la que precipita	72
Ilustración 36/Área de zona de lluvia	72
Ilustración 38/ Datos AEMET/ https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/efemerides_extremos?*w=0&k=coo&l=C447A&datos=det&x=C447A&m=13&v=PMD	73
Ilustración 39/camino a preservar	74

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Ilustración 40/Canal de alivio/</i> https://www.cnr.gob.cl/cnr-publico-bases-de-concurso-que-dispone-de-4-500-millones-para-mejorar-canales-y-distribucion-del-agua-de-riego/	75
<i>Ilustración 41/Presa</i>	77
<i>Ilustración 42/Central de bombeo/</i> https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/central-hidroelectrica-bombeo	78
<i>Ilustración 43/ consumo eléctrico diario Tenerife/</i> https://demanda.ree.es/visiona/canarias/tenerife5m/total	79
<i>Ilustración 44/ consumo eléctrico diario Tenerife/</i> https://demanda.ree.es/visiona/canarias/tenerife5m/total	80
<i>Ilustración 45/ instalación en la presa</i>	83
<i>Ilustración 46/ Selección del tipo de turbina/</i> https://flovei.net/es/nuestros-productos/turbinas-francis/	84
<i>Ilustración 47/ caso ideal turbina reacción/ transparencias turbinas de reacción apuntes turbomáquinas ICAI</i>	86
<i>Ilustración 48/ medidas de cuchara/Fuente:</i> http://cvb.ehu.es/open_course_ware/castellano/tecnicas/maquinas_fluidos/tema-6-turbinas-pelton.pdf	88
<i>Ilustración 49/Ubicación de los datos pedidos, </i> https://marendata.eu/maini3n-de-los-datos-medidos	89
<i>Ilustración 50/ Representación de los estados de funcionamiento de la boya</i>	92
<i>Ilustración 51/ representación de la instalación Arucas Moya</i>	97
<i>Ilustración 52/ Representación del circuito de instalación para aplicar la ecuación de Bernoulli</i>	104
<i>Ilustración 53/Dispositivo completo 3d</i>	117
<i>Ilustración 54/tornillos y nueva sujeción</i>	118
<i>Ilustración 55/ Cuerpo del pistón</i>	121
<i>Ilustración 56/ labio del embolo</i>	122
<i>Ilustración 57/ brazo del embolo</i>	123
<i>Ilustración 58/Brazo</i>	123
<i>Ilustración 59/Boya</i>	124
<i>Ilustración 60/ </i> https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/09/concepto-y-clasificacion-de-las-cimentaciones/	126
<i>Ilustración 61/Ubicación de los pilotes</i>	130
<i>Ilustración 62/representación de la forma de transportar los monopilotes.</i>	131

Índice de tablas

<i>Tabla 1/ plantas desaladoras en canarias/http://www.aguasgrancanaria.com/agua/desaladoras.php___</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 2/rugosidad de la tubería/https://idoc.pub/documents/tablas-coeficiente-de-rugosidad-qvnd9j0ejr4x_____</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 3/Características Bomba para desalación _____</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 4/ Bombeo a balsa para ciclo de bombeo y turbinado_____</i>	<i>107</i>

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La existencia de la vida y del universo se basa en la energía, sin energía para el bigbang o sin energía solar la vida no podría existir tal y como la conocemos en la tierra. Los seres vivos necesitan de energía y los humanos somos uno más, desde que nacemos necesitamos obtener energía en forma de comida para sobrevivir. Los primeros tipos de energía que la vida controla es la energía mecánica y térmica, ya que los seres vivos son capaces de transformar energía que almacenan en su cuerpo, en movimiento o en calor. Hace 6 millones de años los monos bajaron de los árboles y empezaron a caminar erguidos. Estas especies continuaron con su evolución hasta finalmente hacer uno de los descubrimientos más grandes e importantes de la historia y este descubrimiento no pertenece a la especie humana, sino que pertenece al homo Erectus, el control del fuego. Por primera vez una especie era capaz de controlar energía que no proviene de su propio cuerpo. El fuego permitió a los cazadores-recolectores quemar amplias zonas de bosque para tener caza mucho más fructífera. El fuego es el primer paso de los homínidos para cambiar el paisaje de la tierra, ya que llevamos más de 1,5 millones de años haciendo esto.

El control de algún tipo de energía nuevo ha hecho a la sociedad avanzar mucho más rápido, pero no todas las energías que hemos aprendido a controlar han tenido el mismo impacto en el desarrollo científico.

Los humanos hemos aprendido a controlar distintos tipos de energía, como la térmica. Al principio combustionábamos madera, más tarde fuimos capaces de generar esta energía térmica con la nuclear eliminando la combustión, o con la solar, concentrando la energía que aporta el sol.

La energía mecánica ha sido una de las que primero controlamos y una de las que más hizo al ser humano desarrollarse, la generación de movimiento en motores ha sido un salto enorme en la calidad de vida y la posibilidad de transporte humano, ha ayudado a mover cargas de formas antes inimaginables. Hitos como el descubrimiento de la rueda, los

molinos, la máquina de vapor o el desarrollo de motores de combustión han hecho que el lugar dónde y cómo vivimos sea como lo conocemos a día de hoy.

La energía eléctrica ha sido el tipo de energía que más nos ha hecho evolucionar, ha modificado los edificios, las calles, el movimiento y hasta ha cambiado la oscuridad en la noche. La energía eléctrica ha sido uno de los puntos más importantes en el desarrollo de la electrónica, que hoy día controla cualquier interacción con una máquina, es decir, la electrónica controla motores de combustión, controla baterías y controla la energía térmica. La electricidad, a mi parecer, ha sido el mayor avance de la historia y el que ha hecho que nuestro mundo sea como es.

La energía química es uno tipo de energía capaz de transformarse en otros tipos muy fácilmente, es capaz de explotar, calentarse, almacenar energía y soltarla como deseamos, además de otros muchos usos.

La única energía de la que aún no he hablado, y el ser humano es capaz de controlar, es la energía cinética. A los humanos nos interesa, además de crearla, aprovecharla con energía hidráulica o mareomotriz, entre otras. El ser humano ha aprovechado la energía cinética en producción de electricidad dado que se trata de un bien preciado, pero existen otras formas de aprovechamiento de este tipo de energía.

Como la energía ni se crea ni se destruye mi intención es transformarla. Transformar esa energía en algo útil. Esto que pretendo hacer, ha sido común en los humanos desde la invención del fuego y ha llevado a grandes innovaciones en la humanidad.

Mi intención cuando elegí el proyecto fue proponer nuevas formas de aprovechar este tipo de energía. Sin duda el mar es una enorme y desconocida fuente de energía y este trabajo pretende mostrar algunas de las alternativas de aprovechamiento de dicho potencial.

Este proyecto se basará en el estudio teórico del aprovechamiento de energía undimotriz, creando un diseño sobre el cual poder obtener distintos beneficios. La principal intención será buscar alternativas a generar electricidad directamente, es decir intentar cambiar el paradigma en el que los dispositivos marinos se encuentran inmersos.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Este apartado no solo se centra en expresar mi motivación y objetivos, sino también en comentar que puede motivar mi proyecto en los demás.

Para mí este proyecto ha supuesto la primera vez que me enfrento a la solución de un problema real mediante la aplicación de ingeniería en el diseño de un sistema funcional. Sin duda ha sido un gran reto y una fuente de inspiración y lo que me ha motivado a dedicarle mi esfuerzo es que el proyecto es una idea propia. Con carácter previo a empezar a recabar información sobre energía undimotriz, inicialmente estuve pensando en cómo podría generar energía con el mar. Este método parecía algo nuevo y mis primeras búsquedas en Google no encontraron dispositivos similares al que yo tenía en mente. Más adelante empecé a encontrar diseños y dispositivos que usaban el mismo principio que el que yo tenía intención de proyectar, pero sin duda yo tenía la intención de lograr algo nuevo y que incluyera un nuevo punto de vista, por lo que modifiqué el funcionamiento y el uso final del diseño. Como comentaba en la introducción, la energía mareomotriz o undimotriz se centra casi por completo en generar un vector eléctrico, mi idea fue transformar energía cinética del mar en energía de bombeo.

Económica y tecnológicamente mi proyecto puede tener ventajas para bombeos necesarios cerca de la zona de costa, y gran parte del proyecto se basa en buscar alguno de estos usos.

Espero que mi proyecto motive a gente que comience a desarrollar tecnologías como la que propongo, creo que su potencial es enorme y queda mucho por investigar.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS

En esta sección se desarrollan las aplicaciones y elementos usados en el proyecto. Este proyecto va a usar pocas tecnologías ya que principalmente es un estudio teórico de una forma de aprovechamiento de la energía del mar.

La tecnología usada para el diseño del proyecto no es mucha ya que la gran mayoría de cálculos se pueden aproximar bastante a la realidad con las fórmulas que uso.

Ahora haré un recuento de las aplicaciones utilizadas para el desarrollo del proyecto.

Debido a la necesidad de encontrar datos sobre las mareas usaré Marendata, esta página web está preparada para aportar datos costeros de las olas y el viento.

La página web de la que hablo es esta: <https://marendata.eu/main>

En cuanto a la aplicación de diseño 3D usaré solid Works, para la realización del modelo del dispositivo de bombeo usaré las facilidades de la universidad de impresión 3D.

Para cartografiar el terreno usaré Google Earth.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Aunque no puedo decirlo a ciencia cierta ya que no he revisado todos los papers o proyectos del mundo, por las investigaciones que he estado realizando creo que esta idea de conseguir un caudal a presión a través del aprovechamiento mecánico del oleaje, hace que este proyecto sea algo único y distinto, ya que habitualmente los proyectos de aprovechamiento de energía undimotriz están enfocados en generación eléctrica.

Hasta donde conozco, no existen dispositivos de bombeo que aprovechen la energía de las olas del mar (energía undimotriz) ni sobre el papel ni en la realidad. Esta nueva forma de producir presión puede ayudarnos para su utilización en grandes desaladoras, puede ayudarnos a almacenar energía, aprovechamiento en sistemas de bombeo en tuberías marinas, por ejemplo para transporte de petróleo y en otras muchas aplicaciones.

Todos los dispositivos que se han desarrollado o están en proceso de hacerlo generan directamente electricidad, y mi aportación es en gran medida este nuevo método.

Todo lo comentado anteriormente lleva a la razón de ser del proyecto, que es hacer un diseño innovador y descubrir una nueva forma de aprovechamiento de la energía del mar y comprobar en su caso los nuevos usos y aprovechamientos que dicha energía generado podría tener.

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1 JUSTIFICACIÓN

Este proyecto es un estudio de los distintos métodos de obtención de energía y posibles usos futuros, creo que cualquier proyecto similar a este puede ser de gran ayuda en cuanto al desarrollo de nuevos métodos de aprovechamiento energéticos o desarrollo de procesos de forma más eficiente.

La idea del proyecto reside en aprovechar de una manera un tanto distinta a la habitual la energía marina. Creo que este primer punto debe ser desarrollado de muchas más formas, ya que el ser humano hasta ahora para pasar de un tipo de energía A a otro B normalmente pasa por la electricidad en el proceso. La electricidad se usa como nexo transformador por sus beneficios, pero para almacenarlo aún hoy día nos cuesta encontrar formas mejores que una batería.

El proyecto es un dispositivo de bombeo marino, que propulsa el fluido mediante la energía del oleaje. Esta tecnología no ha sido utilizada todavía por lo que hay un gran campo de desarrollo. Creo que para industrias como la desalación o industrias petrolíferas, tienen gran interés en bombeos en el mar por lo que pudiera este dispositivo abaratar costes.

4.2 OBJETIVOS

Los objetivos del proyecto son varios, los comentaré en orden de importancia.

El principal objetivo es el diseño de un dispositivo que permita el aprovechamiento y la transformación del vector energético marino en otro vector energético en forma de caudal a una determinada presión.

Como objetivos adicionales, el dispositivo de bombeo será diseñado con dos funciones:

- Abastecimiento de una planta desaladora: se incluirá un diseño básico de instalación.
- Generación de electricidad: el sistema de bombeo permitirá el almacenamiento de agua en un embalse para su posterior turbinado. Se realizarán también los diseños básicos de las instalaciones.

Será de vital importancia la búsqueda de usos de este tipo de dispositivo.

Capítulo 5. ENERGÍA UNDIMOTRIZ

La idea de esta sección es comentar los distintos métodos existentes de aprovechamiento de energía undimotriz.

La energía undimotriz nace del intento de aprovechar la energía que albergan las olas. Estos métodos se basan en captar la energía cinética o potencial del oleaje y su conversión en energía más aprovechable.

Empezando por los dispositivos WEC, que proviene de las siglas en inglés “wave energy converter”, existen varios tipos y resulta imprescindible para hablar de ellos el caracterizarlos.

Existen diferentes maneras de categorizar los WEC aunque lo más habitual es clasificarlos en base al tipo de conversión de la energía que realizan:

- Atenuadores: Operan en paralelo a la dirección de la ola con múltiples secciones que se mueven relativamente entre sí.
- Absorbedores puntuales: Estructuras flotantes de uno o más cuerpos con un movimiento relativo a la base marina o entre sí.
- Absorbedores oscilantes de impacto: Actúan como un péndulo rotando sobre un eje horizontal.

- Terminadores: El agua rebosa la estructura flotante o fija hasta un área de almacenamiento y posteriormente se turbinan.
- Columna de agua oscilante (OWC): Se aprovecha el cambio de la presión de una cámara de aire para turbinar.
- Sistemas de presión diferencial: El dispositivo no sobresale de la lámina de agua y se mueve por la diferencia de presión inducida por el cambio de altura en dicha lámina.
- Sistemas de bulbo: Tuberías de materiales flexibles de gran longitud que mueven un líquido que pasa por una turbina en su interior.
- Sistemas de giróscopo: Masa rotativa sobre eje vertical que captura la energía de varios grados de libertad.
- Otros: Todos aquellos que no pueden ser categorizados en las anteriores.

Ejemplo de sistemas de captación de la energía:

Para un mejor entendimiento de este apartado es necesario entender además de cómo se capta la energía, el diseño que tiene y la ubicación en la que se encuentra. Vista la complejidad de este punto resulta más sencillo revisar alguno de los sistemas categorizados y analizar cómo funcionan:

- Sistemas de columna de agua oscilante (OWC)
- Sistema Arquímedes
- Wave star
- Sistema bomba de manguera
- Sistema tapchan
- Sistema pendulor
- Sistema plelami
- Sistema powerbuoy boya (OTP)
- Wave dragon
- Sistema hidroflot

5.1 SISTEMAS DE COLUMNA DE AGUA OSCILANTE (OWC)

Su nombre proviene del inglés (OSCILLATING WATER COLUMN). Este sistema es sencillo de comprender ya que se basa en la creación de una presión mediante las olas. Las cotas de las olas suben y bajan y la idea es que mientras el nivel del agua sube el aire debe salir por un tubo más pequeño. De este modo, como el caudal se conserva debe aumentar mucho la velocidad del aire. El aire se turбина.

Puede resultar contraintuitivo el funcionamiento ya que la turbina parece que giraría hacia un sentido cuando el agua sube y en dirección contraria cuando baja, pero por la geometría de la turbina gira siempre en la misma dirección. Esta turbina produce la energía eléctrica gracias al flujo de aire oscilante.

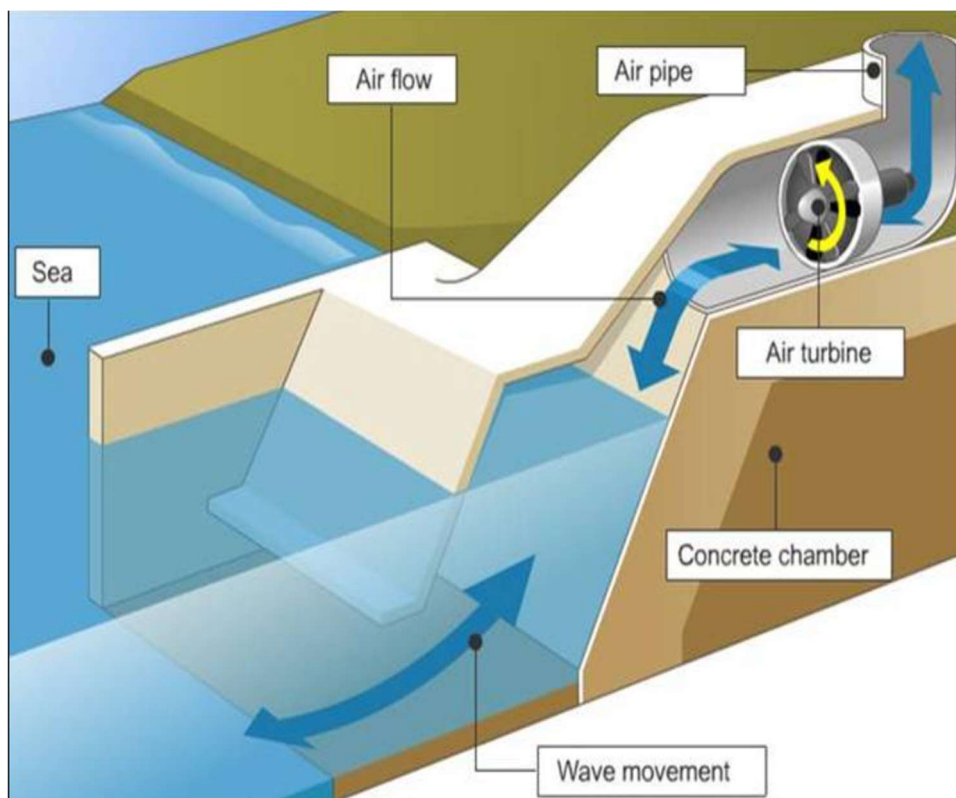


Ilustración 2/OWC/<http://aggageu.blogspot.com/2014/08/tipus-denergia-undimotriu.html>

5.2 SISTEMA ARQUÍMEDES

El principio de funcionamiento tiene mucho que ver con una bomba de tornillo. Hay una hélice con forma de tornillo que se sitúa en un tubo vertical y que se mueve con la energía de las olas. Esta hélice mueve el agua que mueve otra turbina y es capaz de generar electricidad.

El sistema Arquímedes no solo tiene esta forma de funcionamiento, sino que existen varios desarrollos de esta idea a lo largo del mundo. Es un sistema muy barato y eficiente por lo que es uno de los métodos que probablemente pueden ser más utilizados en el futuro.

5.3 SISTEMA WAVE STAR

Consiste en un sistema de boyas unidas a un sistema central. Hay sistemas de suspensión para cada boya. Wave Star tiene un sistema que mediante una regulación automática hace que las boyas suban y bajen a la velocidad y posición óptima. El sistema tiene mecanismos de protección ante las inclemencias del mar.



Ilustración 3/Wave Star/<https://www.neozone.org/ecologie-planete/wavestar-la-centrale-electrique-qui-utilise-la-houle-pour-produire-de-lenergie/>

En la imagen se observa como mediante las olas somos capaces de impulsar arriba y abajo la boya y ésta mueve un brazo que aplica una palanca en un pistón hidráulico. Mediante este pistón se genera electricidad. En la imagen inferior se observa lo comentado anteriormente.

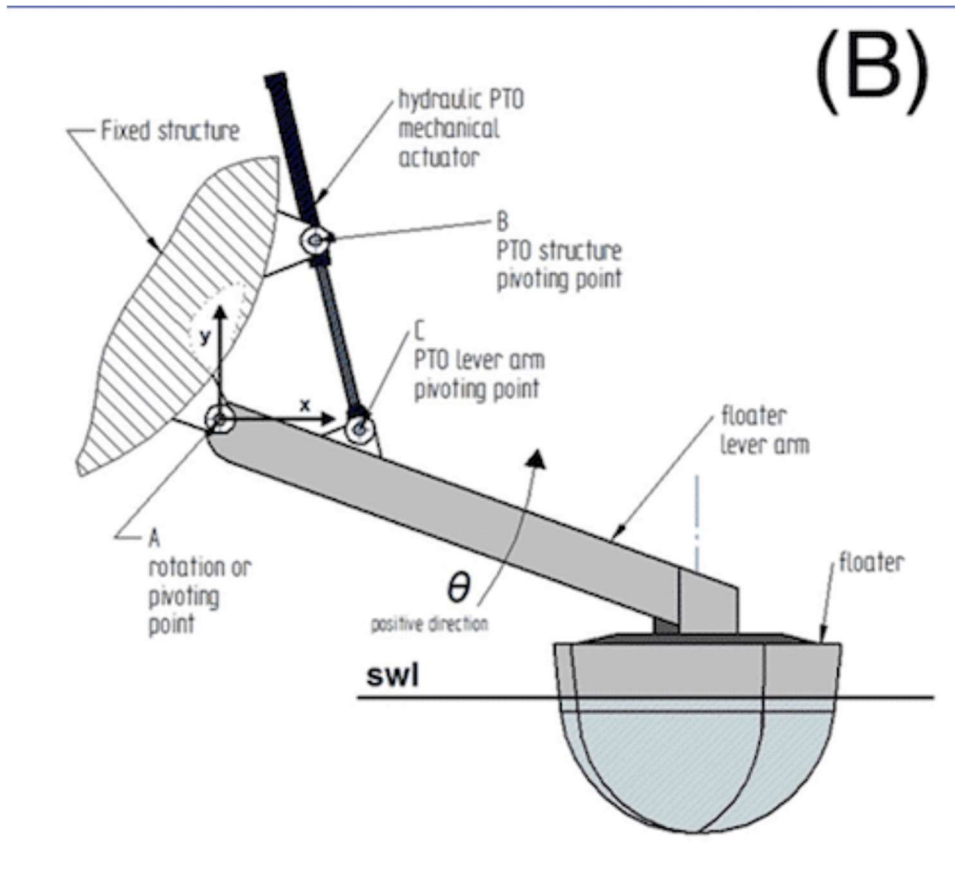


Ilustración 4/ Funcionamiento wave star/<https://ecoinventos.com/wavestar/>

5.4 SISTEMA BOMBA DE MANGUERA

El sistema bomba de manguera, aprovecha la elasticidad del elastómero que lo forma para que cuando estire la manguera, su volumen interior disminuya y por el contrario al acortar la longitud de la manguera el volumen aumente. La manguera tiene la longitud definida por la elasticidad de la manguera y los dos extremos de esta, un extremo está anclado y otro extremo lo mueve una boya.

El bombeo que se genera se turбина y produce energía eléctrica. Este tipo de sistema de producción energética se usa para alimentar boyas de navegación.

Uno de sus problemas es el estar sumergido y todas las complicaciones que el montaje y reparaciones conllevan.

Es un dispositivo altamente eficiente ya que para el espacio que ocupa produce una buena cantidad de energía. También tiene la ventaja de no ser un sistema que estorbe a las embarcaciones dado que está sumergido.

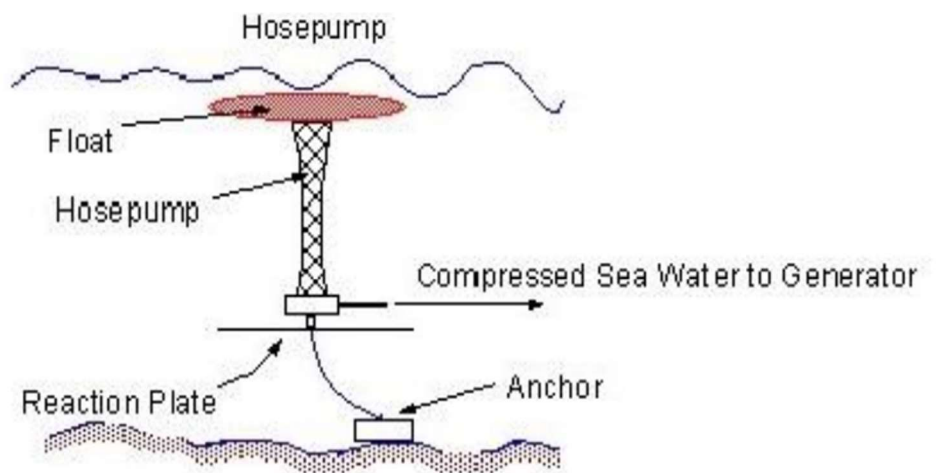


Ilustración 5/Bomba de manguera

5.5 SISTEMA TAPCHAN

El sistema Tapchan de producción de energía eléctrica se basa en turbinar agua. Este sistema se sitúa en la costa y la finalidad es hacer que las olas lleguen a llenar un depósito que almacena el agua que se va a turbinar posteriormente. En cuanto al mecanismo de captación se basa en la conservación del volumen. El depósito se encuentra por encima del nivel de las crestas de las olas, pero el embudo es capaz de convertir una ola larga y baja en una ola alta y estrecha ya que el volumen de fluido se debe mantener y esta conversión sirve para poder llenar el depósito.

En cuanto a su producción eléctrica es buena y tiene la ventaja de poder turbinar el depósito cuando convenga más. En cuanto al ratio volumen ocupado y producción es algo baja.

Para este sistema es necesario que la profundidad del agua cerca de la costa sea grande para que las olas no se disipen.

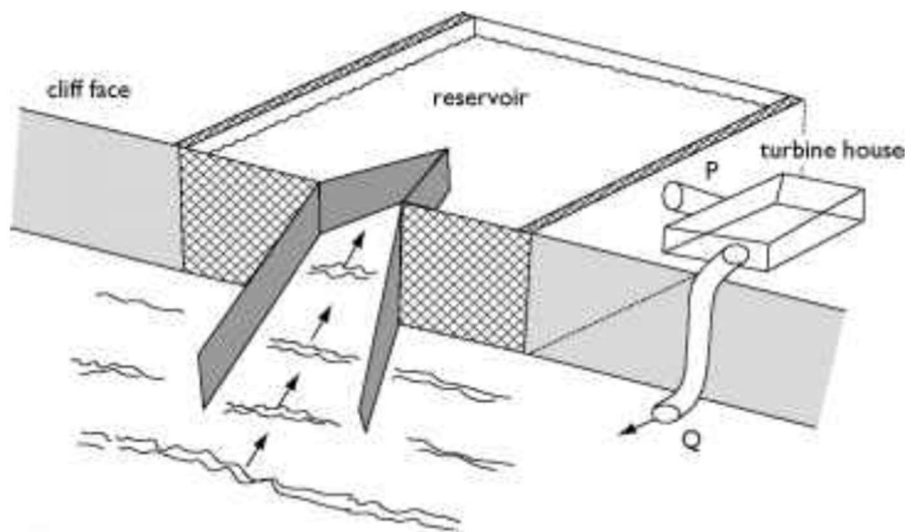


Ilustración 6/Sistema Tapchan/ <https://www.freeenergyplanet.biz/renewable-energy-resources/t-vxd.html>

5.6 SISTEMA PENDULOR

Este sistema funciona mediante unas palas que se mueven pendularmente con la marea. Este movimiento alrededor del eje de giro se transforma en un momento rotativo y este movimiento mueve un alternador que genera energía eléctrica. Se sitúa en la costa y recibe las ventajas que tienen este tipo de dispositivos.

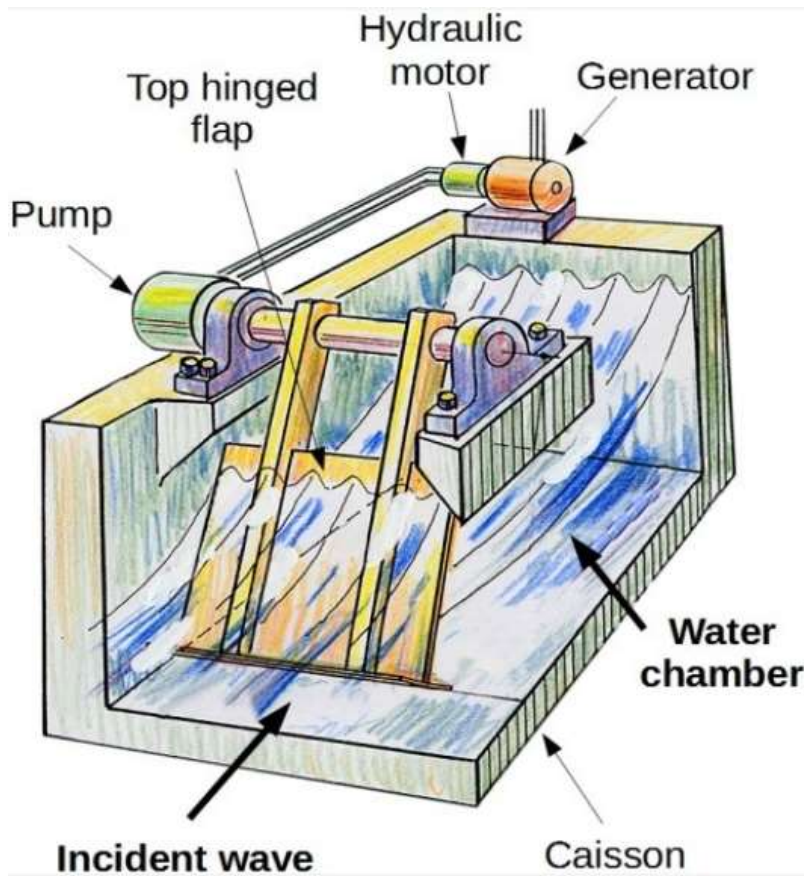


Ilustración 7/<https://www.mdpi.com/1996-1073/9/4/282>

5.7 SISTEMA PLELAMIS

Este sistema se basa de nuevo en mover una turbina. La energía que se extrae de las olas viene de un dispositivo con forma de serpiente, son una sucesión de cilindros articulados, cada uno de ellos tiene un movimiento relativo con respecto al cilindro adyacente y este movimiento se encarga de mediante émbolos mover un fluido por una turbina.

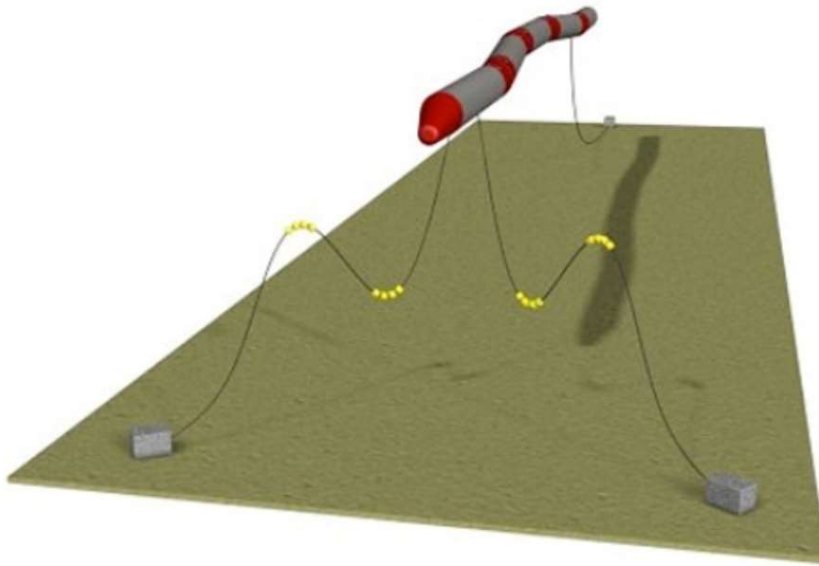


Ilustración 8/ plelamis/<https://afinidadelectrica.com/2020/05/22/pelamis-una-serpiente-marina-robotica-que-genera-energia-electrica/>

Como se aprecia en la imagen existen dos pistones hidráulicos que realizan el movimiento de agua para turbinado. Si se construyen unos 30 de estos dispositivos se puede llegar a alimentar 20.000 hogares.

Al ser un dispositivo flotante se sujeta al fondo mediante cables. Una de las desventajas de este dispositivo es que dificultan el tránsito de barcos por la zona debido a su tamaño y dimensiones.

5.8 SISTEMA WAVE DRAGON

Este sistema tiene similitud con el Sistema Tapchan. Mediante la disminución de la sección transversal o gracias a una rampa, lograr que la energía cinética de la ola se transforme en más altura. Estas olas más altas y menos veloces llenan de agua una bañera. La producción energética viene del propio turbinado del fluido.

Este concepto como he dicho es el mismo que en el Sistema Tapchan pero con la diferencia de que este Wave Dragon flota en el agua y Tapchan está en la costa. Con el problema añadido de que el mantenimiento se realiza en alta mar.

La producción energética es algo más baja que con otros dispositivos, pero es algo complejo que el sistema pueda llegar a sufrir daños, es decir no es muy necesario o común su mantenimiento, tratándose de un sistema sencillo y robusto.



Ilustración 9/sistema wave dragon/ https://www.researchgate.net/figure/Wave-Dragon-Courtesy-of-Wave-Dragon_fig2_330336753

Los brazos que se encuentran a los lados del dispositivo se encargan de concentrar la ola y como he comentado antes, reducen la sección. Como el volumen no cambia aumenta la altura.

La turbina que se usa es de baja presión ya que el agua que llega tiene mucho caudal pero poca altura.

Capítulo 6. CLASIFICACIÓN

Para el desarrollo del presente Proyecto será necesario contar con tecnologías de bombeo. Con el objetivo de realizar la mejor elección de sistemas disponibles vamos a describir los diferentes tipos de equipos, sus características y las aplicaciones más adecuadas de cada uno de los tipos.



Clasificación

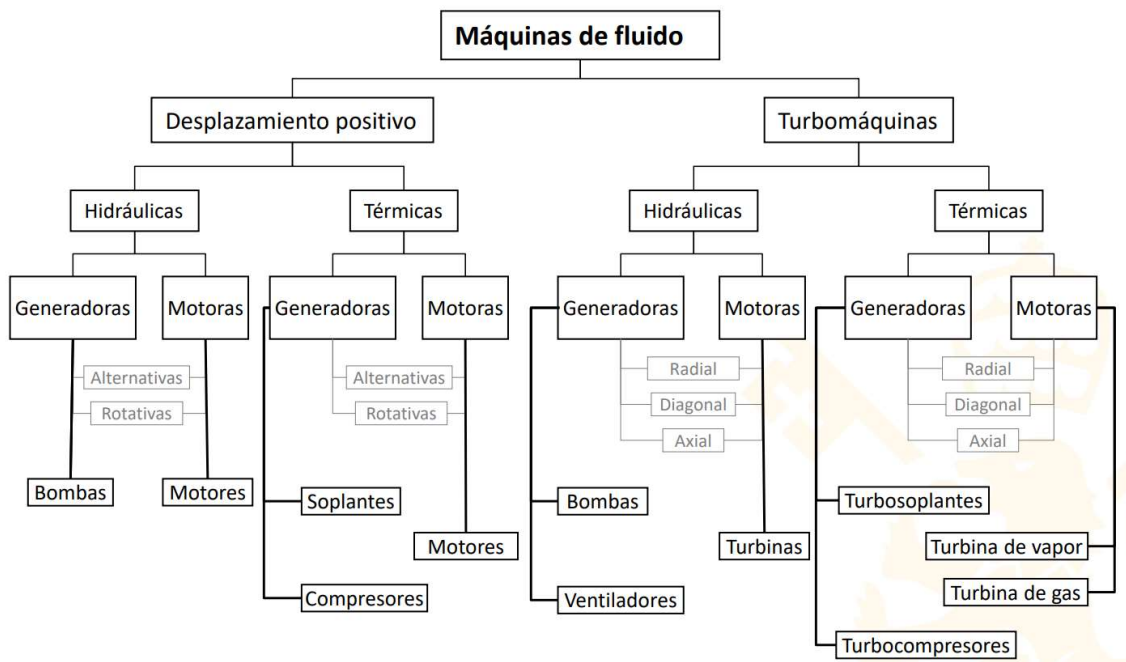


Ilustración 10/máquinas de fluido de https://sifo.comillas.edu/pluginfile.php/3626143/mod_resource/content/9/1.Introducci%C3%B3n%202022-23.pdf

Aquí disponemos de un diagrama de árbol en el que tenemos la distribución de máquinas de fluido. Como nos explicaron en clase la diferencia entre desplazamiento positivo y turbomáquinas reside en el cambio de volumen en las primeras y de la variación del movimiento cinético en las segundas.

Por ahora tanto desplazamiento positivo como turbomáquinas no presentan una mejor aplicación en el mar, sus ventajas son igual de valiosas.

El problema reside en ser capaz de aprovechar la energía marina, esta energía potencial y cinética tiene una dirección principal que es cambiante. La idea es estudiar el comportamiento de las olas y comprender esa dirección y que mi dispositivo se pueda ir adaptando a los cambios.

6.1 LAS OLAS

Hagamos un resumen de los distintos tipos de olas con el fin de observar si somos capaces mediante las olas de alcanzar un movimiento alternativo o un movimiento rotativo. Sabemos que ambos movimientos no tienen por qué aplicar a la forma de bombeo. Un claro ejemplo es el conjunto de biela – manivela. Este conjunto resuelve el cambio de alternativo a rotativo y de rotativo a alternativo. Si sucede esto tendremos el problema de perder algo de eficiencia en el propio mecanismo biela - manivela u otros como cremallera - tornillo sin fin junto a un engranaje.

Veamos los tipos de olas y de qué forma seremos capaces de alcanzar un compromiso entre dificultad de captación y eficiencia.

Se denomina ola a todo movimiento de carácter periódico en la superficie de un líquido. Las olas se forman por suma de olas, es decir tendremos dos ejes principales con direcciones de olas que suman una ola resultante. Para comprenderlo mejor, tendremos por ejemplo olas con dirección norte y oeste positivo que tendrán alturas y longitudes de onda distintas que sumándose nos otorgan la ola que verdaderamente se aprecia. Esto no es exactamente así, pero es una buena aproximación para comprender como son.

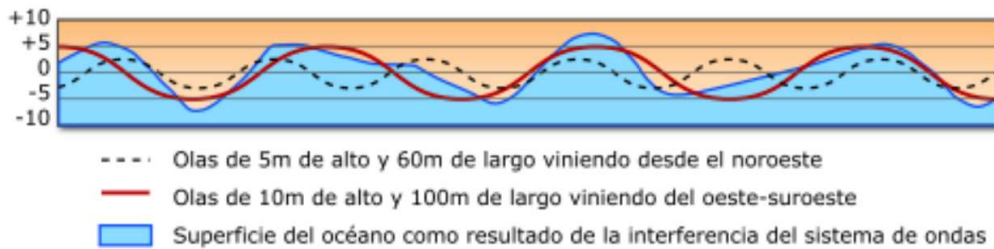


Ilustración 11/Ilustración 2 Ilustración que representa la forma dispar de las olas;
<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/9217/Estudio%20de%20las%20olas%20y%20su%20aprovechamiento%20en%20energia%20undimotriz%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Las olas se rigen por ecuaciones que son representadas por la serie de Fourier. Fourier decía que toda función periódica es capaz de ser representada mediante la suma de infinitas funciones senoidales. Y esto es exactamente lo que sucede con las olas, son funciones periódicas que no lo parecen ya que su periodo es muy grande y no somos capaces de ver esta periodicidad a simple vista. [1]

Tras comprender esto nos va aportando datos de que las olas son sumas de senoidales y que tenemos movimiento periódicos. Si pudiéramos separar las olas en una dirección como antes he comentado y solo aprovechar la ola norte o solo la ola oeste, el movimiento de la bomba recibiría una entrada de energía senoidal. Esta entrada periódica me produciría un bombeo constante ya que las oscilaciones de mi biela o mi manivela serían de una amplitud, fuerza y periodo constantes.

La idea es maximizar el rendimiento de la bomba, por lo que será de interés ver cómo aprovechar la energía de la bomba.

Los tipos de olas se clasifican en función de donde o que las produce. Las olas que nos interesan son las que se producen cerca de las costas y chocan con el litoral. Son las denominadas olas de traslación.

Las olas no son constantes todos los días, tienen distintas alturas y distintos periodos, esta consideración nos hace necesaria la disposición de valores representativos del oleaje en la zona.

Es de vital importancia tener en cuenta que las olas en alta mar tienen una forma y en la zona más próxima a la orilla toman otra, esto es obvio ya que cuando una ola rompe no puede tener el mismo movimiento que las que no rompen. (cuando digo romper me refiero a que la cresta deje de mantenerse sola y cae sobre la ola)

En la siguiente ilustración se indica exactamente como la forma de las olas no es la misma cerca o lejos de la orilla.

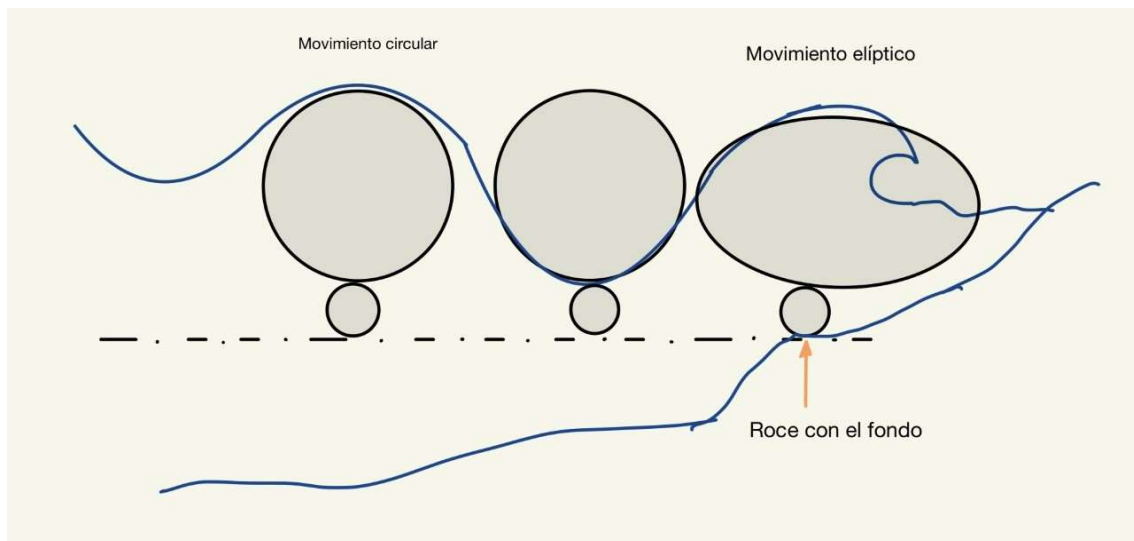


Ilustración 12/Ilustración de los movimientos de partículas en el agua

Es importante saber que cada círculo o elipse representaría el movimiento de una partícula de agua en la ola. La línea discontinua representa el punto de referencia sobre el cual el movimiento de todas las olas es genérico.

Como vemos las partículas de agua son desplazadas una mayor distancia si se encuentran en la superficie, tiene un movimiento circular mayor en alta mar y un movimiento elíptico mayor ambos en la superficie que comparados con los movimientos de agua cercanos a la línea discontinua que representa el punto de referencia de las olas.

Por lo tanto, nos encargaremos que la energía sea extraída en la zona superficial del mar.

Tipo de movimiento de la bomba

Teniendo en cuenta este movimiento circular o elíptico de las partículas la captación de energía puede seguir siendo alternativa o rotativa. Las dos formas que se me ocurren de captación están expresadas en este dibujo y pretendo justificar por qué tiene más sentido aprovechar un movimiento alternativo que rotativo.

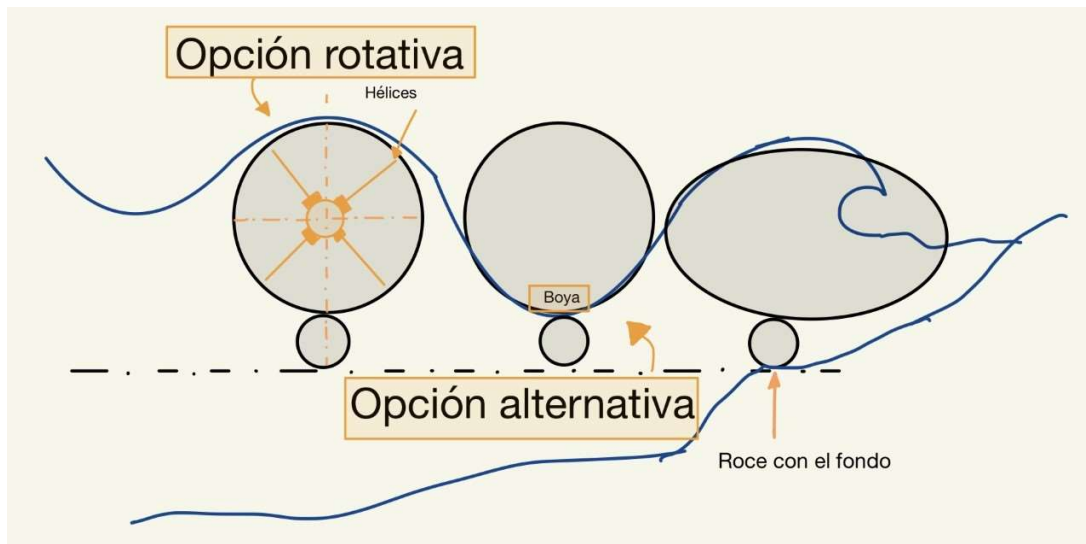


Ilustración 13/movimiento alternativo y rotativo aprovechable de la energía marina

En la representación de la imagen superior pretendo explicar los dos métodos para aprovechar el movimiento de las partículas de agua en el mar.

6.1.1 EL MOVIMIENTO ROTATIVO:

Este dispositivo se centraría en encontrar el centro de rotación de las partículas en cada trayectoria circular o elíptica. La idea sería situar una turbomáquina que mediante los álabes

reciba los golpes de partículas y realice mediante la conservación de cantidad de movimiento una transformación de la energía.

Este método tiene un problema porque para captar la mayor cantidad de energía debe centrarse en el eje vertical y ser capaz de rotar en el eje normal al vertical. La solución de centrado es posible en el sentido rotatorio como un molino de viento usando algo similar a una veleta, pero el constante centrado en el eje vertical es complejo y muy cambiante.

6.1.2 MOVIMIENTO ALTERNATIVO:

Esta idea de boya es mucho más simple para el aprovechamiento del movimiento de vaivén en el eje vertical. Pretendo mediante un centrado horizontal hacer que el desplazamiento de la boya sea puramente vertical y desplace algún tipo de émbolo.

Aquí como vemos el problema se simplifica y puedo obtener los beneficios de bombas alternativas.

En conclusión, pretendo aprovechar el vaivén de las olas y su movimiento periódico mediante una máquina alternativa que obtenga su energía del movimiento vertical. No me limito al uso de ese movimiento alternativo como tal ya que puedo todavía transformarlo en un movimiento rotativo.

Ahora que hemos resuelto el método de obtención de energía de la bomba pretendo hacer un desarrollo de algunos tipos de bombas que ya existen y distintos métodos de usar esta energía de las olas en su bombeo.

6.2 TIPOS DE BOMBAS ÚTILES PARA EL CASO

Las máquinas de cámara deformable, este tipo de bomba son las que la naturaleza ha creado en los seres vivos móviles como nosotros. El corazón humano es el ejemplo perfecto de una bomba de cámara deformable. Existen varios ejemplos de bombas de cámara deformable que podrían servir para aprovechar esta energía.

Uno de los tipos de bomba más interesantes son las bombas de diafragma.

6.2.1 BOMBAS DE DIAFRAGMA

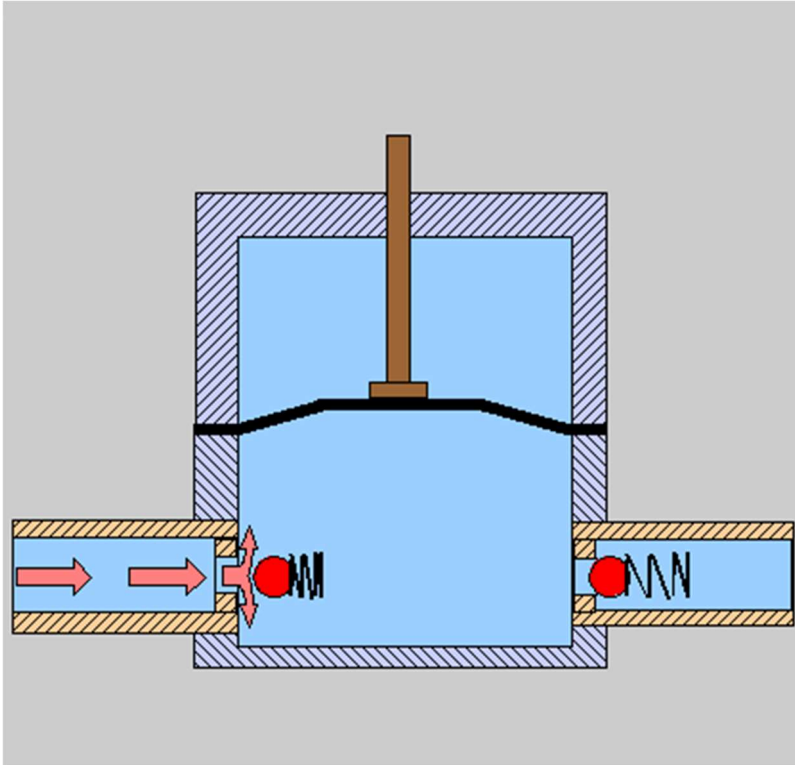


Ilustración 14/Bomba de diafragma <http://bombadediafragma.blogspot.com/2009/07/bomba-de-diafragma.html>

Este tipo de bombas, mediante la variación del volumen de la cámara, consiguen una presión positiva o negativa que mediante válvulas antirretorno logra bombear un fluido.

Como puede comprobarse, este tipo de bomba tiene las mismas características que la energía que aportan las olas (movimiento periódico alternativo centrado en el eje vertical).

Una de las implementaciones que tiene más sentido para un tipo de bombeo como este es el bombeo en alta mar, ya que son tuberías muy largas y de mucho caudal.



*Ilustración 15/Tipo de tuberías que pueden ser interesantes para el bombeo por cámara variable;
<https://new.qq.com/rain/a/20210421A0FALG00>*

El bombeo de gas a largas distancias o de petróleo es muy costoso debido a la gran longitud, caudal y presión necesarias para el proceso. Mediante la implantación de bombas de diafragma a cierta distancia en la línea se puede bombear el fluido de forma gratuita hasta su destino.

Estas bombas de diafragma tienen la ventaja de una larga vida útil con respecto a otro tipo de bombas, lo cual es perfecto para el bombeo en alta mar debido a la dificultad de las reparaciones.

El diseño del sistema de bombeo puede ser algo similar a esto:

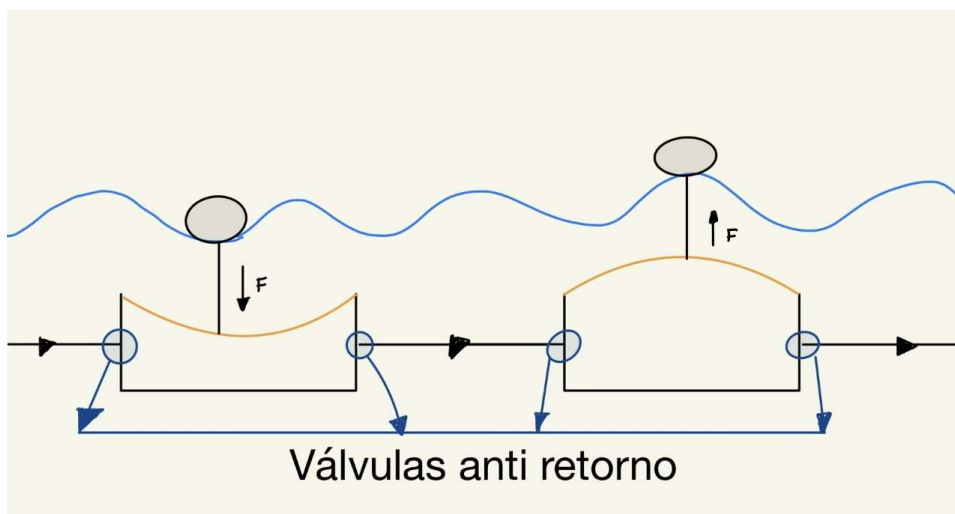


Ilustración 16/ Representación de un posible diseño

Este sistema de bombeo tiene como límite de resistencia el material que se usa en el diafragma. Éste debe tener una gran resistencia a la fatiga, pero por la propia configuración del equipo y al tener que combarse para generar el bombeo será capaz de soportar una presión menor que el resto de componentes del sistema de bombeo. Este diseño implica que la bomba es capaz de generar poca presión y por lo tanto es necesario colocar más boyas y bombas a lo largo de la tubería.

Otro de los métodos de bombeo por diferencia de volumen son las bombas de pistón.

6.2.2 BOMBAS DE PISTÓN

Se denominan bombas de pistón debido a que lo impulsa el fluido es un pistón.

Existen varios diseños, los principales son:

6.2.2.1 bombas de pistones radiales

En este tipo de bombas tenemos un eje que mueve la leva que se encarga de presionar de forma alternativa los pistones, que se encuentran situados de forma perpendicular al eje a la misma distancia unos de otros.

El número de pistones dependerá del tipo de uso, presión y caudal en función de la necesidad de la bomba, aunque lo normal en la gran mayoría son de 3 a 6 pistones, ya que menos de tres pistones es poco teniendo en cuenta que la leva debe dar 365 grados de vuelta. El número de pistones tope superior es muy elevado ya que al aumentar el tamaño pueden añadirse más pistones.

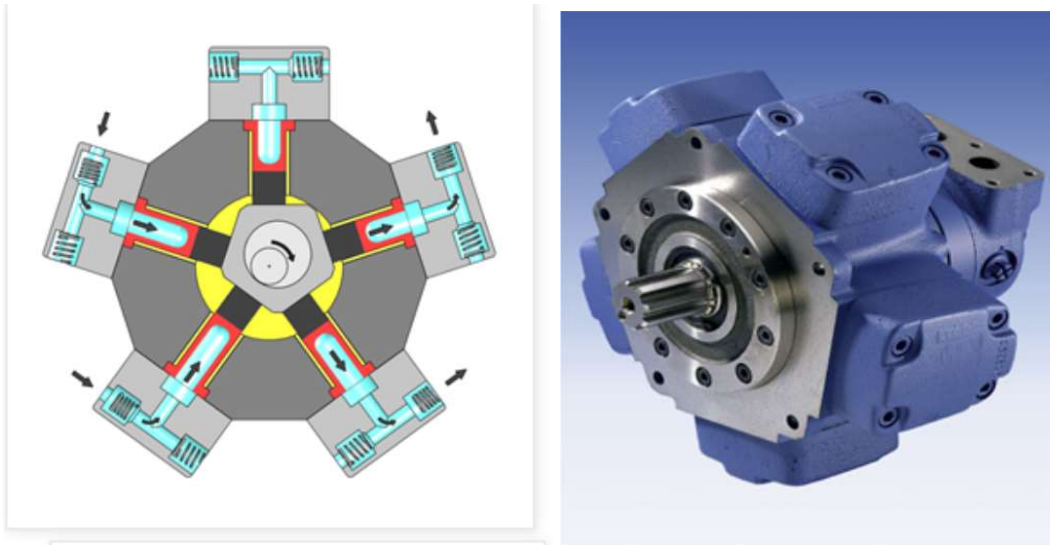


Ilustración 17/Bombas de pistón radiales/<https://www.xn--mecatrnic-lbb.com.co/2021/12/bombas-de-pistones.html>

6.2.2.2 -bombas de pistones axiales

Este tipo de bombas los pistones y el eje son todos paralelos. Estas bombas axiales pueden ser bombas que regulen además su caudal.

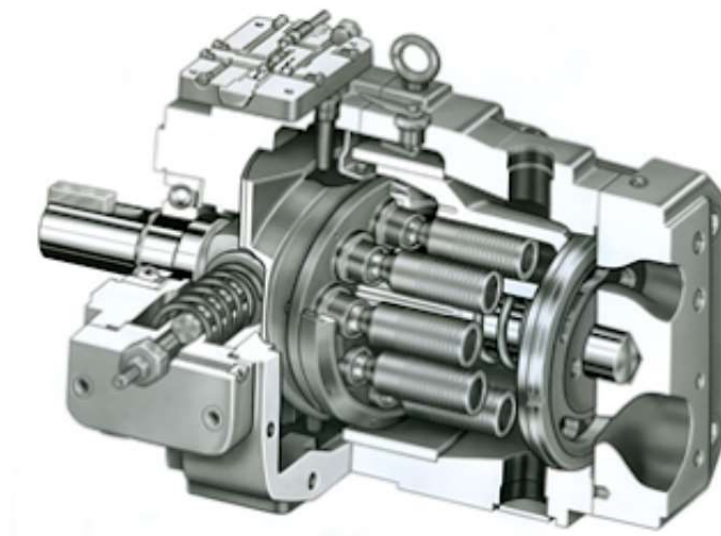
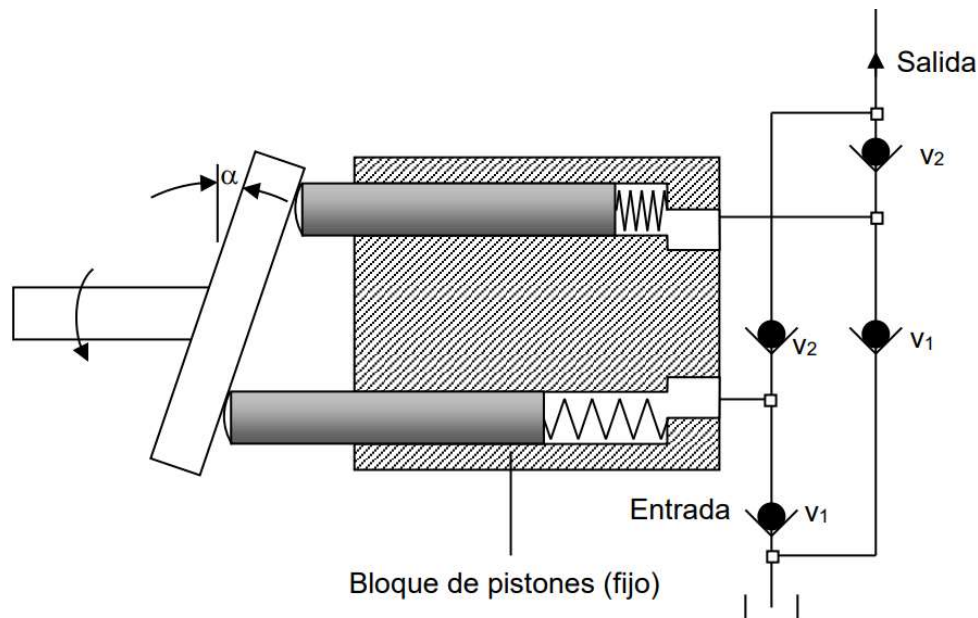


Ilustración 18/Bomba axial de pistón/ <https://www.xn--mecatrnic-lbb.com.co/2021/12/bombas-de-pistones.html>

La idea de este tipo de bombas es que mediante un plato basculante somos capaces de que un pistón individual tenga el movimiento de vaivén que buscamos. Unos pistones aspiran líquido mientras que los que se sitúan en el lado opuesto lo expulsan. Durante el recorrido hay 4 estados del fluido en el interior del pistón. En la primera fase no hay fluido y el pistón va ganando presión negativa hasta que llega a la toma de fluido. Esta es la segunda fase, el llenado del pistón. Tras el llenado comienza la tercera etapa que consiste en ganar presión y hacer que el fluido obtenga la presión deseada justo antes de salir que es la última etapa.



Aquí podemos ver una representación de las válvulas que son necesarias para el proceso de bombeo.

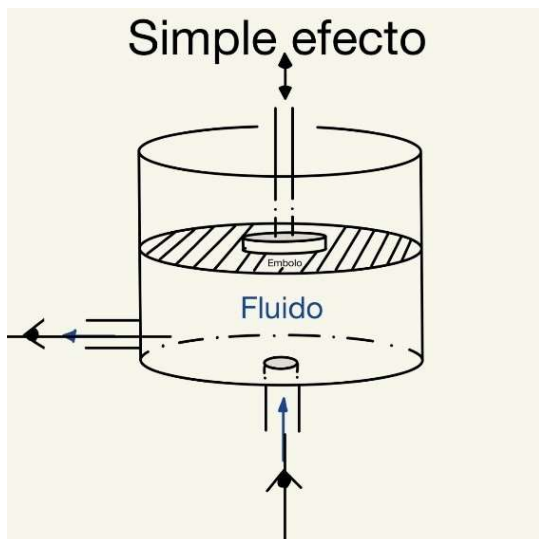
Este tipo de bombas de pistón tienen algunas ventajas e inconvenientes. Este tipo de bombas tienen muchas ventajas ya que este tipo de bombas tienen mucha eficiencia tanto mecánica como volumétrica, son bombas que para las dimensiones que tienen son capaces de generar una presión entre 700 y 1000 bares y manejan grandes volúmenes de fluido impulsando entre 1000 y 2000 L/minuto.

Respecto a los inconvenientes que presentan, el mayor problema de este tipo de bombas es el desgaste de los componentes mecánicos que las componen y desgraciadamente los costos

de mantenimiento son bastante altos. Otra de las desventajas es el ruido que generan durante su funcionamiento. Aunque hoy en día se ha mejorado bastante y resulta cada vez un problema menor.

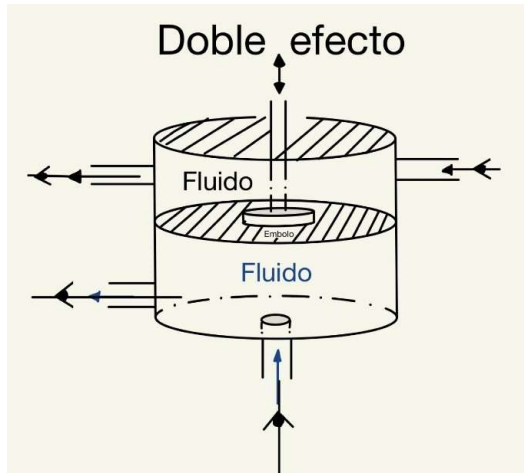
Teniendo en cuenta que las características y prestaciones que se pueden conseguir con este tipo de bombas, las bombas de pistón son ideales para generar mucha presión y al mismo tiempo ser capaces de mover mucho volumen mediante un movimiento recíproco.

Pensando en la aplicación de un sistema de bombeo que cubra las necesidades de presión y caudal para el sistema que pretendo diseñar en este Proyecto, las bombas de pistón de simple o doble efecto son la solución ideal.



La idea es que el vástago que empuja el émbolo este unido a una boya o plataforma que con el vaivén de las olas obtenga la energía para el bombeo.

Una bomba de este tipo puede bombear una vez por ciclo, considerando ciclo como subida y bajada del pistón (bombas de simple efecto) o puede bombear dos veces por ciclo (bombas de doble efecto). Todo es cuestión de las válvulas y de si es necesario aumentar el caudal haciendo doble la frecuencia de bombeo.



En este caso la bomba se alimenta de la misma manera que en el caso anterior con una plataforma o boya, la diferencia es que el volumen de líquido que se mueve es el doble que el que se movía antes.

El volumen que se mueve aumenta, pero las fuerzas que son necesarias producir con el émbolo aumentan ya que no solo generamos en uno de los lados presión positiva, sino que en el opuesto generamos presión negativa.

6.3 TURBOMÁQUINAS

Este tipo de bombas centrífugas puede dividirse en axiales radiales o diagonales, dependiendo de hacia dónde es impulsado el fluido con respecto al eje que impulsa los álabes.

Son el tipo de bombas más usadas y tienen la ventaja de que todos los motores son rotativos y el acoplamiento a un motor rotativo es directo y no es necesario como en bombas de pistón hacer el cambio de rotativo a alternativo, este cambio produce una mayor pérdida mecánica en la bomba.

Las turbomáquinas se alimentan de un movimiento giratorio el cual genera un momento cinético que, por su fuerza centrífuga, el fluido escapa hacia la parte externa del rodete.

El uso de estas bombas tiene algunas ventajas como es la capacidad de bombear grandes caudales con bombas pequeñas. El principal inconveniente de este tipo de bombas es que pueden sufrir vibraciones. Para proteger el equipo de estas vibraciones se cuida especialmente el diseño simétrico o la instalación de contrapesos en el propio rodete tras los alabes, que se encargan de generar un giro estable y sin vibraciones.

Este tipo de bombas son bastante silenciosas y tienen un mantenimiento sencillo, el acceso a los rodetes es simple y las piezas de recambio son sencillas de encontrar. En cambio, los recambios de bombas de pistón son más complejos ya que el pistón se desgasta y también se desgasta la cavidad donde el pistón bombea. Al ser dos piezas distintas las que se desgastan es más costoso el recambio de ambas.

Las bombas de esta clase se clasifican en función del número de etapas, estas etapas ayudan a con cada paso a aumentar la presión de bombeo, es la forma más eficiente de conseguirlo.

Se clasifican también según el número de flujos, teniendo simple o doble aspiración. La posición del eje es otro método de clasificación teniendo ejes horizontales verticales o inclinados.

Estas bombas se dividen en baja, media y alta presión. Bombas de baja presión entre 20 y 25 mca, de media presión entre 25-60 mca y de alta presión superando los 60 mca.

Este tipo de bombas son algo más complejas de alimentar con el movimiento marino. Puede haber tres formas de aprovechamiento del oleaje y transformarlo en un movimiento giratorio.

Opción 1: captar directamente un movimiento giratorio

Esta idea mediante el uso de un eje podemos captar la corriente marina circular mediante una turbina que esa propia turbina mediante el eje esté conectada a la bomba y la bomba se encargue de generar la presión y caudal necesarios.

Esta idea es compleja y poco eficiente como ya comenté anteriormente el punto de óptimo funcionamiento para captar el momento cinético es móvil y único para cada ola que pasa por

lo que el conjunto turbina bomba deben estar moviéndose todo el rato, por esta razón si el conjunto bomba turbina está estática no siempre alcanzamos un rendimiento óptimo.

Además, está el inconveniente de que las turbinas como las Francis y Kaplan se encuentran dentro de una caja espiral lo cual hace que estos diseños no puedan usarse para este método de captación. La idea sería usar una turbina de acción, pero este tipo de turbinas necesitan una gran presión de acción, por lo que de nuevo es imposible su funcionamiento.

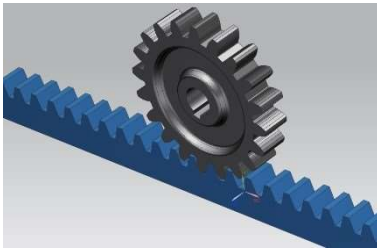
Por descarte tendremos que usar una turbina que se asemeje a los métodos de captación de energía por corrientes marinas. Este tipo de captación de energía no es undimotriz, es una captación de energía mareomotriz. En este caso el eje tendría que tener una gran longitud para que la bomba no interfiera en la corriente que pasa a través de la turbina. Otra opción es que la bomba sea lo suficientemente pequeña para albergarse tras el centro del ventilador.



Ilustración 19/<https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/energ%C3%ADa-turbinas-y-centrales-mareomotrices>

Si usamos energía mareomotriz en vez de undimotriz el bombeo de agua es posible mediante la implantación de una caja multiplicadora, el problema de las bombas rotodinámicas es que necesitan un mínimo de velocidad para impulsar el fluido, a diferencia de las de pistón que únicamente necesitan fuerza. La fuerza es más simple de generar en cambio si un día el mar tiene unas corrientes muy lentas sería imposible el bombeo. Con la bomba de pistón seríamos capaces aun teniendo olas muy pequeñas de generar una fuerza lo suficientemente grande.

Opción 2 y 3: captar el movimiento oscilatorio alternativo



Ilustración

20/<https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-son-los-engranes-de-pinon-y-cremallera-y-como-se-disenan/>

De nuevo mediante una boya que se encuentra en la superficie tenemos dos métodos de transformar el movimiento alternativo uno mediante el mecanismo biela manivela, y el segundo es mediante el uso de tornillo sin fin engranaje o cremallera engranaje.



Ilustración 21/<https://www.lozurytech.com/product-page/tornillo-sin-fin-8mm-x-500mm>

En el caso del tornillo sin fin, el eje que gira sería el propio tornillo y la parte del centro la que genera el movimiento rotatorio.

El tornillo sin fin y la cremallera son métodos que transforman el movimiento, pero el giro también sería alternativo. En mi caso busco un giro en una única dirección por lo que estos métodos no sirven. En cambio, el mecanismo biela manivela puede cubrir perfectamente mis necesidades.

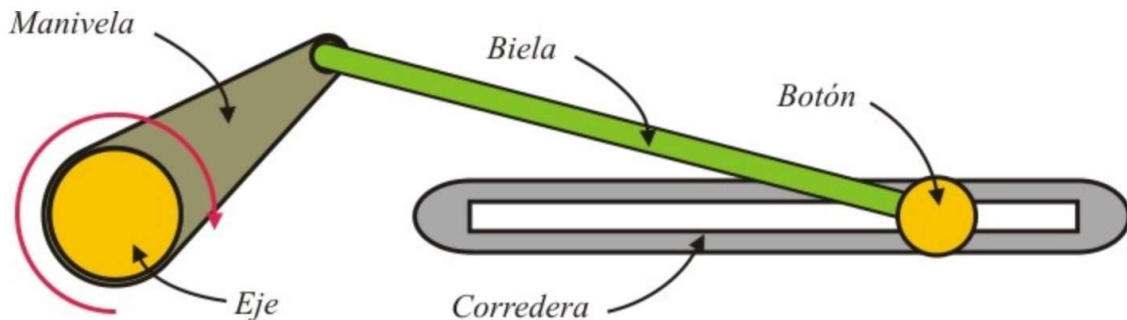


Ilustración 22/<https://sites.google.com/site/358maquinas/transmision-por-mecanismo-de-biela-manivela>

En la zona que pone botón tendríamos acoplado un flotador que mediante el movimiento de las olas acciona la manivela hace que el eje gire y este impulse una bomba rotodinámica.

En cuanto al eje tendríamos la necesidad de acoplar una caja multiplicadora para la turbomáquina.

Existen más métodos de bombeo los cuales no nombraré debido a que su funcionamiento mediante energía undimotriz es algo complejo.

Capítulo 7. INTRODUCCIÓN A MI DISPOSITIVO DE BOMBEO

Mi dispositivo pretende tener una superficie flotante que empuja el émbolo. Los distintos estados en los que puede encontrarse la plataforma dependen de si la ola está llegando o se está alejando. Para mi diseño voy a suponer un movimiento guiado y en el que la plataforma sufra las menores embestidas horizontales posibles.

El desplazamiento horizontal que sufrirá la plataforma se va a deber al movimiento que tiene la partícula situada en la cresta, si la ola se mueve a la derecha el desplazamiento de la plataforma será también a la derecha.

Corresponde ahora hablar del método de bombeo que busco realizar. En mi caso pretendo que el proyecto bombee una desaladora. También calcularé una balsa para bombeo de agua y posterior turbinado. Dicho esto el diseño de la bomba será para la desaladora, en el caso de la balsa dispondré de la posibilidad de unir la bomba ya diseñada a otras iguales en serie o paralelo.

Como anteriormente se ha comentado la desalación es un proceso que depende ampliamente de una diferencia de presiones, esto nos indica que las bombas de desalación son bombas de pistón. Este tipo de bombas son las utilizadas en los procesos de ósmosis inversa ya que necesitan altas presiones.

En mi caso lo que pretendo es el abastecimiento de la desaladora que se suele realizar con bombas rotodinámicas, pero como he comentado antes usaré bombas de pistón.

En cuanto a si será de simple o doble efecto en mi caso será simple como también he comentado antes.

Para hacer más eficiente el funcionamiento de una bomba de pistón interesa disponer de un mayor caudal de bombeo y aumentar el número de ciclos que con los que oscila o funciona el embolo.

Con el objetivo de aumentar el caudal de bombeo y en consecuencia el volumen de la cámara de compresión, podemos aumentar la altura o el diámetro del cilindro. Dicha optimización depende del tamaño de ola. La altura media de la ola puede permitir hacer que la longitud tenga un máximo y un mínimo. El factor más limitante es cuando la ola tiene poca amplitud por lo que decido hacer un embolo ancho y de corta carrera.

Capítulo 8. EMPLAZAMIENTO

Para hablar del emplazamiento en el cual pretendo situar mi dispositivo primero debemos definir el uso o finalidad que va a tener.

8.1 FINALIDAD

La finalidad del proyecto consiste en la generación de un vector energético mediante el aprovechamiento de la energía undimotriz. Este vector energético pretendo que sea en forma de presión y caudal, ya que me da la posibilidad de que mi dispositivo tenga una finalidad algo más compleja que simplemente generar electricidad y un abanico de usos más completo.

Entre los usos que le puedo dar a mi dispositivo pretendo seleccionar y analizar varias utilidades y ver cuál de ellas puede ser óptima para este tipo de bombeo.

Entre las aplicaciones que puede tener un sistema de bombeo de agua salada está el proceso de desalación. La captación y suministro de agua salada a la planta junto con el proceso de desalación a través de membranas de ósmosis inversa son procesos de alto consumo energético.

Para esta aplicación, pretendo dimensionar la estación de captación de agua marina para una planta desaladora con toma abierta.

La segunda aplicación es la reconversión de ese vector energético que está formado por caudal y presión y transformarlo en electricidad limpia mediante el uso de una turbina que genere electricidad. Este uso es algo menos interesante ya que puede tener poco rendimiento, ya que la conversión y reconversión hace que sea menos eficiente que si solo convierto, es decir, convertir energía del mar en energía eléctrica puede tener unos rendimientos más altos que convertir la energía del mar en energía hidráulica y reconvertir la energía hidráulica en energía eléctrica.

La tercera aplicación sería utilizar el vector energético formado por caudal y presión para el bombeo de agua marina hasta un embalse situado a una diferencia de cotas lo suficientemente grande como para poder generar energía eléctrica mediante turbinado en horas de mayor consumo energético y poder cubrir puntas de demanda de energía de manera eficiente y sostenible.

Por ejemplo, en la presa del Salto de Chira (Central hidroeléctrica de bombeo reversible Salto de Chira) se realiza algo similar pero el bombeo es de agua ya desalada. En esta presa aprovechan la presión de salida del agua desalada y con esa presión el agua es bombeada a la presa de Soria y entre la de Soria y la de Chira se realiza el bombeo para su posterior turbinado.

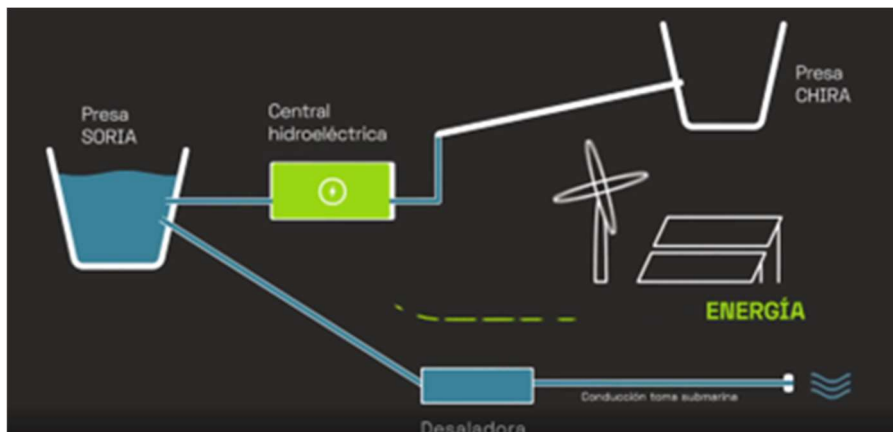


Ilustración 23/Representación del salto de chira/<https://saltodechira.com/>

Este tipo de centrales de bombeo son muy interesantes ya que constituyen un sistema de almacenamiento de energía. Es muy útil el almacenamiento energético en forma de energía potencial, y hoy día es común la búsqueda de nuevos métodos de almacenamiento energético. Se están desarrollando tecnologías como elevar peso para recuperar la energía más tarde o tecnologías que almacenan energía en forma de inercia. Esta inercia que gira mantiene su energía y puede ser aprovechada más tarde.

Como vemos este tipo de central, que se abastece con energía limpia, es capaz de almacenarla hasta el momento en que sea necesario usarla.

Como mi dispositivo pretende aprovechar el oleaje y en función de este debo dimensionar el dispositivo de bombeo, pretendo realizar un estudio lo más realista posible que me determine el dimensionamiento del dispositivo encargado del bombeo.

8.2 UBICACIÓN: DISTANCIA A LA COSTA

Es importante decidir a qué distancia se encontrará de la costa y del fondo marino.

La división existente entre unos tipos u otros de emplazamiento reside principalmente en la profundidad que estos tengan.

Es decir, los dispositivos de primera generación denominados onshore también están situados en la costa, ya sea en los rompeolas en un acantilado o en zonas cercanas a la playa. Estos poseen una de las mayores ventajas puesto que su mantenimiento es sencillo y la forma de anclarlo al fondo es poco compleja comparado con dispositivos que se sitúan a mayor profundidad y deben de tener unos procedimientos de cimentación más complejos.

Los dispositivos de segunda generación que se encuentran en aguas poco profundas entre 10 y 40 metros se denominan nearshore debido a su relativa cercanía a la costa. Estos suelen tener gran tamaño y se benefician del peso para su apoyo en el fondo. Mantienen las ventajas de la cercanía a la costa, pero aumenta el coste de transporte hasta la plataforma. En el caso de nearshore sumergido los costes de mantenimiento son más elevados.

Por último, los dispositivos de tercera generación no pueden estar apoyados, deben estar sumergido o ser flotantes y se encuentran en fondos de entre 50 y 100m. Estos aprovechan la mayor cantidad de energía que ofrece el alta mar, pero el problema reside en que su mantenimiento es mucho más costoso por lo que se desarrollan con tecnologías muy fiables poco propensas a fallo.

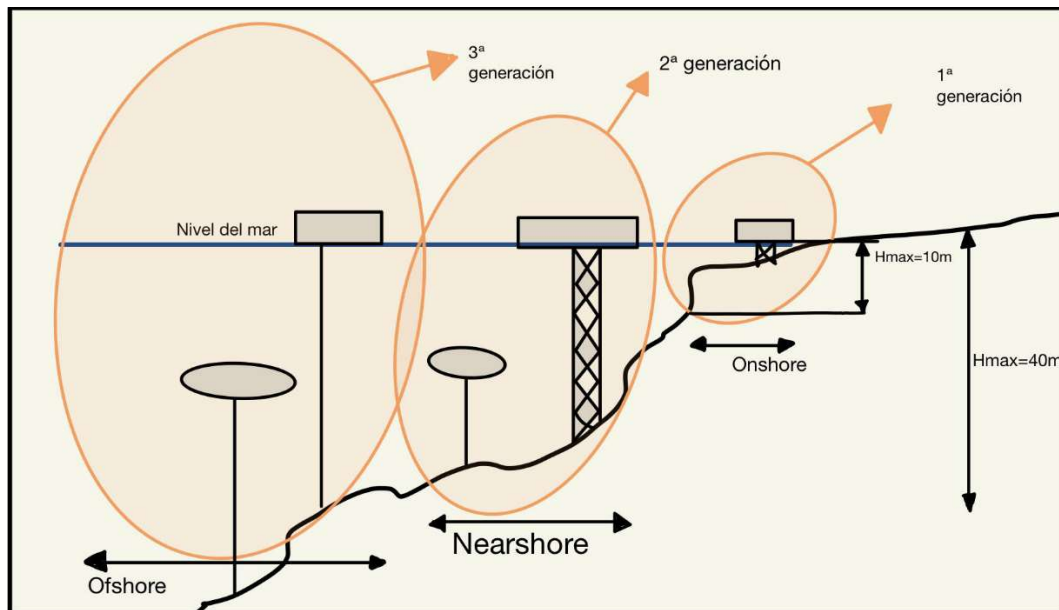


Ilustración 24/Emplazamiento en función de la proximidad a la costa

Mi dispositivo busca un compromiso entre la mayor producción de energía de alta mar y unos costes razonables de construcción.

La elección del emplazamiento adecuado para la instalación del dispositivo va a ser clave para el diseño final y la construcción de dicho dispositivo de bombeo. Y a mi parecer las ventajas que tienen los dispositivos nearshore o onshore son mucho mayores que offshore.

Independientemente de si la aplicación final va a ser una central de generación de energía o el abastecimiento de una desaladora, que son mis dos ideas principales, el hecho de tener el sistema de bombeo lo más cerca posible de tierra, evita tener grandes pérdidas de carga en una tubería extra y por tanto el sistema puede dar más metros de columna de agua de presión.

Tras descartar un dispositivo offshore queda decidir si quiero que se encuentre apoyado en la costa o más profundo. En mi caso elegiré nearshore ya que para la idea que tengo de dispositivo final hará su funcionamiento más fácil.

Veamos un mapa de España donde podamos encontrar los oleajes

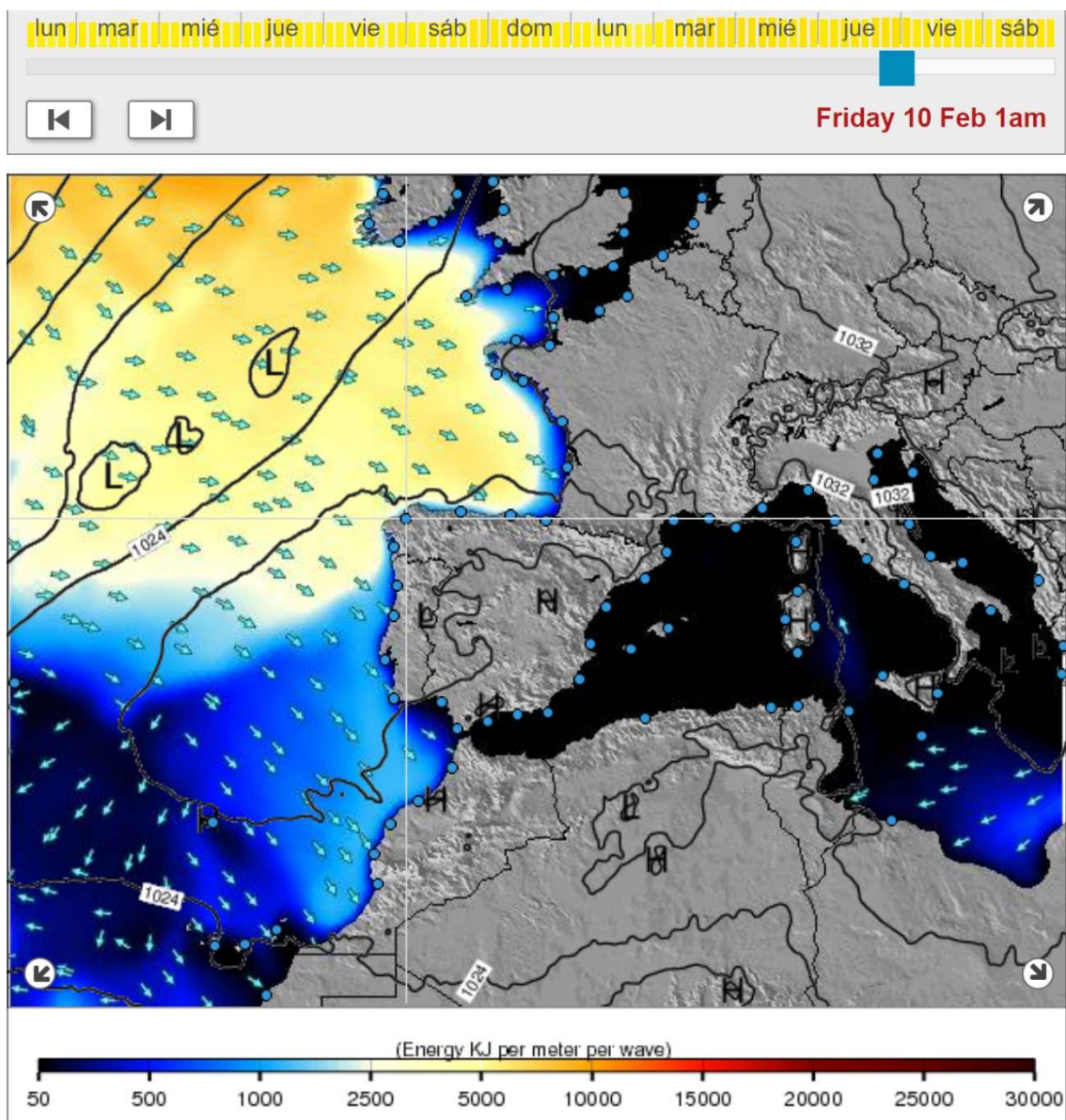


Ilustración 25/Mapas Animados de Olas (Oleaje) & Viento para España

En esta imagen vamos observando que a simple vista en este mes hay una superioridad energética en la zona norte de España en cuanto a altura de la ola como a energía que poseen sus olas. Este mapa es del 10 de febrero y no representa todo el año, pero podría decirse que es un buen ejemplo, el oleaje en el atlántico es mucho mayor que en el mediterráneo y también sucede lo mismo con zonas del norte como Cantabria

Hablaré más en profundidad sobre los lugares en los que podía haber oleaje suficiente tras ver que zonas españolas optan por desaladoras.

8.3 EMPLAZAMIENTO DESALACIÓN

Comenzaré con la selección del emplazamiento para la aplicación de suministro a planta de desalación. Aquí debemos evaluar dos opciones porque hay una contraposición de intereses.

Las zonas con mayor oleaje son las que menos desalinizadoras poseen y por el contrario las zonas con poco oleaje tienen mayor número de desalinizadoras.

La desalación de agua en una zona en concreto se debe a que la necesidad de agua potable es mayor que la existencia de agua tratable mediante depuración.

8.3.1 FACTORES DE DISPONIBILIDAD DE AGUA

Los factores que pueden hacer que la disponibilidad de agua sea menor como hemos visto en clases de ingeniería medioambiental son varios:

- Los cambios climáticos afectan a que zonas que previamente tenían una mayor disponibilidad de agua tengan menos. Estas fluctuaciones son importantes, pero no tanto como los demás factores que voy a comentar.
- Aumento de la población en diversas zonas, la población se mueve por la economía no por la existencia de emplazamientos correctos para el correcto desarrollo de ciudades. Durante toda la historia de la humanidad las ciudades y pueblos se han construido cerca de fuentes de agua potable pero poco a poco mediante métodos de depuración y desalinización entre otros se ha conseguido poder construir nuevos emplazamientos en zonas que a priori no tan aptas para ello. Ciudades que se han construido en oriente como Dubái o Doha son el perfecto ejemplo de esto.

En Emiratos Árabes Unidos las temperaturas son altísimas y el nivel de lluvia es prácticamente nulo y han sido capaces de hacer llover mediante descargas eléctricas a las nubes.

- La falta de agua dulce puede deberse a la contaminación del agua ya existente, esta puede ser por causas humanas o del terreno.

Las causas humanas más comunes son la contaminación de las aguas por deficientes tratamientos de residuos en fábricas, industrias ganaderas y por el uso en agricultura de fertilizantes. Todos estos contaminantes viajan en agua subterránea desplazándose disueltos por gravedad.

Las causas no humanas corresponden a minerales que han sido disueltos en el agua haciendo necesario un tratamiento para ello, el principal motivo de agua no potable son los suelos kársticos.

- La sobreexplotación de los recursos hídricos, por ejemplo por usos agrícolas, que puede paliarse mediante la construcción de infraestructuras, como es en España el trasvase Tajo - Segura.

Una planta desaladora se necesita por poca disponibilidad de agua potable, en España las zonas con terrenos kársticos se encuentran



Ilustración 26/ TIPOS DE RELIEVE: GRANÍTICO, KÁRSTICO Y SEDIMENTARIO /
<http://historiaparaaburrir.blogspot.com/2012/11/tipos-de-relieve-granitico-karstico-y.html>



Ilustración 27/Dureza del agua en España / <https://www.aquaprof.es/info/descalcificadores/dureza/>

Podemos observar como el agua en España tiene buena calidad en la zona norte haciendo innecesaria la construcción de una desaladora. En la zona norte aún con zonas de terreno kárstico como Bilbao, los embalses son capaces de tener aguas blandas o medias debido a la abundante precipitación.

En cambio, en las zonas de costa española de Levante y costa mediterránea es habitual encontrarnos con suelos de roca caliza por lo que la desalación es una de las principales soluciones.

En cuanto a las islas, la utilización de los sistemas de desalación es muy importante. El aprovechamiento de las precipitaciones es complejo por la menor superficie de ríos y embalses, y a que gran parte de la lluvia es torrencial y se desplaza rápidamente al mar por escorrentía.

8.4 POTENCIA DEL MAR

El mar es el fluido que más capacidad energética posee de la tierra, sin contar con el magma que se encuentra bajo tierra. Decir esto es algo aparentemente obvio, pero para expresar mejor la magnitud hablaré de que genera esa energía y lo compararé con otros cuerpos que poseen mucha energía.

La primera razón por la que el mar tiene mucha energía es por el sol. El mar está constantemente siendo incidido por el sol y este genera corrientes de convección, como pasa en la tierra con el viento. Si el mar no tuviera otros métodos de obtención de energía podría compararse a ese gran potencial energético que es tan aprovechado en la tierra con molinos eólicos.

La segunda razón son las fuerzas gravitatorias, el sol, la luna y todos los planetas que se encuentran en algún momento cerca de la tierra generan con su atracción una fuerza igual de poderosa que es capaz de hacer subir o bajar los niveles de costa (mareas) en algunos lugares hasta en unos 10 metros.

La tercera y última de las razones que voy a comentar es la existencia de energía térmica. Esta es tan notoria que hace que la temperatura en sitios costeros sea mucho más estable durante todo el año. El efecto termorregulador se ve por las mañanas cuando el ambiente tarda más en calentarse y por las noches que tarda más en aparecer el frío, además de la influencia de las corrientes que transportan agua fría o cálida a otras zonas.

Claro está que el mar tiene gran capacidad energética pero el problema reside en la dificultad de su aprovechamiento.

Como veíamos en el apartado anterior la desalinización es necesaria en zonas del este de España y en las islas (Baleares y especialmente Canarias), pero por motivos evidentes, en las islas puede existir un compromiso muy interesante entre la energía de las olas y la necesidad de desalinización.

	Potencia media en el exterior, P_w (kW/m)			
	Media	Desviación típica	Máximo	Mínimo
Asturias	35,14	1,15	37,3	33,47
Galicia	37,97	2,34	41,27	33,22
Andalucía	4,50	1,17	7,56	2,91
Murcia	3,08	0,85	4,25	2,14
Valencia	2,96	0,36	3,72	2,33
Cataluña	4,17	1,66	7,51	2,37
Baleares	5,11	1,69	8,74	2,68
Canarias	13,59	6,03	23,67	2,63
Melilla	5,40	0,64	6,03	4,17

Tabla 1- Evaluación del potencial de la energía de las olas.

Si mi dispositivo tuviera la intención de generar únicamente energía, el emplazamiento claro sería Galicia, pero pensando en poder cubrir también la aplicación de desalación, las islas pueden ser la ubicación ideal.

En Baleares la energía que podemos obtener de las olas es muy baja. En Canarias el potencial energético es mucho mayor, pero tenemos como inconveniente que sus olas tienen gran desviación típica (la más grande en todo España).

Pasemos ahora a la evaluación de Islas Canarias, ya que cumple con mis necesidades para ambas aplicaciones y es la zona con demanda de desalinización que al mismo tiempo tiene un mayor potencial energético.

En la tabla siguiente puede observarse el potencial energético en las Islas Canarias dividido en si se encuentra en la zona norte, sur, este u oeste.

	Energía media anual bruta específica (MWh/(año.m))			
	Indef.	100 m	50 m	20 m
Canarias N	158,92	97,62	92,34	68,58
Canarias E	8,32	7,54	6,50	6,07
Canarias S	0,00	8,15	6,76	4,34
Canarias W	54,45	44,22	44,74	48,29

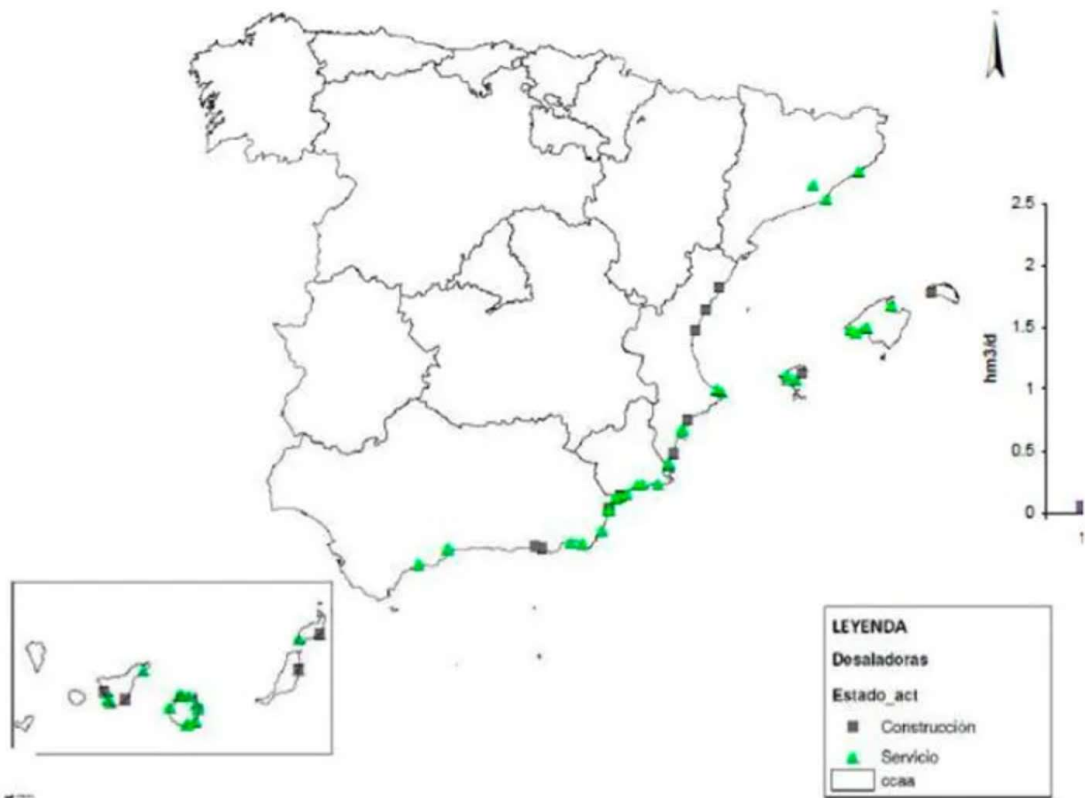
Tabla 2- Evaluación del potencial de la energía de las olas.

Esta tabla nos expone la distancia del litoral a la superficie y la potencia media anual bruta específica. Entre todos los casos vemos que la zona norte tiene un mayor potencial. Por tanto las Islas Canarias tienen gran potencial ya que sus datos anuales son prometedores.

8.5 DESALACIÓN ESPAÑA

Las plantas desaladoras en España (Islas Canarias, Islas Baleares y Península Ibérica) se encuentran en las ubicaciones indicadas en el siguiente mapa.

Centrando el análisis en las plantas desaladoras instaladas en las Islas Canarias, vamos a analizar cuál de las desaladoras tiene una presión de trabajo que encaje con las que pueden generarse en mi dispositivo de bombeo y cuál de ellas se encuentran en una zona cuyo oleaje disponga de suficiente energía.



Fotografía: Localización de las principales plantas desaladoras en España. Foto: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Ilustración 28/<https://www.fundacionaquae.org/wiki/plantas-desaladoras-en-espana/>

Podemos observar que Gran Canaria dispone de una distribución de plantas desaladoras activas alrededor de toda la isla. También Tenerife posee de plantas bien distribuidas. Ambas islas nos permitirán la selección de la ubicación con mejor oleaje.

Hablemos del desarrollo de la desalinización en España y como ha ido evolucionando. En las islas la necesidad hídrica ha estado siempre. En la siguiente tabla se observa como las precipitaciones anuales en Canarias son mínimas. Esta poca precipitación hace que canarias tenga una enorme concentración de plantas de desalación.

8.5.1 FALTA DE AGUA EN CANARIAS

La falta de agua en Canarias es un problema endémico de la zona y se debe principalmente a tres razones, la primera es la más obvia y tiene que ver con su localización geográfica. Canarias está situada en el Atlántico y concretamente en una de las zonas más áridas.

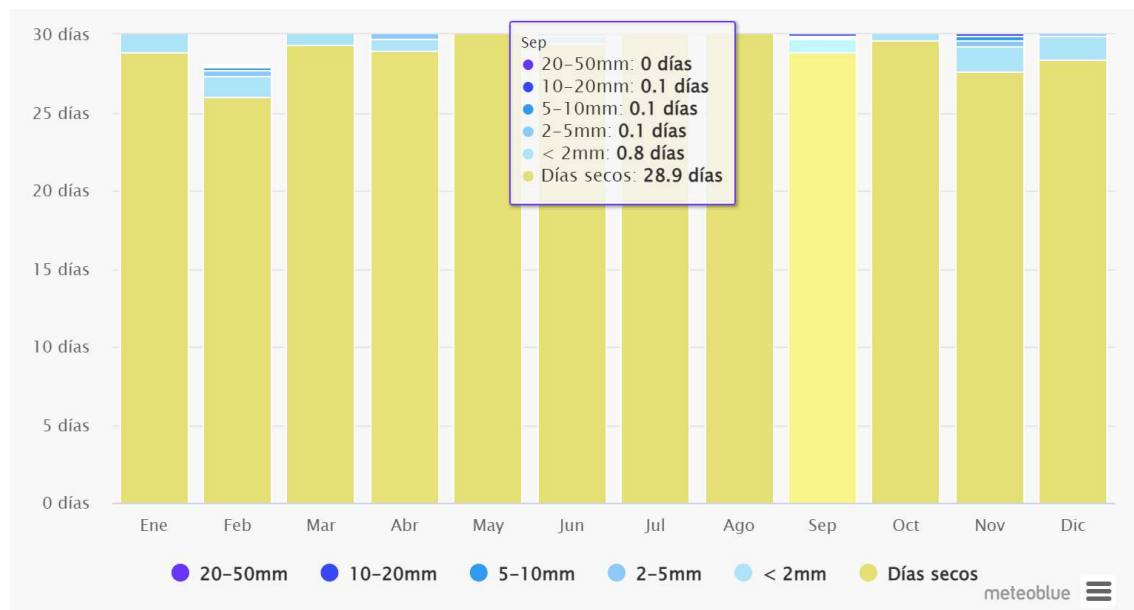


Ilustración 29/Precipitación en canarias por mes-
https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/islas-canarias_espa%C3%B1a_2520308

“Canarias tiene un Clima Subtropical. Sus características principales son: - temperaturas cálidas pero suaves la mayor parte del año (18-25°C), gracias a la influencia del Anticiclón de las Azores y a la Corriente Fría que pasa por las aguas del Archipiélago.

- *precipitaciones escasas e irregulares, que se producen, predominantemente, durante el invierno, cuando alcanzan a Canarias las Borrascas procedentes del Atlántico Norte.*” [8]

No hay más que ver la vegetación endémica de canarias que principalmente son plantas que han evolucionado para crecer en zonas con poca lluvia. Canarias obviamente tiene zonas con vegetación de otro tipo, ya que hay zonas que suelen tener más precipitaciones, pero se encuentra a altitudes concretas y se benefician de los efectos de la lluvia en zonas montañosas.

Por lo que la primera razón es que llueve muy poco, como se ve en la tabla que hay más arriba. Pero no solo esto importa, ya que existen zonas con pocas lluvias pero por otras circunstancias tienen más disponibilidad de agua. El problema que tiene Canarias es el terreno montañoso. La pendiente de las laderas de las montañas son una de las razones por las que cuando precipita el agua no puede penetrar mucho en el suelo y escapa por escorrentía. Esto pasa en zonas montañosas con grandes pendientes, pero no es el único problema ya que adicionalmente en Canarias el agua que se filtra en el subsuelo no es retenida debido a la porosidad de la tierra volcánica.

La última razón de peso por la que el agua es escasa es la poca superficie de terreno en las islas, esto sumado a la pendiente hace que existan pocas zonas lacustres o transitadas por un río, lo común son lechos secos por los que corre agua cuando llueve.

8.6 DESALACIÓN EN CANARIAS

La construcción de plantas desaladoras sin duda ha ayudado al crecimiento económico de las islas Canarias. La primera planta desaladora española se construyó en el año 1964 en Lanzarote.

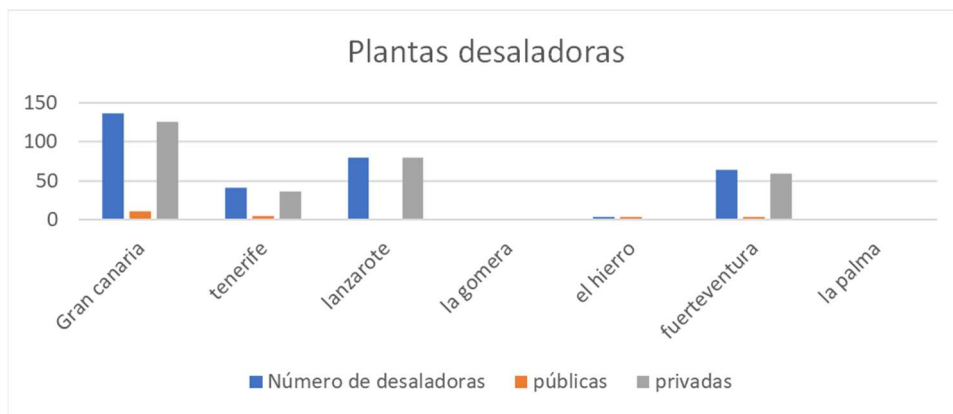
El agua proveniente de desalación además de atender el consumo humano y animal ayuda a la economía canaria al poder atender las necesidades de regadío de sus plantaciones de

plátano. La agricultura de regadío en las islas supone un 53% del total de agua dulce consumida.

Adicionalmente, las Islas Canarias reciben en torno a unos 15 millones de turistas anualmente. El tratamiento de desalación del agua del mar es indispensable para poder mantener el turismo, y con el aumento constante de la población se hace necesaria la reutilización de aguas residuales y la búsqueda de generación de agua potable extra.

Canarias posee 281 plantas desaladoras en las Palmas y 46 en Santa Cruz de Tenerife.

Tabla 1/ plantas desaladoras en canarias/<http://www.aguasgrancanaria.com/agua/desaladoras.php>



Para la selección de la ubicación de la planta desaladora y recabar información sobre el funcionamiento de este tipo de instalaciones, he contactado con la empresa CADAGUA, una de las principales compañías españolas especializadas en este tipo de instalaciones y una de las empresas encargadas de la desalación y depuración de muchos emplazamientos.

D. Francisco Javier Arrieta Morales, Jefe del Departamento de I+D+i de CADAGUA, me aportó información sobre las plantas desaladoras existentes para tenerla en cuenta a la hora de elegir la ubicación de la planta.

De la información aportada de todas estas plantas, las dos más interesantes son las siguientes a los efectos de este trabajo son las siguientes:

GRAN CANARIA

IDAM Las Palmas III 80.000 m³/d

Desaladora del Sureste. 33.000 m³/d. Captación mediante 17 pozos de 150 m de profundidad

Desaladora Arucas-Moya. 15.000 m³/d. Captación mediante 6 pozos

TENERIFE

Desaladora de Santa Cruz. 28.800 m³/d. Captación mediante 13 pozos

Desaladora de Granadilla de Abona. 14.000 m³/d.

Desaladora de Valle San Lorenzo

Desaladora de guía de Isora

Tras verlas todas la más interesante es la desaladora de Arucas - Moya situada al norte de Gran Canaria, uno de los requisitos que tenía mi fuente de energía.

8.7 EMPLAZAMIENTO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Para la otra aplicación basada en generación de energía eléctrica, también necesitamos seleccionar el emplazamiento de la central hidroeléctrica. Para elegir una ubicación para una central de estas características es necesario tener en cuenta los requerimientos para poder construir un embalse de almacenamiento de agua.

Las principales variables a tener en cuenta para seleccionar un emplazamiento u otro son las siguientes:

- El volumen de agua que puedo embalsar y el que necesito para cubrir las necesidades de generación de energía.

- Nivel de permeabilidad del terreno. Teniendo en cuenta que se trata de un almacenamiento de agua salada, será necesario conocer el nivel de permeabilidad del terreno para evitar la contaminación del subsuelo.
- Terreno suficientemente estable como para poder soportar el peso del embalse y en su caso de la presa.
- Accesibilidad del embalse. Este punto es de gran importancia ya que si mi presa no es medianamente accesible la construcción de la presa puede ser muy cara y hacer inviable el proyecto en términos financieros.

(Por simplicidad del análisis a realizar en la selección de posibles emplazamientos, voy a pasar por alto el análisis de los niveles de impermeabilidad o estabilidad del terreno).

Para la selección de la zona donde se va a ubicar el embalse debemos tener en cuenta el volumen de almacenamiento necesario (condicionado también por la cantidad de fluido que pueda bombearse con el sistema proyectado ya que el turbinado no será el más limitante), y la altura de la que vamos a disponer (también en función de la presión de bombeo) y que va a generar una diferencia de potencial suficientemente grande para garantizar una correcta generación eléctrica.

Plantear este sistema de generación de energía en Canarias, supone un reto importante, teniendo en cuenta que el mix de generación de energía es muy limitado. En el archipiélago se consume entorno al 90% de energía fósil para la producción energética, con poco impacto de las fuentes renovables o más sostenibles.

¿A qué se debe esta falta de recursos renovables en las islas?

Esto se debe a un conjunto de factores, el principal es la orografía del territorio canario. Este relieve es causado por el simple hecho de ser islas volcánicas.

Hace unos 35 millones de años las erupciones en la placa tectónica africana en la frontera con la placa euroasiática crearon el conjunto de islas conocido como dorsal medioatlántica. Las erupciones llegaron a crear el conjunto de islas que incluso hoy día tiene volcanes activos como en la Palma.

En cuanto a la generación hidráulica, en las Islas Canarias la escasa lluvia genera escorrentías, pero no hay grandes balsas de agua ni ríos, por lo que este tipo de generación no es viable.

En las Islas Canarias el terreno ha sido creado por la erupción de volcanes durante miles de años como ya he comentado. La tierra volcánica tiene la peculiaridad de ser porosa y permitir a través de ella el flujo de agua y aunque pueden darse zonas más impermeables que otras, lo más común es la permeabilidad del suelo.

En cuanto a la construcción del embalse, con fines de almacenamiento y generación de energía, no es posible su llenado con agua marina, ya que la salinidad del agua puede producir varios tipos de daños: entrada de agua salada en ríos y ecosistemas terrestres, no solo de vida en gran escala, sino también a pequeña escala, incluyendo la pérdida de hábitats, ya que las especies animales y vegetales no están adaptadas a las condiciones de salinidad. También pueden producirse problemas en la agricultura ya que la salinización del suelo impide el correcto desarrollo de la vida y por último problemas en el suministro de agua potable y contaminación de las aguas dulces subterráneas.

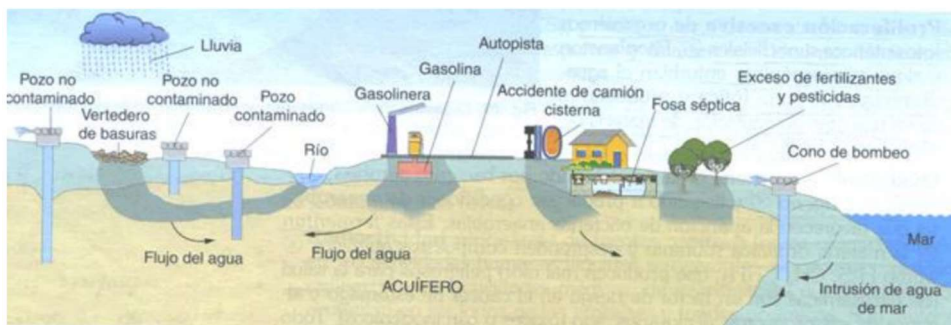


Ilustración 30/Transmisión de la contaminación y nivel freático

Como se puede observar en esta imagen el fluido que se encuentra embalsado se desplaza hacia el nivel freático y en su camino contamina la zona cercana y por difusión va dejando diversas zonas contaminadas. El nivel freático no tiene por qué ser horizontal por lo que es necesario realizar un estudio de su distribución.

La capa freática es la altura en una zona del suelo a la que la presión atmosférica es la misma que la presión del agua. Por así decirlo por debajo del nivel freático los poros del suelo están llenos de líquido y por encima de este los poros pueden tener agua o aire.

En conclusión, por todos los motivos comentados anteriormente no es viable realizar un embalse en el que el agua pueda permear por el fondo del lago. Pero existen formas de que el suelo pueda impermeabilizarse para evitar que filtre el agua salada y se produzcan los daños al ecosistema.

Teniendo en cuenta que va a ser necesaria una impermeabilización de la zona las dimensiones del embalse se reducen al igual que el acceso a la zona debe ser mucho más sencillo por causas técnicas de la construcción del embalse.

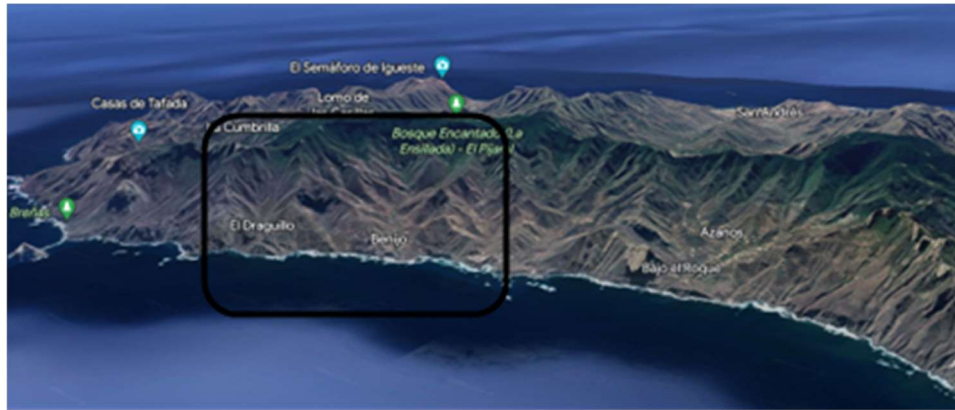
En base al racional anterior, he seleccionado la isla de Santa Cruz de Tenerife para la ubicación del embalse ya que es una de las islas más escarpadas y las alturas cerca de la costa es suficientemente alta como para que la diferencia de potencial del agua pueda generar suficiente energía.

En cuanto a la fachada he elegido la zona norte por la potencia de las olas.

En las siguientes imágenes indico la ubicación del posible emplazamiento del embalse.



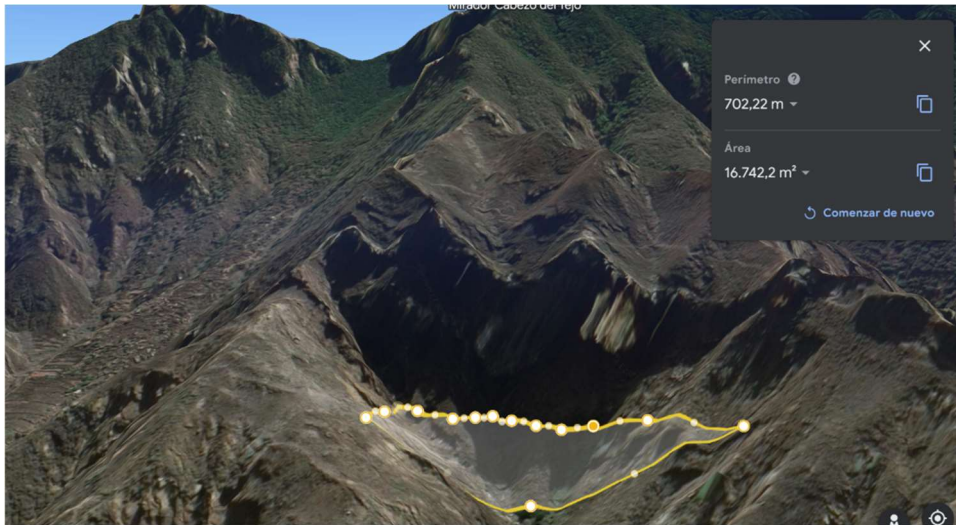
Ilustración 31/Ubicación de la presa/ imagen extraída de Google earth



La zona se encuentra entre El Draguito y Benijo, ambas localidades están en contacto a través de un camino este nos aporta el acceso necesario para la construcción del embalse.



La idea es aprovechar el desnivel de la fachada para con una presa estrecha y alta ser capaz de almacenar el fluido.



Capítulo 9. DISEÑO DE LAS INSTALACIONES DE APLICACIÓN DEL VECTOR

De las posibles aplicaciones del vector de caudal y presión que hemos venido comentando previamente (desalación, turbinado directo y acumulación por bombeo) vamos a trabajar y estudiaremos las instalaciones de desalación y la de acumulación por bombeo.

9.1 INSTALACIÓN Y REQUERIMIENTOS PARA SUMINISTRO A UNA PLANTA DE DESALACIÓN

El principal problema de diseñar el dispositivo para la aplicación de desalación es que es un proceso de alto consumo energético por las altas necesidades de presión para la ósmosis inversa. Es decir, la parte más cara del proceso no es el transporte de agua salada hasta los filtros de arena, aunque esta es la parte de los procesos de bombeo de la estación de desalación que cubriré con el dispositivo de bombeo que estoy proyectando.

En este proyecto particularmente seleccionaré la desaladora de Arucas Moya, por la ubicación que tiene y por su capacidad de producción de 15.000 m³/h.

Como ya he explicado en el Capítulo de Emplazamiento, interesa especialmente situar el dispositivo de bombeo en la zona norte, ya que es donde existe una cantidad de olas muy superiores energéticamente.



Ilustración 32/<https://llamaradasenlanoche.blogspot.com/2010/12/banderas-de-los-municipios-de-gran.html>

Como se puede apreciar, en términos de energía, el posicionamiento es perfecto y se encuentra al norte en la isla de Gran Canaria.

Esta desaladora tiene 15.000 m³/d, en mi caso y como recomendación de D. Francisco Javier Arrieta Morales realizaré el cálculo de la desalación como si mi desaladora produjera 20.000 m³/d.

Para una planta de desalación con este dimensionamiento las principales características son:

- Recovery 45%
- Consumo de agua de lavado de filtros 2%
- Consumos internos 0,7%

Por tanto, el caudal de agua de mar requerido para una planta de 20.000 m³/d sería de 45.669 m³/d, es decir, **1.903 m³/h es el caudal que debemos bombear con el dispositivo de bombeo a diseñar.**

Para calcular el dispositivo de bombeo será necesario suponer una frecuencia constante de olas, es decir que representaré todas las olas como su ola media y con su amplitud frecuencia y longitud de onda media.

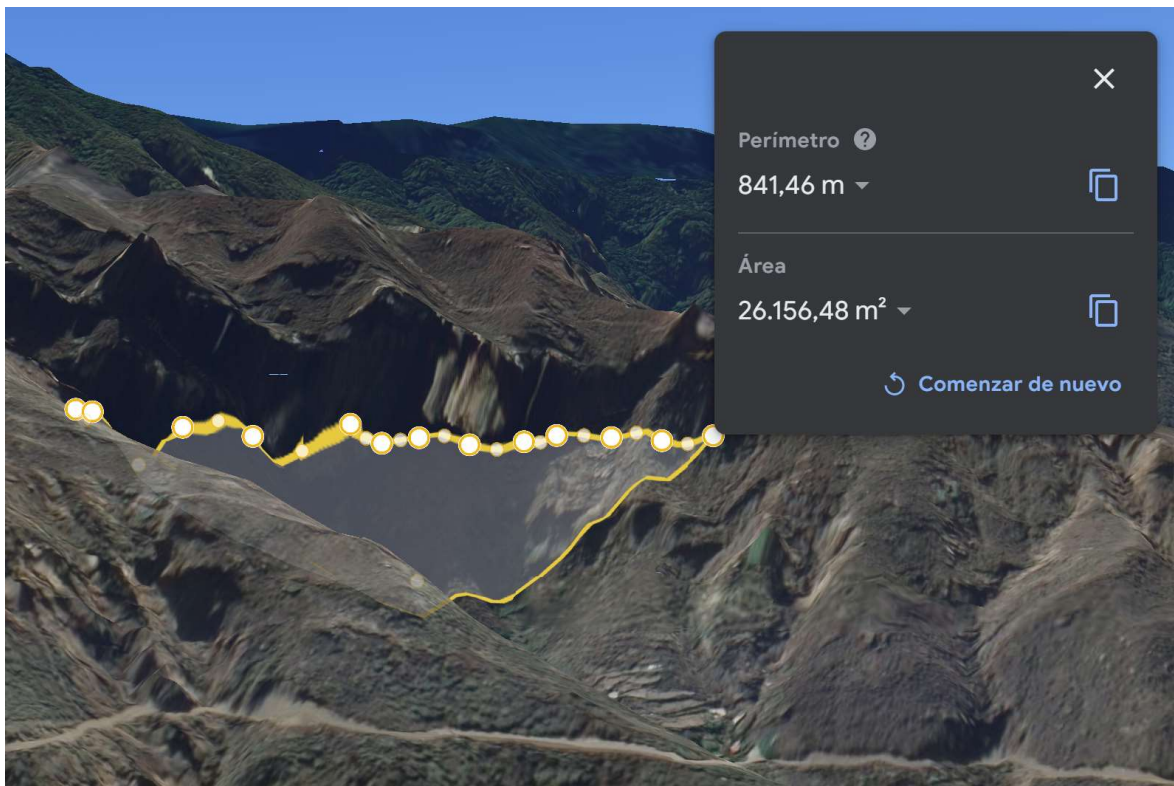
9.2 INSTALACIÓN PARA EL PROYECTO DE ACUMULACIÓN POR BOMBEO

9.2.1 CONSTRUCCIÓN DEL EMBALSE

La construcción del embalse representa una de las partes más importantes del proyecto de acumulación por bombeo y turbinado. El embalse y en su caso la presa, representa la capacidad que tendremos para turbinar y es el potencial de esta presa el que debemos aprovechar.

Para el diseño del embalse de acumulación he tenido problemas en cuanto al cálculo del volumen del mismo ya que la obtención de las curvas de nivel es compleja y laboriosa. Dicho esto, he procedido a hacer una estimación del volumen que podríamos tener.

En la siguiente imagen se encuentra seleccionada la zona de la presa. Esta tendrá como altura máxima del agua 300m, y teniendo su zona más baja a 181m.



La planta de la presa tiene forma de media elipse por lo que voy a obviar los complejos cálculos por superficies que me llevarían un tiempo y supondré que mi presa fuera elíptica porque como vemos en la siguiente imagen la vista de perfil de la presa es también circular

por lo que voy a calcular el volumen de un cuarto de elipse y con ello hacer el dimensionamiento de la presa.

$$v = \frac{4}{3} \pi R_1 R_2 R_3$$

Aplicando la fórmula obtenemos un volumen de $V=10,92 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, pero este es el volumen de la elipse completa por lo que la capacidad aproximada del embalse es de $2,7323 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

En cuanto a la construcción de la presa no puede ser de escollera con núcleo, ya que este tipo de presas están construidas con un núcleo de arcilla. Como hemos comentado anteriormente, el suelo en las islas Canarias es de origen volcánico por lo que construir una presa de este tipo no es viable. Como alternativa posible se plantea la construcción de una presa de pantalla que tiene el mismo procedimiento de construcción, pero con la diferencia de que la impermeabilización no se realiza con arcilla sino utilizando conglomerante hidráulico o geomembrana de polietileno.

Dicha impermeabilización se utilizará en toda la superficie del embalse al tratarse de un almacenamiento de agua salada.

9.2.1.1 Aliviadero y rebosadero

Dentro de un embalse y particularmente en la presa, la infraestructura del aliviadero es imprescindible, ya que permite liberar aguas torrenciales y evitar que el llenado de la presa sea excesivo pudiendo comprometer la estructura. El dimensionamiento del aliviadero debe ser capaz de sobrellevar crecidas de carácter excepcional.



Ilustración 33/aliviadero/<https://es.dreamstime.com/fotograf%C3%ADa-de-archivo-aliviadero-hidr%C3%A1ulico-de-la-presa-image25771422>

Es importante también el desagüe de fondo que sirve para vaciar la presa completamente para otros usos tales como limpieza y mantenimiento. Se suelen construir con un par de válvulas la primera es de uso común y la segunda es de seguridad.



Ilustración 34/Desagüe de fondo/<https://ingeoexpert.com/articulo/sistema-hidraulico-presas-consideraciones-generales/>

Estas imágenes corresponden a otro tipo de presa en mi caso como es una presa de tipo pantalla, que es muy similar en la construcción a una presa de escollera.

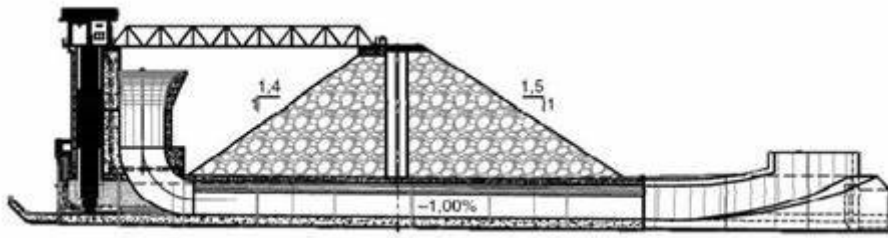


Ilustración 35/ Desagüe en presas de escollera/<https://www.elsevier.es/es-revista-ribagua-revista-iberoamericana-del-217-articulo-aplicacion-del-metodo-sph-al-S2386378116000049>

Este es el método de aliviadero en este tipo de presas al igual que el desagüe de fondo.

Este desagüe será el que se encargue de proporcionar la salida al turbinado.

Para evaluar la necesidad de construcción de aliviadero, ya que se trata de un embalse que no tiene aporte agua fluvial, debemos tener en cuenta las aguas de escorrentía que pueden ser vertidas al embalse en función de las zonas de influencia que están a mayor altitud.

Ilustración 37/ Representación de la zona en la que precipita

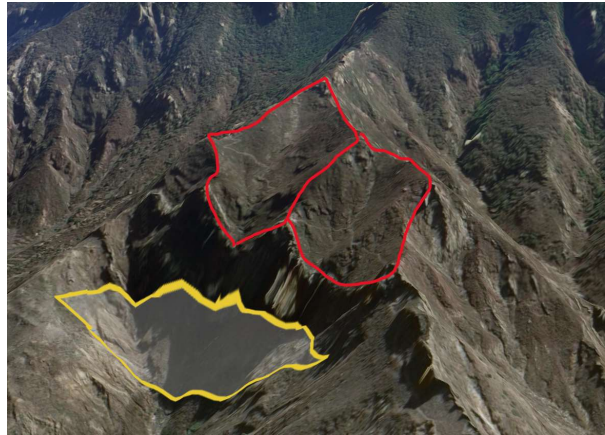
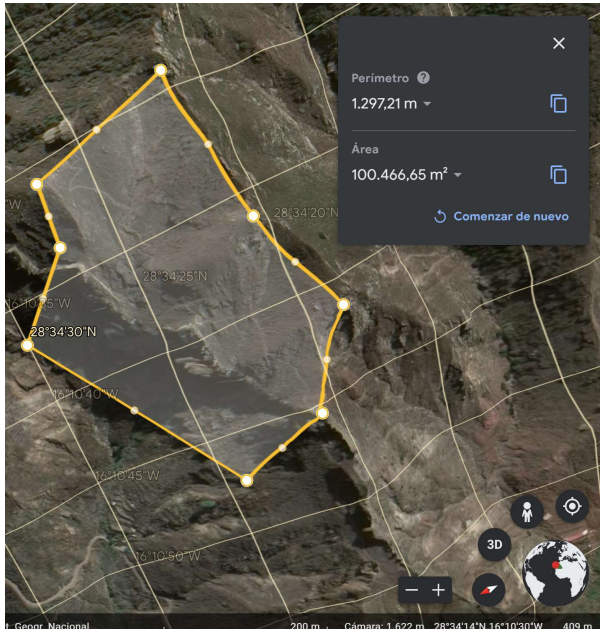


Ilustración 36/Área de zona de lluvia

Como podemos ver el embalse estaría en la zona amarilla y las únicas zonas en las que se pueden recoger aguas de lluvia y se pueden producir escorrentías que verterían al embalse son la propia superficie del embalse y las dos pequeñas zonas rojas recogidas en la imagen anterior.

Con esta área puedo calcular el mayor volumen de lluvia posible en una situación excepcional y dimensionar en su caso los sistemas de seguridad.

Para ello usaré el portal de la AEMET y obtendré en la estación meteorológica más cercana a la presa los datos de mayor precipitación histórica:

Meses

mayo

junio

julio

agosto

septiembre

octubre

noviembre

diciembre

Anual

Variables

Máx. núm. de días de lluvia en el mes

Máx. núm. de días de nieve en el mes

Máx. núm. de días de tormenta en el mes

Prec. máx. en un día (l/m2)

Prec. mensual más alta (l/m2)

Prec. mensual más baja (l/m2)

Racha máx. viento: velocidad y dirección (km/h)

Tem. máx. absoluta (°C)

Tem. media de las máx. más alta (°C)

Tem. media de las mín. más baja (°C)

BUSCAR

LIMPIAR

Resultados de la búsqueda. Última actualización viernes, 31 marzo 2023

Exportar a csv

Tenerife Norte Aeropuerto

Latitud: 28° 28' 39" N - Longitud: 16° 19' 46" O

Altitud: 632 m - Posición: Ver localización

Intervalos de validez por variables:

Precipitación: 1941-2023 Temperatura: 1941-2023 Viento: 1946-2023

Variable	Anual
Prec. máx. en un día (l/m2)	260.3 (10 abr. 1977)

Ilustración

38/

Datos

AEMET/https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/efemerides_extremos?*w=0&k=coo&l=C447A&datos=det&x=C447A&m=13&v=PMD

Las precipitaciones máximas registradas han sido de 260,7 l/m².

El volumen para desalojar por el desagüe es el de lluvia más el que hay que desalojar para el turbinado, esto en el caso de realizar el desagüe y turbinado por el mismo tubo. En mi caso pretendo construir una tubería de turbinado y otra de desagüe.

V aliviadero = 0,26071 * 100.466,65

El día con más lluvia registrada de la historia en mi presa habrían llegado 26,192 * 10³ m³.

Esto nos aporta a la hora algo menos que unos 1.100 m³.

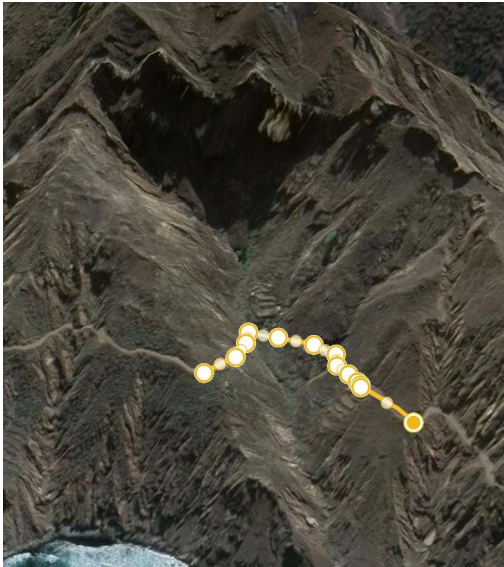


Ilustración 39/camino a preservar

La presa estaría situada más arriba de este camino que marco, pero lo hago para indicar que por debajo de la presa el único punto que debo evitar es el camino y puedo desaguar el resto por el valle que se ve en la imagen.

Para este dimensionamiento de tubería es necesario conocer la altura a la que la tubería de desagüe suelta el agua. Y la zona del camino se encuentra a unos 140 metros por lo que mi desagüe estará a 110m.

Para el cálculo de mi desagüe aplico la ecuación de Bernoulli. Suponiendo pérdidas de carga cero

- Z_e = Altura de la entrada de agua
- Z_s = Altura de salida de agua
- C_e = Velocidad de la superficie libre de la presa
- C_s = Velocidad de salida del fluido
- $P_e=P_s=P$ atmosférica

$$\frac{P_e}{\rho g} + \frac{C_e^2}{2g} + Z_e = \frac{P_s}{\rho g} + \frac{C_s^2}{2g} + Z_s$$

Sabiendo que las presiones son iguales, que C_e se aproxima a 0 y $Z_e-Z_s=300-110=190$

$$C_s=61,0557 \text{ m/s} = 219.800,52 \text{ m/h}$$

Sabiendo la velocidad de salida y teniendo ya calculado el volumen que tengo que desalojar por hora $1.100 \text{ m}^3/\text{h}$.

$$Q = C * A = 1.100 = 219.800,52 * \text{Área de desagüe}$$

$$\text{Área de desagüe} = 5,005 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Con una tubería de sección circular 0,0399m es decir 3,9914 cm

Tras ver que el tamaño de la tubería de desagüe es tan pequeño resulta mucho más interesante no poner aliviadero del estilo que se construye en las presas de escollera sino el tipo de aliviadero de presas de hormigón. De un tamaño pequeño y el guiado del agua al mar será por canal no por tubería.

En esta imagen se representa el tipo de canal por el que pasaría el agua del aliviadero.



Ilustración 40/Canal de alivio/<https://www.cnr.gob.cl/cnr-publico-bases-de-concurso-que-dispone-de-4-500-millones-para-mejorar-canales-y-distribucion-del-agua-de-riego/>

El canal de la imagen es mucho más grande que el necesario en mi caso.

En la posible obra el canal pasaría por debajo de la carretera por una tubería, evitando así desperfectos en el camino causados por la canalización.

9.2.1.2 Construcción de la presa

Pasemos ahora a hablar del proceso de construcción de la presa que se basa en apilar roca volcánica, que es la disponible en Canarias, a la vez que arena e ir poco a poco compactando.

Una vez terminada la ejecución de la presa se aplica una capa de hormigón de tal forma que la presa queda impermeabilizada. Teniendo en cuenta la ubicación del embalse sobre terreno volcánico que tiene alta capacidad de filtración, procede la impermeabilización completa mediante una geomembrana de Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE), que es un acabado ideal para trabajar como barrera de impermeabilización en todo tipo de balsas de embalses donde sea necesaria la contención de líquido.

Los taludes de mi presa dependen de la altura, a mayor altura, mayor coeficiente de seguridad, al igual que cada material tiene un ángulo máximo de asiento.

En mi caso no voy a hacer el dimensionamiento de la presa, pero voy a suponer una disminución en el volumen de la presa considerable.

A continuación, incluiré una imagen del diseño de la presa, no parecerán cotas debido a que como he dicho antes no realizaré su dimensionamiento.

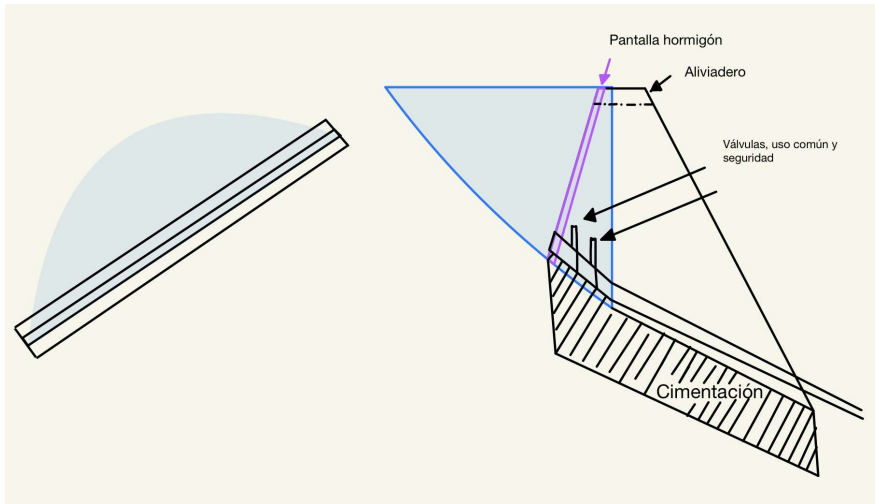


Ilustración 41/Presa

Aquí incluyo una imagen en la que se pueden ver las distintas partes.

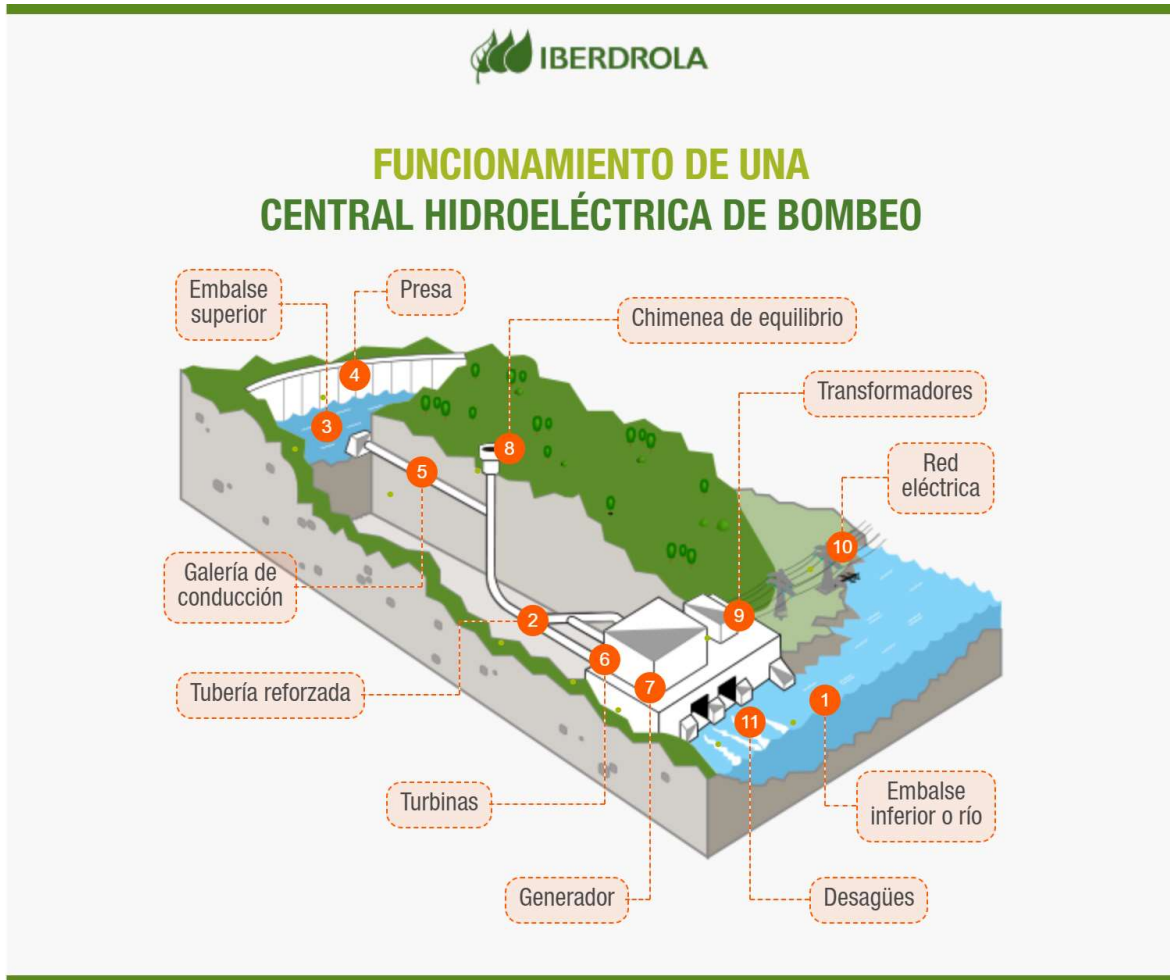


Ilustración 42/Central de bombeo/<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/central-hidroelectrica-bombeo>

9.2.2 PRODUCCIÓN ELÉCTRICA

Pasemos ahora a calcular el tamaño de la galería de conducción. Como ya ha sido comentado me interesa que el depósito esté vaciado antes de las 10 de la noche.

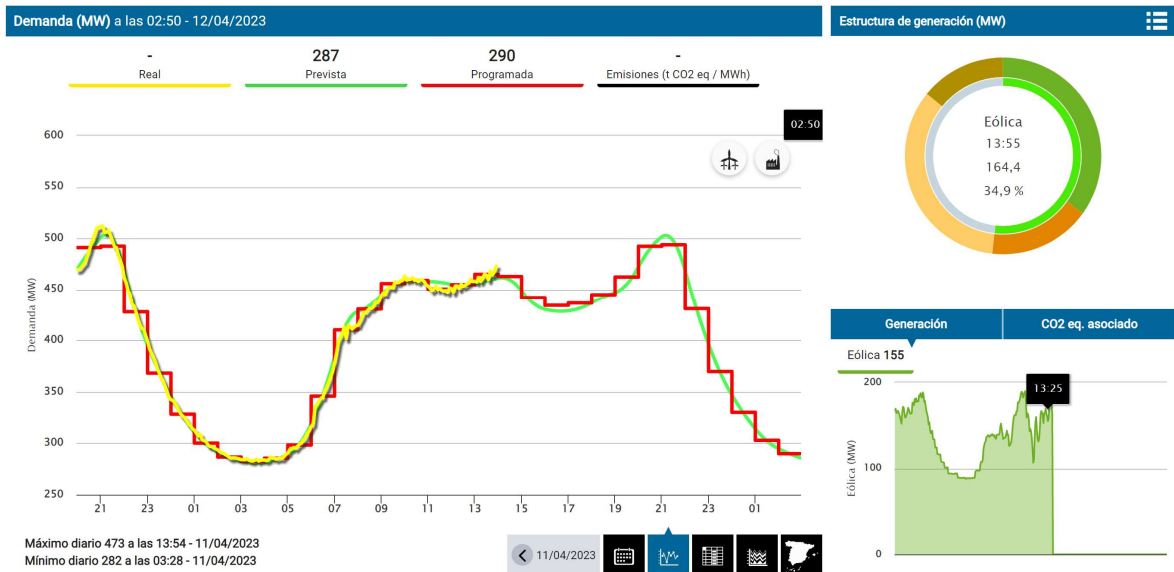


Ilustración 43/ consumo eléctrico diario Tenerife/https://demanda.ree.es/visiona/canarias/tenerife5m/total

Demanda de energía

El pico de demanda de consumo de energía eléctrica es a la hora de la cena en los hogares españoles. La idea es encontrar el punto en el que poder conseguir el máximo beneficio, siempre intentado disminuir todo lo posible la producción más costosa de energía no limpia.

Anteriormente ya he comentado como Canarias se abastece en un porcentaje mayoritario de electricidad producida por centrales de Diesel de generación de energía, por lo que el sistema de generación de energía sostenible que se está proyectando sin duda contribuirá a mejorar el mix de generación en la isla y a reducir los niveles de emisiones que actualmente se generan.

Mi objetivo es en resumen es almacenar agua en la balsa para que en un pico de demanda energético en hora punta pueda ser cubierto.

La capacidad de acumulación del embalse como antes hemos comentado es muy grande por lo que reduciremos el volumen turbinado en función de la demanda, la hipótesis será el vaciado del 50% del volumen medio acumulado.

Esta central de bombeo funcionará solo a horas concretas, si estuviera turbinando durante todo el día, la central de bombeo sería ineficiente porque para eso se turbinaría a altura del mar sin tener que pasar por todas las tuberías y válvulas que generan pérdidas.

La mitad del volumen que hablaba en mi caso lo voy a calcular en base a generar la máxima eficiencia. Y con esto quiero aprovechar al máximo la central. Paso ahora a hacer un pequeño resumen del funcionamiento de una central de bombeo turbinado para comprender como aprovechar la energía al máximo.

Las centrales de bombeo reversible y posterior turbinado se consisten en bombear agua a un embalse elevado cuando la electricidad es barata o hay un exceso de generación de la misma y turbinarla para generar de nuevo energía cuando es más rentable venderla. Dicho esto, veamos la gráfica del consumo eléctrico diario en Tenerife que antes he mostrado.

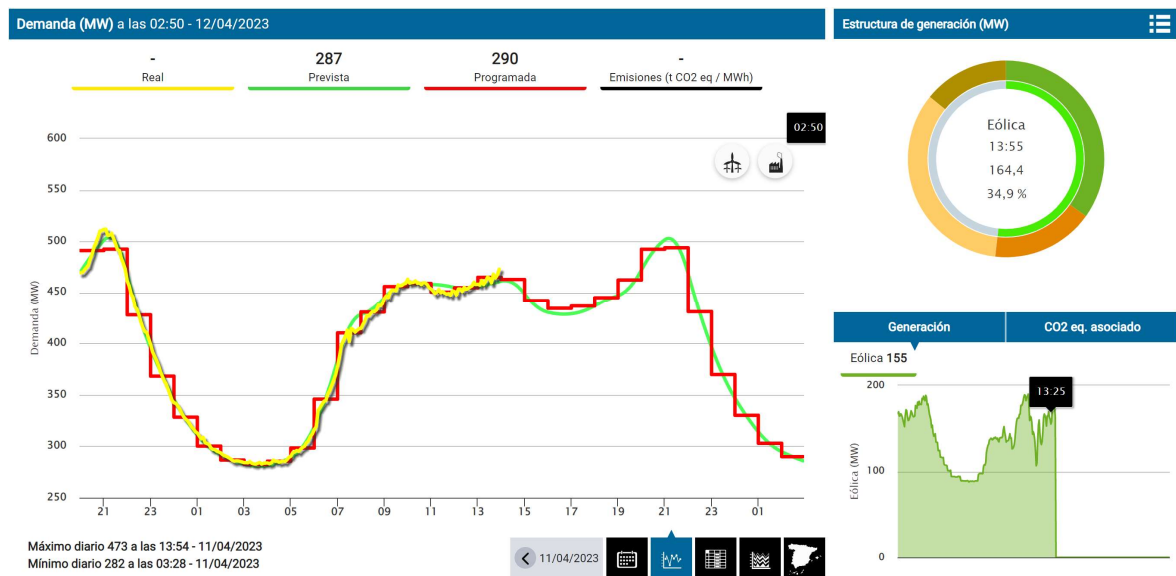


Ilustración 44/ consumo eléctrico diario Tenerife/https://demanda.ree.es/visiona/canarias/tenerife5m/total

Observando la gráfica anterior nos interesa turbinar en horas de alta demanda de energía. El llenado del embalse en otros casos se hace en horas de baja demanda que la electricidad es más barata, en mi caso el embalse se llena durante todo el día.

Lo que nos interesa entonces es que podamos desaguar y turbinar un caudal mayor que el de llenado. Con esto me refiero a que la cantidad de agua que he bombeado a mi embalse en 24 horas pueda ser turbinada en un tiempo mucho menor 15-20 horas. Dicho esto, las horas en las que no conviene turbinar agua son las nocturnas, ya que en esas horas hay menor demanda eléctrica.

Entonces teniendo en cuenta que el embalse interesa llenarlo más lento de lo que se vacía y que el embalse se va a estar llenando durante todo el día, pero solo lo vaciaremos en momentos de gran demanda energética, veamos si es posible llenarlo por completo en las horas nocturnas.

Calculemos el caudal de llenado del embalse para que de 22:00 h en la noche a 7:00 h en la mañana el embalse esté lleno. En estas 9 horas debo conseguir un volumen de $2,7323 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Caudal = volumen/tiempo

$$Q = 84,33025 \text{ m}^3/\text{s}$$

En este caso el caudal es mucho más grande que el que teníamos en la planta desaladora. Debo cambiar mi idea o redimensionar las horas de llenado ya que este caudal es desmesurado para ser bombeado.

Que opciones existen, la primera es intentar conseguir este bombeo utilizando varias bombas en paralelo, ya que una bomba del tamaño necesario es absurda. Comprobemos el número de bombas del tamaño de la desaladora necesarias.

Tras el simple cálculo de caudal actual entre caudal que aporta la bomba ya diseñada observamos que el número de bombas es mayor a 160. Esto vuelve a hacer inviable su diseño.

Tras esto queda claro que el embalse es desmesurado y debe tener menor altura o dejar este embalse extra para el uso que he comentado antes, ser turbinado para dificultar la producción

energética que contamina. La construcción de un embalse más grande también puede en el futuro ayudar a aumentos de caudales tanto de subida o bajada en el futuro.

Teniendo en cuenta lo anterior lo más razonable es realizar un dispositivo más grande que para desalación pero que como hemos visto con las conclusiones que acabo de sacar la balsa es más grande de lo necesario. El caudal que calcularé para esta bomba será tres veces el aportado en Arucas Moya.

$$Q=1,57833 \text{ m}^3/\text{s}$$

El volumen de llenado al día será de $136.367,71 \text{ m}^3$.

El volumen del embalse recordemos que era de $2,7323 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Por lo que el embalse se llenaría al completo en 20 días de funcionamiento del sistema de bombeo. Esto nos lleva a la conclusión de que es innecesario este volumen de almacenamiento, pero puesto que no estoy diseñando la presa ni realizando un estudio económico mantendré las dimensiones del proyecto.

El volumen de turbinado diario quiero que represente el 90% de la capacidad de llenado diario total. Por lo que con el embalse vacío y turbinando tardaremos unos 200 días en llenarlo al completo.

El volumen para turbinar cada día es de 122.731 m^3 .

Teniendo en cuenta este volumen. ¿cómo me interesa turbinarlo?

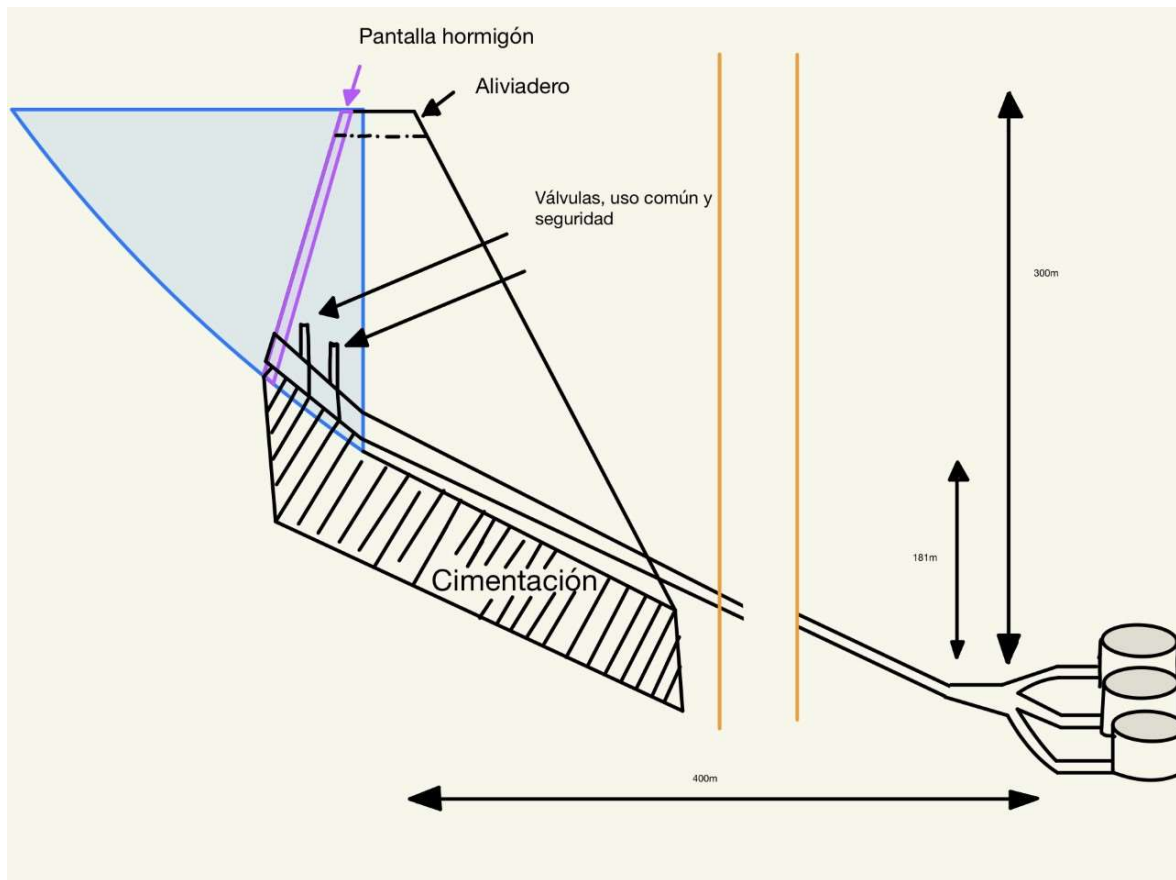


Ilustración 45/ instalación en la presa

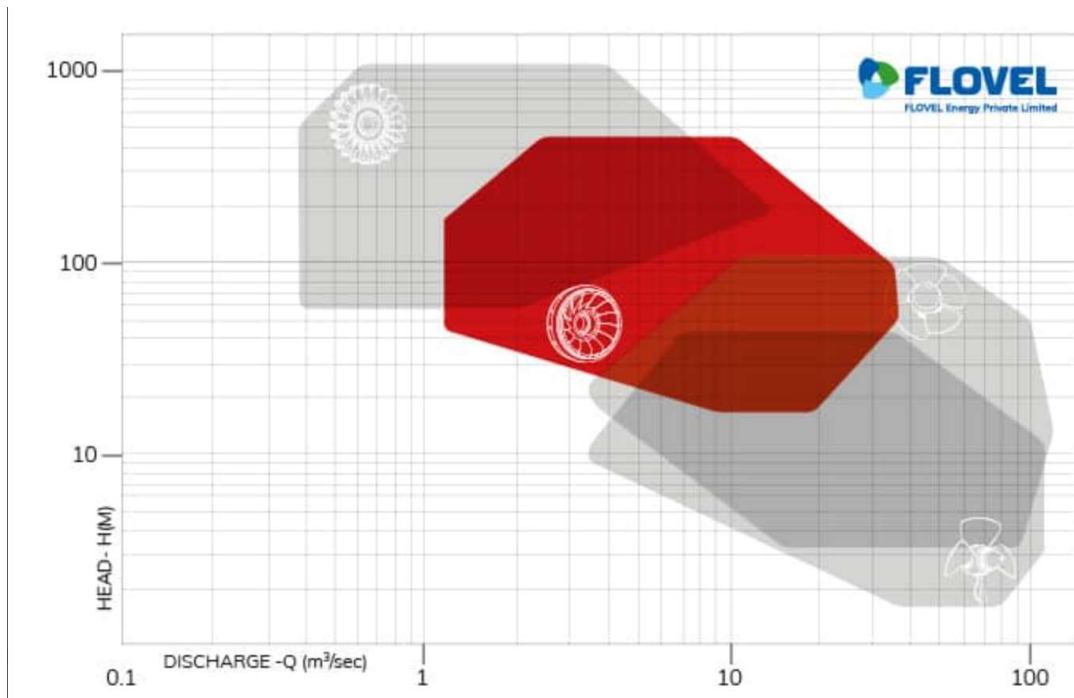


Ilustración 46/ Selección del tipo de turbina/<https://flovel.net/es/nuestros-productos/turbinas-francis/>

Como podemos ver nuestra presa tiene unos 300 metros de altura, por lo que nos convienen turbinas tipo Francis o Pelton. Y como ya he comentado previamente tengo interés en tener una reserva de agua que pueda ser turbinada en caso de emergencia por esta razón necesitare más de una turbina.

Se me ocurren dos opciones sin tener en cuenta tecnologías de control que mediante estudios de demanda del mercado puedan activar o desactivar las turbinas:

Opción 1: Tener una turbina que funcione la mayor parte del día

Opción 2: es una turbina que desagüe mucha agua en poco tiempo aprovechando el precio más caro de la electricidad.

Dicho esto, la turbina que funciona casi todo el día será una turbina Pelton.

9.2.2.1 Turbina Pelton

Teniendo en cuenta que la gran mayoría de las turbinas que hay en el mercado no aportan datos de sus características y lo normal es diseñar una turbina nueva para cada instalación, para este caso también la diseñaré yo.

Los datos que tenemos son:

$$Q = 1,57833 * 0,9 = 1,42 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 300\text{m}$$

Lo primero que voy a hacer es justificar la razón por la que voy a suponer unos rendimientos perfectos y el caso ideal.

η_h varía entre 0,90-0,93

η_v varía entre 0,97-0,99 (se suele tomar 1);

η_m varía 0,97-0,995

Como podemos ver todos los valores son muy aproximados a 1 y no tengo forma de comprobar ni diseñar las pérdidas en la máquina sin construirla y ensayarla.

En cuanto a las pérdidas en el inyector, las pérdidas de rozamiento en las cucharas o las pérdidas desde la salida de las cucharas a la sección de salida, sucede algo similar, ya que no corresponde a este proyecto el diseño de detalle de la turbina.

Al considerar el caso ideal:

$$\begin{array}{l}
 \bullet \quad H_{riny} = 0 \rightarrow c_1 = \sqrt{2gH} \\
 \bullet \quad H_{r12} = 0 \rightarrow w_1 = w_2 \\
 \bullet \quad H_{r2s} = 0 \rightarrow z_2 = z_1 = 0; \quad c_2 = 0
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array}} \right\}
 \begin{array}{l}
 \boxed{H_u = H = \frac{c_1^2}{2g}} \rightarrow \eta_h = 1 \\
 \rightarrow k_{c_1} = 1
 \end{array}$$

Ilustración 47/ caso ideal turbina reacción/ transparencias turbinas de reacción apuntes turbomáquinas ICAI

En la ecuación podemos ver que H es la altura, C representa la velocidad de salida del chorro y g la gravedad.

$$300 = \frac{c_1^2}{2 * 9,81}$$

$$c_1 = 7,72 \text{ /s}$$

$$U = \phi \sqrt{2gh}$$

En esta ecuación U representa la velocidad de la rueda. Y ϕ representa la relación de velocidad, en mi caso 0,45 que es un valor común.

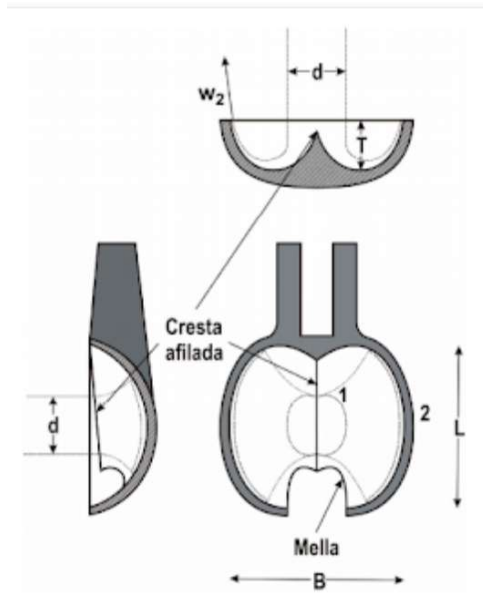
$$U = 0,45 \sqrt{2 * 9,81 * 300}$$

$$U = \frac{34,5241m}{s}$$

Ahora calculemos el diámetro de la rueda imponiendo las revoluciones por minuto que deseamos que tenga mi generador.

$$D = \frac{60U}{\pi N}$$

Supondré que mi turbina girará a 1000 rpm



$$D = \frac{60 * 34,5241}{3,1416 * 104,72} = 6,2964m$$

Calcularé ahora el diámetro de inyector o diámetro del chorro de salida, además del diámetro de la tubería previo al inyector.

$$M = \frac{Dtubería}{Dchorro}$$

En estos casos M representa la relación de los chorros y suele suponerse una relación con M oscilando entre 11 o 16, como en la mayoría de los

casos se escoge 12, así haré yo.

Ahora falta calcular el diámetro de la tubería de entrada.

Como ya hemos dicho antes el caudal es $1,42 \text{ m}^3/\text{s}$, y la velocidad dentro de la tubería será de 1 m/s

$$Q = \frac{c * \pi * d^2}{4}$$

Obteniendo un diámetro de tubería de $1,3446 \text{ m}$

$$M = \frac{Dtubería}{Dchorro} = 11 = \frac{1,3446}{Dchorro}$$

Por lo que obtenemos un diámetro de salida del inyector de $0,1223 \text{ m}$

Ahora corresponde la selección de las cucharas el ancho de estas es 3-4 veces el diámetro del chorro su longitud 2-3 veces el diámetro y su anchura 0,8-1,2 veces el diámetro del inyector.

$$L=0,2446M$$

$$B=0,3669M$$

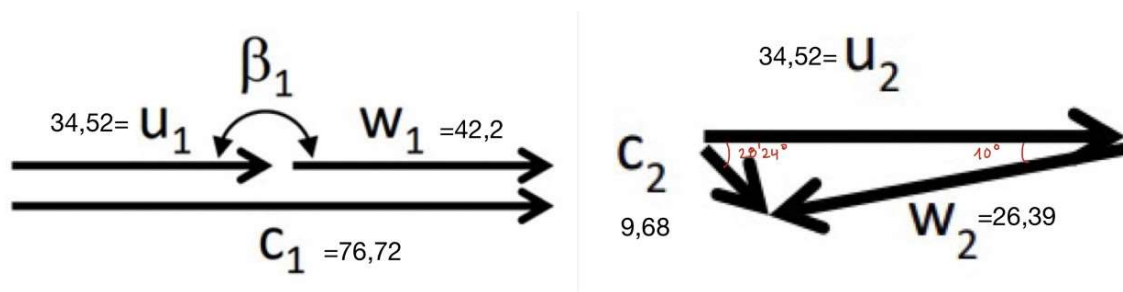
$$T=0,09784M$$

Ilustración 48/ *medidas* de *cuchara/Fuente:*
http://cvb.ehu.es/open_course_ware/castellano/tecnicas/maquinas_fluidos/tema-6-turbinas-pelton.pdf

Falta por diseñar el ángulo de salida β_2 , que supondré que forma 10 grados.

Surge la pregunta de cuantos chorros disponer y de si los mismos funcionarán horizontal o verticalmente. A efectos de este proyecto se selecciona una turbina de un único chorro y posición vertical.

Ahora vamos a comentar los triángulos de velocidades del dispositivo.



Pasemos ahora a calcular la potencia hidráulica y supondré la misma potencia de accionamiento, por tener rendimiento mecánico 1.

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H = 1,42 \cdot 9,81 \cdot 300 \cdot 1028,19 = 4296,87 \text{ KW}$$

Capítulo 10. DISEÑO DEL DISPOSITIVO DE BOMBEO

10.1 RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA MAREA

Los datos de las mareas los he obtenido de la página web: <https://marendata.eu/main> donde he seleccionado los datos a partir de los cuales se va a realizar el modelado del dispositivo:

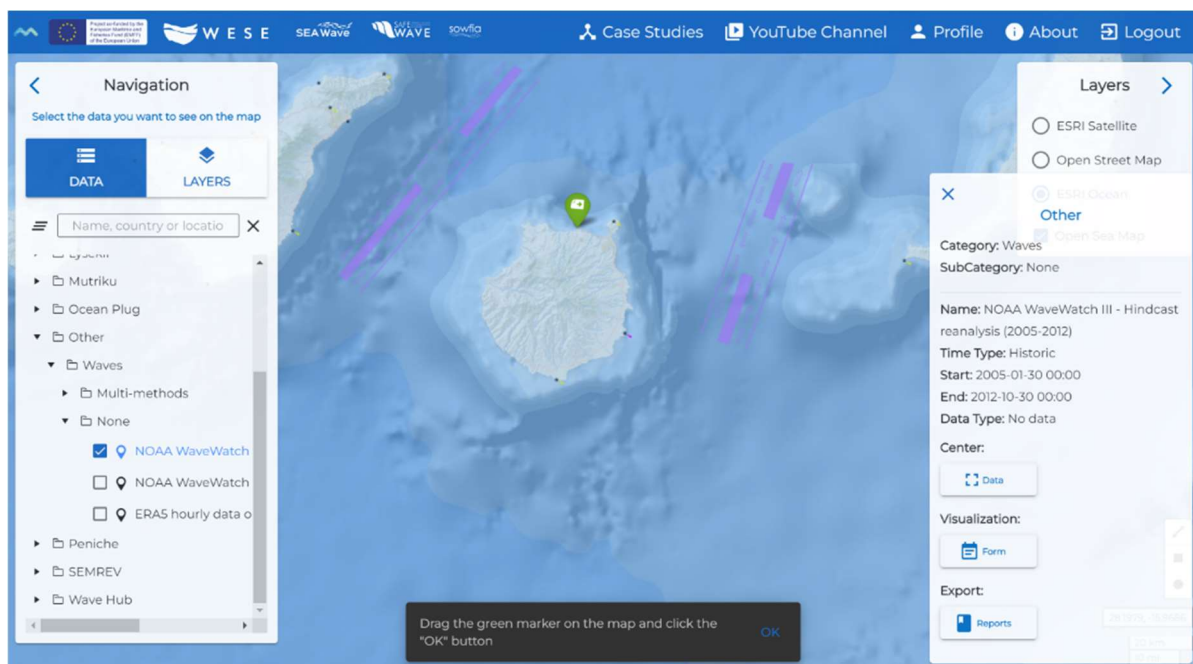


Ilustración 49/Ubicación de los datos pedidos, <https://marendata.eu/main>ión de los datos medidos

Mediante este portal y la aplicación que permite explotar la base de datos he recogido datos de varios años y con ellos podremos calcular los valores medios característico de altura significativa y el periodo pico del oleaje.

Altura significativa (media del tercio de alturas mayores): 1,53567M

Periodo pico: 9,037816227

Con estos valores podemos empezar con los cálculos y el dimensionamiento.

10.2 CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE LA BOMBA

Teniendo en cuenta la demanda de bombeo de agua y en función del dimensionamiento que sea necesario para el dispositivo de bombeo, valoraremos si tiene más sentido la instalación de un dispositivo único de mayor tamaño o por el contrario optaremos por la instalación de varios dispositivos de menor dimensión, especialmente por el tamaño que pudiese ser necesario para el flotador y el propio volumen que tenga el émbolo.

Debemos buscar un dimensionamiento idóneo en términos de rendimiento y al mismo tiempo evitar la contaminación visual que generan este tipo de infraestructuras instaladas cerca de las playas. Asimismo, una dimensión más reducida permitirá reducir la complejidad de montaje.

En cuanto a las variables relevantes para el diseño de la bomba están la presión, el caudal, la fuerza del pistón, cálculo de la potencia necesaria, cálculo de la presión, etc.

Para el cálculo de caudal sabemos que $Q = C \times A$

Siendo:

Q = caudal de agua

C = velocidad de movimiento del fluido

A = área la cual el fluido atraviesa

Esta fórmula es perfectamente aplicable a la bomba ya que el émbolo lleva la misma velocidad que el fluido, con el pequeño problema que si mi bomba es de simple efecto este último punto no es cierto por lo que calcularé el caudal como $Q = (C1 \times A)/2$.

Siendo $C1$ = velocidad del émbolo al bajar

El caudal que yo necesito es: 1.903 m³/h → 0,52611 m³/s

Con el periodo de las olas podemos calcular la velocidad media de bajada del pistón.

Suponiendo que la geometría de pistón tiene de diámetro un metro, el área del embolo es 0,7854 m²

$$0,52611 / 0,7853 * 2 = \text{Velocidad del fluido} = \text{Velocidad de bajada del embolo} = 0,3349\text{m/s}$$

Pero la velocidad a la que mi embolo sube y baja no va determinada por el caudal, este punto va fijado por el oleaje. En el punto anterior he calculado el área para un movimiento a esa velocidad, pero en mi caso como puedo tener periodos menores o mayores comenzaré aplicando un factor de seguridad para el que intentaré calcular todo para el doble del caudal pedido y solucionaré el problema que tenía aplicando la fórmula de esta manera:

$$N * Q = V * F$$

$$N = \text{coeficiente de seguridad} = 1,1$$

$$Q = \text{Caudal} = 0,52611$$

$$V = \text{Volumen del pistón}$$

$$F = \text{frecuencia} = 1 / \text{tiempo que tarda en hacer una vez el recorrido el émbolo} = 1 / 9,0378$$

Tras aplicar esta ecuación obtengo un volumen de émbolo de 5,230365 m³

Pasemos ahora a hablar de como la boya sube y baja mientras sigue las olas. El cálculo que acabo de realizar sobre la velocidad del fluido y del embolo en el momento de bajada, nos serviría para calcular con ello el área del embolo, pero es importante calcular el volumen del embolo también, es decir la longitud restante.

Es primordial calcular la carrera del émbolo para que también tenga un funcionamiento adecuado en caso de oleaje de amplitud inferior a la óptima para el funcionamiento del dispositivo.

Con el objetivo de conseguir un movimiento de embolo que en todas y cada una de las repeticiones haga el recorrido completo, el diseño debería cumplir con la condición de que

el émbolo tenga una carrera muy corta, de modo que el volumen es otorgado por un diseño de émbolo con un radio más amplio.

En la imagen siguiente puede entenderse mejor el funcionamiento de la boya:

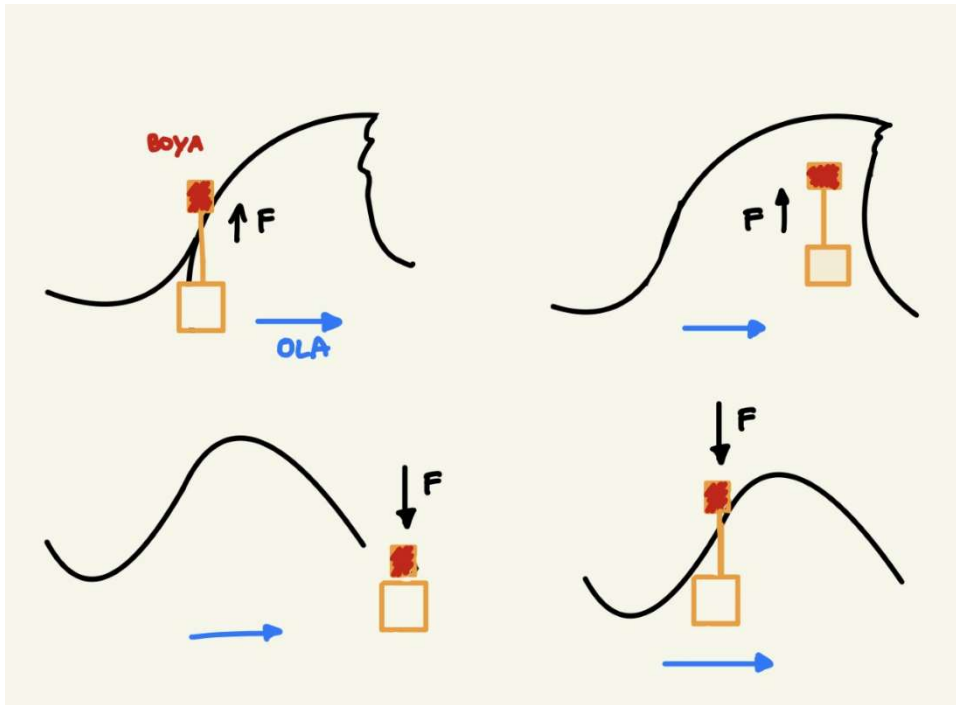


Ilustración 50/ Representación de los estados de funcionamiento de la boya

El hecho de que la carrera del émbolo sea más corta como podemos ver no afecta. El pistón sufre fuerza hacia arriba cuando el empuje es mayor que el peso, permitiendo esta corta carrera que en la gran mayoría de situaciones se alcance el punto de máximo empuje (con la boya completamente sumergida). Si el émbolo fuera más largo habría situaciones en las que la presión de bombeo bajaría.

Sucede lo mismo en el recorrido opuesto, el pistón alcanza su máxima presión de impulsión (cuando la boya está completamente al aire sin sustentación del agua).

He revisado los datos de Maredata y la menor altura en 2011 es 0,92m, pero en mi caso supondré que la menor amplitud de ola ha sido de 0,75m para tener seguro que todas las veces que realizo el bombeo la carrera es completa.

Sabiendo que el volumen de mi embolo es de 5,230365 m³, puedo calcular el área del pistón ya que tomo como altura del cilindro 0,75.

Haciendo los cálculos obtengo un cilindro que tendrá 1,4899 metros de radio.

En cuanto al cálculo de la potencia de la bomba lo obtengo de esta ecuación:

$$(1) \text{ Potencia}_{\text{bomba}} = F_{\text{compresión}} * V_{\text{Fluido}}$$

Una vez tengo dimensionado el diseño del dispositivo es necesario calcular el resto de los datos sobre la bomba.

El camino nuevo a tomar es el de la potencia teniendo que tomar una nueva decisión en la que debo fijar una altura de bombeo para mi dispositivo, en mi caso la altura será de 15 metros que es más que suficiente para llegar a la desaladora de Arucas Moya con un coeficiente de seguridad bastante bueno.

10.3 PARÁMETROS DE LA BOMBA

Para el cálculo de los parámetros de la bomba será necesario hablar de la instalación. Para mis cálculos tendré que seleccionar previo a los cálculos el diámetro de la tubería, y las válvulas antirretorno.

Primero pretendo seleccionar la válvula, ya que este tipo de válvulas son más difíciles de diseñar de cero que una tubería de distinto diámetro.

La válvula a seleccionar será de tipo clapeta oscilante, ya que este tipo es perfecta para el uso que tendrá.



La válvula es de la empresa AVK. Su diámetro nominal en catálogo oscila entre los 50 y 300 mm. En mi caso selecciono la de diámetro 300 mm o 30 cm.

Adjunto los planos de la válvula junto con la lista de componentes que la forman en los anexos finales.

<https://www.avkvalvulas.com/es-es/buscador-de-productos/v%C3%A1lvulas-de-retenci%C3%B3n/v%C3%A1lvulas-de-retenci%C3%B3n-de-clapeta/41-60-003#downloads>

Ficha técnica

https://files.avkvalves.com/updated-ftp/downloads/41-60-003_avk012_esp_430544.pdf

En cuanto a la tubería correspondiente desconocemos el diámetro. Para su cálculo impondré que la velocidad del fluido sea de 1m/s.

Sabemos que el caudal de la tubería es de 0,52611.

$$Q = C * A$$

$$0,52611 \text{ m}^3/\text{sg} = 1\text{m/s} * A$$

Obtenemos un diámetro de 0,81845 m es decir 80 cm.

El material con el que se proyecta fabricar el dispositivo de bombeo, las válvulas y las tuberías es acero inoxidable, ya que hay que tener en cuenta que el agua salada produce daños a las tuberías y aumenta considerablemente el coste de mantenimiento.



CARACTERÍSTICAS

Uso previsto	para agua
Material	de acero, de material compuesto
Uso previsto	de alta presión, para obra de construcción
Otras características	estándar, resistente a los productos químicos, anticorrosión, con brida, recubierta
Diámetro interno	Mín.: 40 mm (1,575 in) Máx.: 1.400 mm (55,118 in)
Presión	100 bar (1.450,377 psi)

Como es complicado encontrar fabricantes que especifiquen de mi tubería la rugosidad supondré la rugosidad típica del acero inoxidable.

Haré aquí una pequeña recopilación de los datos conocidos:

- ρ : densidad del agua marina: 1028.19 kg/l

- μ : viscosidad dinámica del fluido:

Viscosidad dinámica del agua líquida a varias temperaturas

www.vaxasoftware.com

Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)
0	0,001792	34	0,000734	68	0,000416
1	0,001731	35	0,000720	69	0,000410
2	0,001674	36	0,000705	70	0,000404
3	0,001620	37	0,000692	71	0,000399
4	0,001569	38	0,000678	72	0,000394
5	0,001520	39	0,000666	73	0,000388
6	0,001473	40	0,000653	74	0,000383
7	0,001429	41	0,000641	75	0,000378
8	0,001386	42	0,000629	76	0,000373
9	0,001346	43	0,000618	77	0,000369
10	0,001308	44	0,000607	78	0,000364
11	0,001271	45	0,000596	79	0,000359
12	0,001236	46	0,000586	80	0,000355
13	0,001202	47	0,000576	81	0,000351
14	0,001170	48	0,000566	82	0,000346
15	0,001139	49	0,000556	83	0,000342
16	0,001109	50	0,000547	84	0,000338
17	0,001081	51	0,000538	85	0,000334
18	0,001054	52	0,000529	86	0,000330
19	0,001028	53	0,000521	87	0,000326
20	0,001003	54	0,000512	88	0,000322
21	0,000979	55	0,000504	89	0,000319
22	0,000955	56	0,000496	90	0,000315
23	0,000933	57	0,000489	91	0,000311
24	0,000911	58	0,000481	92	0,000308
25	0,000891	59	0,000474	93	0,000304
26	0,000871	60	0,000467	94	0,000301
27	0,000852	61	0,000460	95	0,000298
28	0,000833	62	0,000453	96	0,000295
29	0,000815	63	0,000447	97	0,000291
30	0,000798	64	0,000440	98	0,000288
31	0,000781	65	0,000434	99	0,000285
32	0,000765	66	0,000428	100	0,000282
33	0,000749	67	0,000422		

μ : dado que en canarias la temperatura media del agua del mar es de 16 grados centígrados la viscosidad dinámica tiene un valor de 0,001109

- ε : representa la rugosidad absoluta de la tubería, por falta de datos del fabricante tomaré estos valores comunes:

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	ε (mm)	Material	ε (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Tabla 2/rugosidad de la tubería/<https://idoc.pub/documents/tablas-coeficiente-de-rugosidad-qynd9j0ejr4x>

Dado que la tubería es de acero supondré 0,03-0,09, más concretamente 0,06.

- g : la gravedad tomaré 9,81
- en cuanto a los demás valores que use se encuentran en los esquemas del circuito.

Para continuar con el diseño de la bomba debo hacer un pequeño esquema de la instalación para poder aplicar la ecuación de Bernoulli y con ella calcular la altura que debe aportar la bomba.

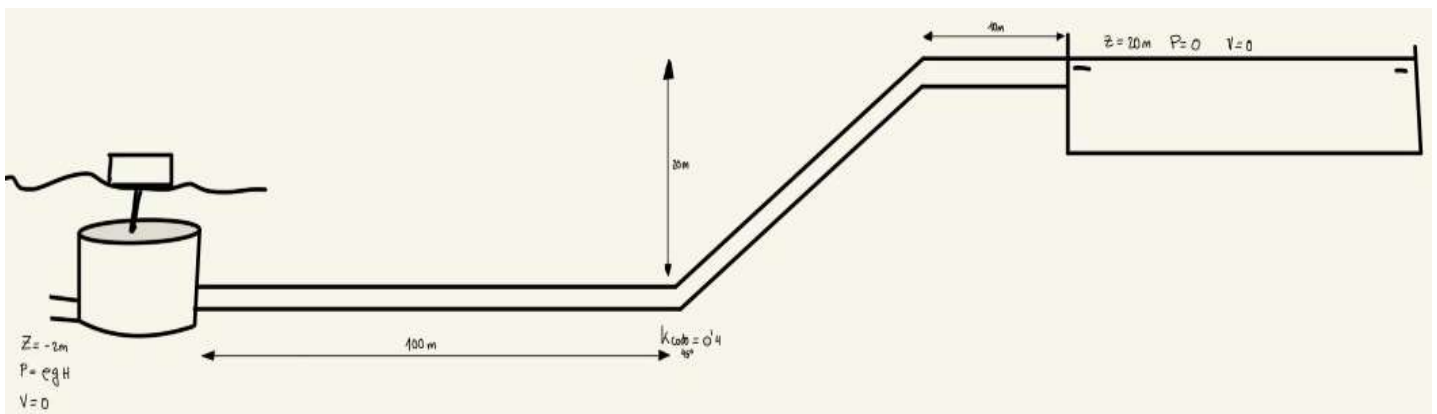


Ilustración 51/ representación de la instalación Arucas Moya

Primero presento la ecuación que voy a aplicar y posteriormente en el esquema los puntos clave y sus valores de sustitución en la fórmula.

$$\left(\frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + z \right)_1 - h_{turb} + h_{bomb} = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + z \right)_2 + \overbrace{\sum_{\text{Cada tramo recto}} h_f + \sum_{\text{Cada elemento}} h_m}^{h_{\text{pérdidas}}}$$

Donde:

P: representa la presión

V: representa la velocidad del fluido

Z: representa la altura geodésica de la superficie libre del fluido

H_{turb} = representa la altura que perdería el fluido si pasa por una turbina

H_{bomb} = representa la altura que el fluido ganaría si pasa por una bomba

H_f = son las pérdidas primarias del fluido debido a la fricción con la pared

H_m = en ella se aglutinan las pérdidas que se deben a la geometría característica del tubo, en mi caso serán las pérdidas en los codos y las pérdidas de válvulas antirretorno.

Esta ecuación sirve para calcular la altura que debe aportar la bomba para vencer el desnivel, las pérdidas por fricción y las pérdidas por codos y por válvulas.

Para la resolución de la ecuación de Bernoulli es necesario previamente que calcule el factor de fricción.

Debemos de igual manera aplicar las ecuaciones de Colebrook o Halan en función de cómo se comporte el fluido y una de las dos ecuaciones sea mucho más aproximada a la realidad. Debemos comprobar el número de Reynolds y clasificar el fluido para ver si una ecuación es más apropiada.

$$R_e = \frac{\text{Fuerzas Inerciales}}{\text{Fuerzas Viscosas}} = \frac{\rho * D * v}{\mu} = \frac{v * D}{\nu}$$

Donde:

ρ = Densidad del fluido

μ = Viscosidad dinámica del fluido

v = Velocidad del fluido

D = Diámetro interno de la tubería

ν = Viscosidad cinemática del fluido

Aplicando esta ecuación con los valores previos obtenemos un número de Reynolds de 750977,367 y por tanto se trata de un régimen turbulento

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -2.0 \log \left(\frac{\varepsilon/d}{3.7} + \frac{2.51}{Re_d f^{1/2}} \right)$$

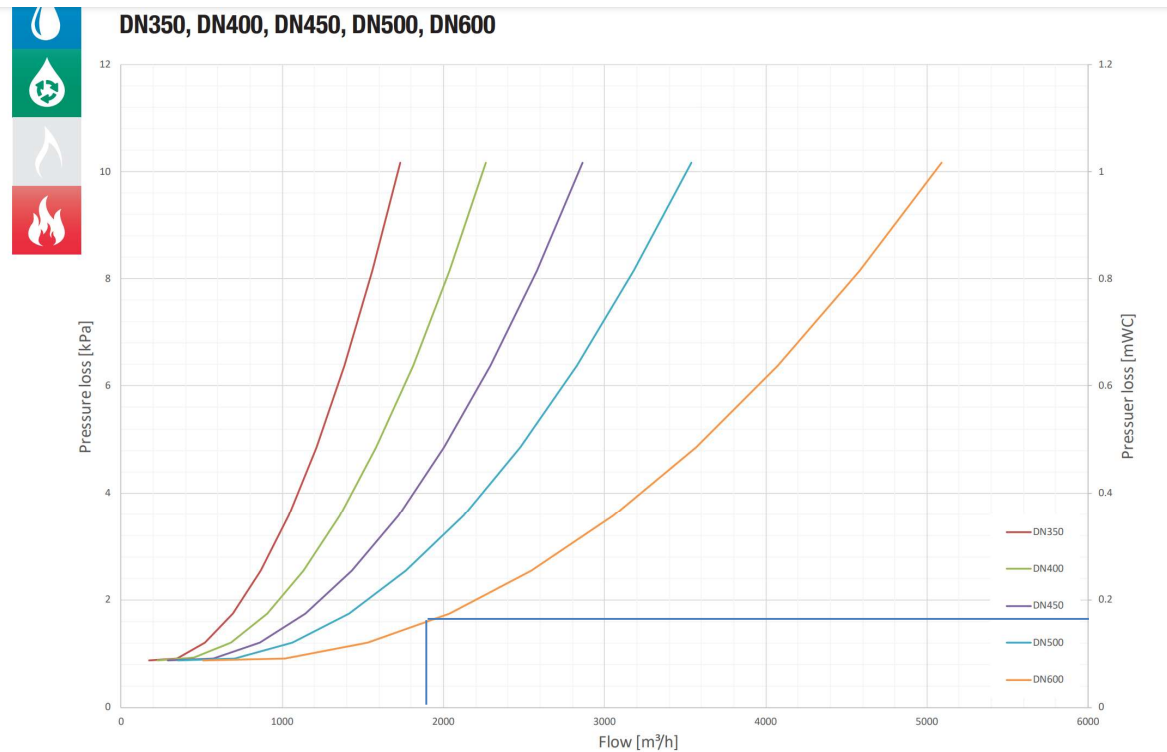
Donde f es el factor de fricción, ε es la rugosidad absoluta de la tubería, D es el diámetro interno de la tubería, y Re es el número de Reynolds del flujo en la tubería.

Obteniendo: $f = 0,01138$

Si ahora volvemos a la ecuación de Bernoulli y aplicamos esta f :

$$H_b = 20 + 0,01138 \frac{170}{0,8} + 2 * K_{codo} * \frac{1^2}{2 * 9,81} + 2 * K_{valbula} \frac{1^2}{2 * 9,81}$$

Sabemos que $K_{codo} = 0,4$



La gran mayoría de válvulas, no solo las de la empresa AVK, tienen como máximo un diámetro nominal de 600. Supondré que mi válvula que deberá ser pedida por encargo, tenga la misma pérdida de altura que la de 800. Este punto es más conservador ya que a mayor diámetro nominal y menor caudal la pérdida de carga es más pequeña.

$$H_{\text{Pérdidas válvulas}} = 2 * 0,18$$

$$H_b = 20 + 0,01138 \frac{170}{0,8} + 2 * K_{\text{codo}} * \frac{1^2}{2 * 9,81} + 2 * 0,18$$

$$H_b = 22,81903 \text{ m}$$

Ahora que tenemos la altura que debe tener podemos calcular la potencia de la bomba.

$$H_b = \frac{P_{\text{bomba}}}{Q * \rho * g}$$

$$P_{\text{bomba}} = 22,819 * 0,52611 * 1028,19 * 9,81 = 121,092 \text{ KW}$$

La bomba ya está casi diseñada por completo ahora resta calcular el peso y empuje de la boya.

$$P_{bomba} = F * V$$

$$F = \frac{121,092 * 10^3}{\frac{2 * 0,75}{9,0378}} = 729,60 \text{ KN}$$

$$M = \frac{F}{G} = \frac{729,60 * 10^3}{9,81} = 74373,089 \text{ Kg}$$

$$E = F_{subida\ embolo} + \text{Peso del embolo} = 2 * fuerza\ bajada = 1459,2 * 10^3 \text{ N}$$

$$E = \text{peso del volumen desalojado} = 1028,19 * 9,81 * \text{Volumen boya}$$

$$\text{Volumen de la boya} = 144,667 \text{ m}^3.$$

Tabla 3/Características Bomba para desalación



Bombeo Arucas Moya

Parámetro de Bomba	Valor	Unidad
Caudal aportado	0,52611	m ³ /s
Altura efectiva	22,81903	m
Radio del embolo	1,4899	m
Volumen del ebolo	5,230365	m ³
Velocidad de bajada del embolo	0,3349	m/s
diámetro de las bridas de acople	0,81845	m
Masa de la boya	74373,089	Kg
Volumen de la boya	144,667	m ³

10.4 DIMENSIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO PARA BOMBEO Y TURBINADO POSTERIOR.

Pero para dimensionar la tubería de carga de agua necesito saber que cantidad de agua podría turbinar, para ello recordemos a la conclusión llegada en el diseño de la instalación.

$$Q = 1,57833 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este caudal quiero que transcurra a una velocidad media de 1m/s.

$$D = \sqrt{\frac{Q * 4}{1 * \pi}} = 1,4176 \text{ m}$$

Las demás características de la tubería son:

- ε : Dado que la tubería es de acero supondré 0,03-0,09, más concretamente 0,06
- g : la gravedad tomaré 9,81
- μ : dado que en Canarias la temperatura media del agua del mar es de 16 grados centígrados la viscosidad dinámica tiene un valor de 0,001109
- en cuanto a los demás valores que use se encuentran en los esquemas del circuito.

Para el cálculo de la boya debo ahora como en el problema anterior de la desaladora realizar Bernoulli para calcular la altura de la bomba teniendo en cuenta las pérdidas por fricción en las tuberías, las pérdidas por geometría del tubo y las perdidas por válvulas.

Para continuar con el diseño de la bomba debo hacer un pequeño esquema de la instalación para poder aplicar la ecuación de Bernoulli.

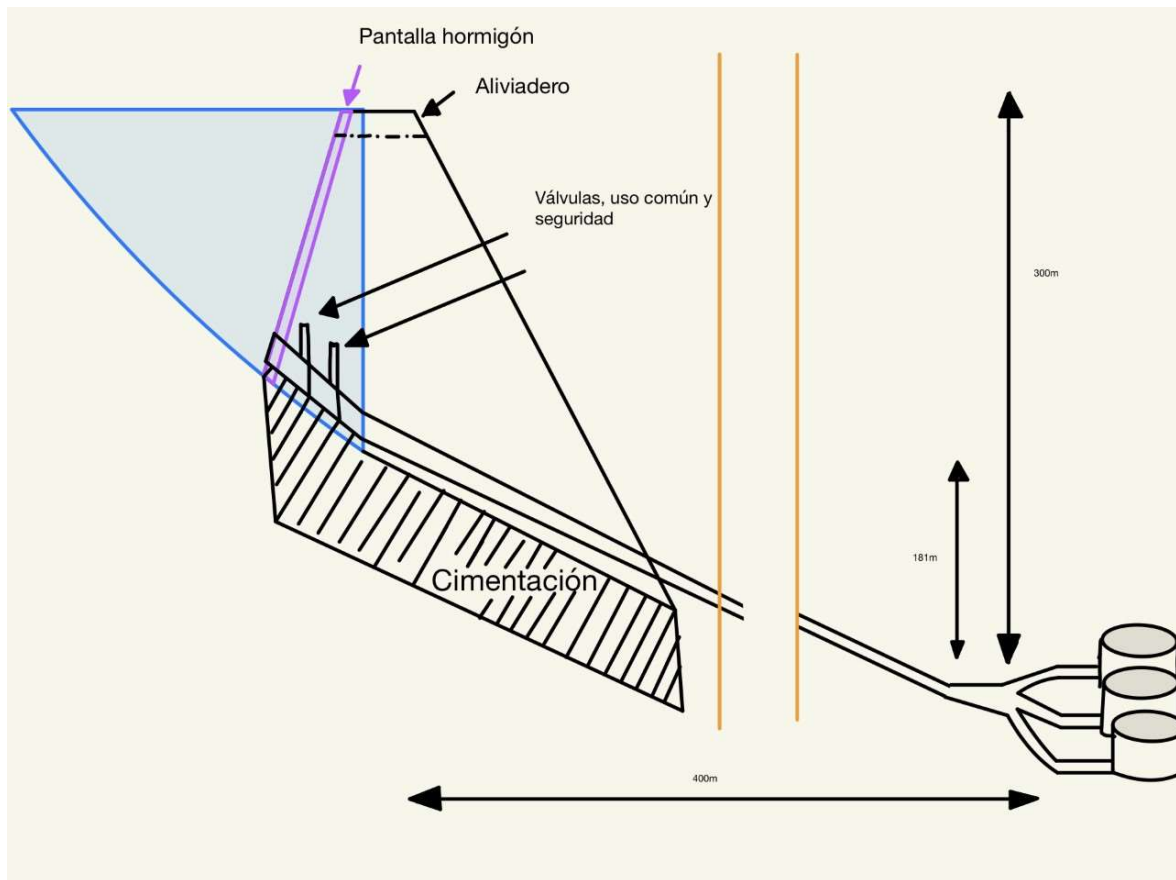


Ilustración 52/ Representación del circuito de instalación para aplicar la ecuación de Bernoulli

En este esquema el diseño es con bombas en paralelo. En mi caso diseñaré un nuevo dispositivo concreto para la instalación. Existe la posibilidad del diseño de una bomba menor y disponer de varias en paralelo o serie para poder cumplir con el caudal necesario

Primero presento la ecuación que voy a aplicar y posteriormente en el esquema los puntos clave y sus valores de sustitución en la formula.

$$\left(\frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + z \right)_1 - h_{turb} + h_{bomb} = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + z \right)_2 + \overbrace{\sum_{\text{Cada tramo recto}} h_f + \sum_{\text{Cada elemento}} h_m}^{h_{\text{pérdidas}}}$$

Donde:

P: representa la presión

V: representa la velocidad del fluido

Z: representa la altura geodésica de la superficie libre del fluido

H_{turb} = representa la altura que perdería el fluido si pasa por una turbina

H_{bomb} = representa la altura que el fluido ganaría si pasa por una bomba

H_f = son las pérdidas primarias del fluido debido a la fricción con la pared

H_m = en ella se aglutinan las pérdidas que se deben a la geometría característica del tubo, en mi caso serán las pérdidas en los codos y las pérdidas de válvulas antirretorno.

Debemos de igual manera aplicar las ecuaciones de Colebrook o Halan en función de cómo se comporte el fluido y una de las dos ecuaciones sea mucho más aproximada a la realidad. Debemos comprobar el número de Reynolds y clasificar el fluido para ver si una ecuación es más apropiada.

$$R_e = \frac{\text{Fuerzas Inerciales}}{\text{Fuerzas Viscosas}} = \frac{\rho * D * v}{\mu} = \frac{v * D}{\nu}$$

Donde:

ρ = Densidad del fluido

μ = Viscosidad dinámica del fluido

v = Velocidad del fluido

D = Diámetro interno de la tubería

ν = Viscosidad cinemática del fluido

Aplicando esta ecuación con los valores previos obtenemos un número de Reynolds de: 1314303,106, que corresponde a un régimen turbulento.

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -2.0 \log \left(\frac{\varepsilon/d}{3.7} + \frac{2.51}{Re_d f^{1/2}} \right)$$

Donde f es el factor de fricción, ε es la rugosidad absoluta de la tubería, D es el diámetro interno de la tubería, y Re es el número de Reynolds del flujo en la tubería.

Obteniendo un factor de fricción de 0,0121

Apliquemos Bernoulli ahora que tenemos todos los datos. Tal y como se está proyectando la instalación tendríamos dos codos de ángulo similar a 24,35 grados. Por simplicidad supondremos una k para un codo de 45 grados, que es más restrictivo que el de 24,35 grados, por lo que en la realidad las pérdidas son menores.

Tomando de nuevo 0,18 como las pérdidas de carga de una válvula de clapeta y como en mi instalación tengo dos válvulas lo multiplico por dos

$$H_b = 300 + 0,0121 \frac{439,04}{1,4176} + 2 * 0,4 * \frac{1^2}{2 * 9,81} + 2 * 0,18 + 2 * \text{hperdidas valvulas presa}$$

$$H_b = 304,148 \text{ m}$$

Ahora que tenemos la altura que debe ser capaz de otorgar la bomba para llegar a los 300 metros de altura y superar las pérdidas, podemos calcular la potencia de la bomba.

$$H_b = \frac{P_{bomba}}{Q * \rho * g}$$

$$P_{bomba} = 304,148 * 1,5783 * 1028,19 * 9,81 = 4842 \text{ KW}$$

La bomba ya está casi diseñada por completo ahora resta calcular el peso y empuje de la boya.

$$P_{bomba} = F * V$$

$$F = \frac{4842 * 10^3}{\frac{2 * 0,75}{9,0378}} = 29174 \text{ KN}$$

$$M = \frac{F}{G} = \frac{29174 \text{ K}}{9,81} = 2973,75 \text{ Tn}$$

El empuje de la boya debe ser capaz de ejercer la fuerza F en el embolo y además poder levantar el peso del propio embolo.

$$E = F_{\text{subida embolo}} + \text{Peso del embolo} = 2 * \text{fuerza bajada} = 58348 \text{ K N}$$

$$E = \text{peso del volumen desalojado} = 1028,19 * 9,81 * \text{Volumen boya}$$

Volumen de la boya = 5785,81 m³.

Tabla 4/ Bombeo a balsa para ciclo de bombeo y turbinado



Bombeo a balsa

Parámetro de Bomba	Valor	Unidad
Caudal aportado	1,57833	m ³ /s
Altura efectiva	304,148	m
Radio del embolo	2,4605	m
Volumen del ebolo	15,7	m ³
Velocidad de bajada del embolo	0,3349	m/s
diámetro de las bridas de acople	1,4176	m
Masa de la boya	2973,75	Tn
Volumen de la boya	5785,81	m ³

10.5 SELECCIÓN DE MATERIALES Y ESPESORES.

10.5.1 CICLO DE BOMBEO EN EMBALSE

En este punto corresponde explicar los puntos de diseño que restan, seleccionaré los espesores de las paredes, reforzaré zonas con posibles puntos débiles.

Para mi diseño pretendo hacer un dispositivo que pueda funcionar en los dos escenarios que he creado por ello dimensionaré las paredes para el caso de la presa, estas bombas deben dar más altura por lo que más presión.

Para el cálculo de la presión en la bomba puedo simplemente calcularlo aplicando Bernoulli, ya que la presión que aporta la bomba para mover el agua es la equivalente al peso de la columna de agua que encontramos por encima de ella.

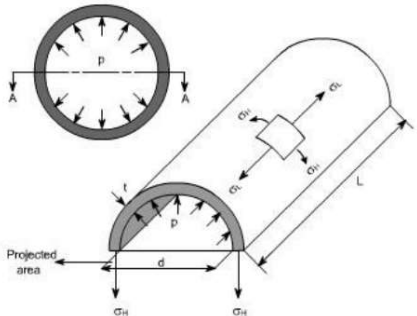
$$\left(\frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + z \right)_1 - h_{turb} + h_{bomb} = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + z \right)_2 + \overbrace{\sum_{\text{Cada tramo recto}} h_f + \sum_{\text{Cada elemento}} h_m}^{h_{\text{pérdidas}}}$$

Aplico la ecuación de Bernoulli entre la entrada a la tubería y el embalse y suponiendo unas pérdidas de 10 m. Estas pérdidas no pueden darse en mis instalaciones debido a que son muy grandes, por lo que representan otro factor de seguridad.

$$\frac{p}{1028,19 * 9,81} + \frac{1}{2 * 9,81} = 300 + 10$$

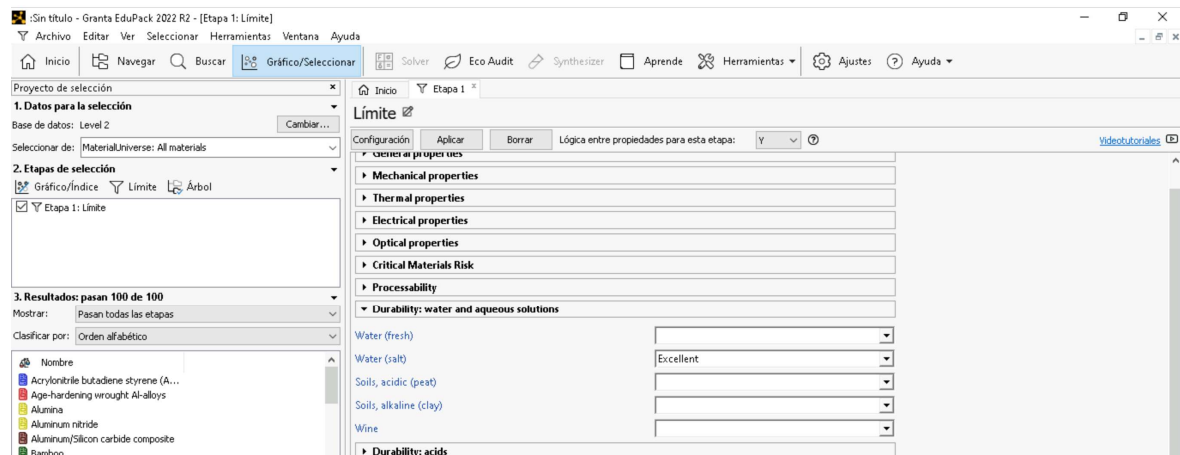
$$P=3126314,51=31,263 \text{ MPa}$$

Si nos encargamos de buscar la presión de las paredes de un cilindro encontramos:

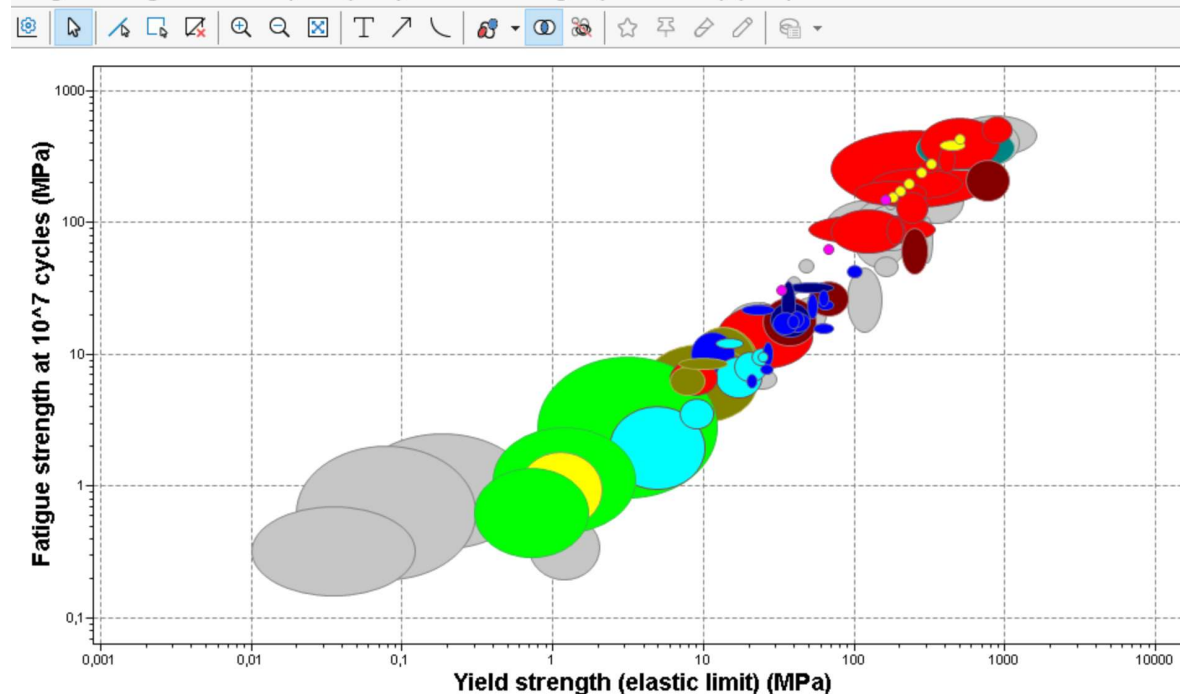
	Cylindrical vessel $\sigma_{hoop} = \frac{pr}{t}$ $\sigma_{long} = \frac{pr}{2t}$
σ_{hoop}: Tensión circunferencial; σ_{long}: Tensión longitudinal	

$\sigma_{\text{circunferencial}} = \frac{31,26M \cdot 2,4605}{t}$ la tensión circunferencial es más restrictiva por lo que usaré esta ecuación para calcular el espesor.

Vallamos a edupack



Fatigue strength at 10^7 cycles (MPa) vs. Yield strength (elastic limit) (MPa)



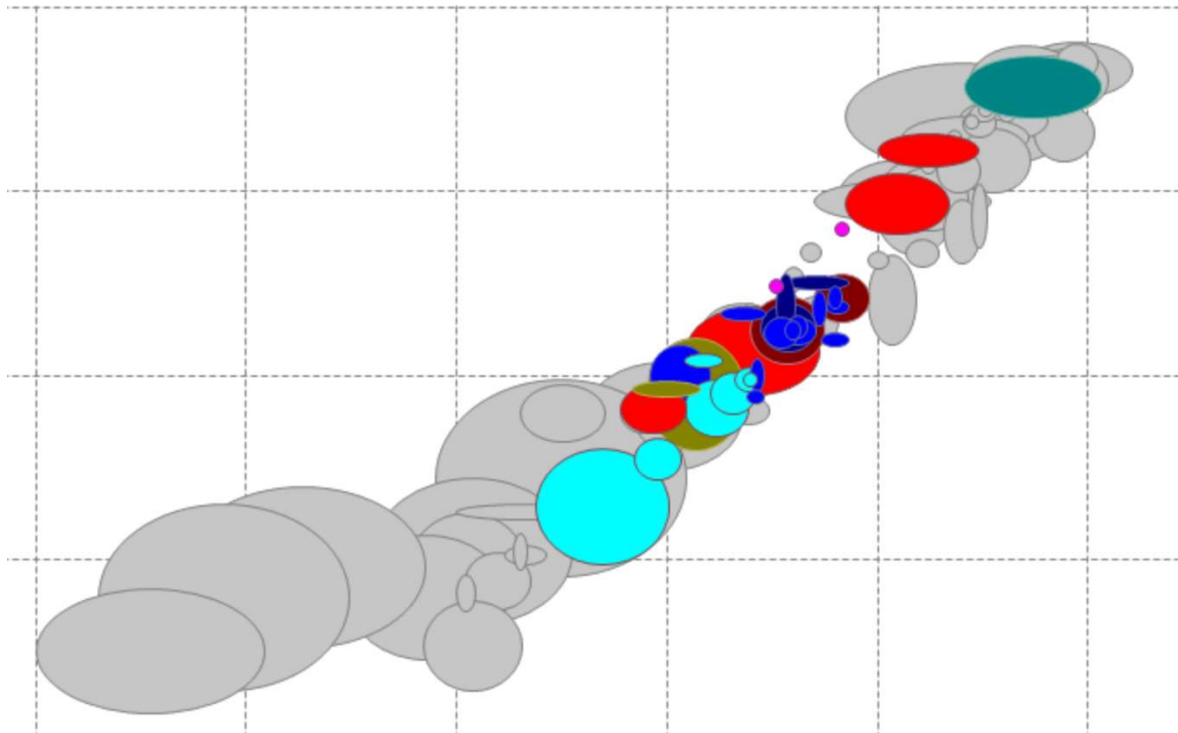
Price 

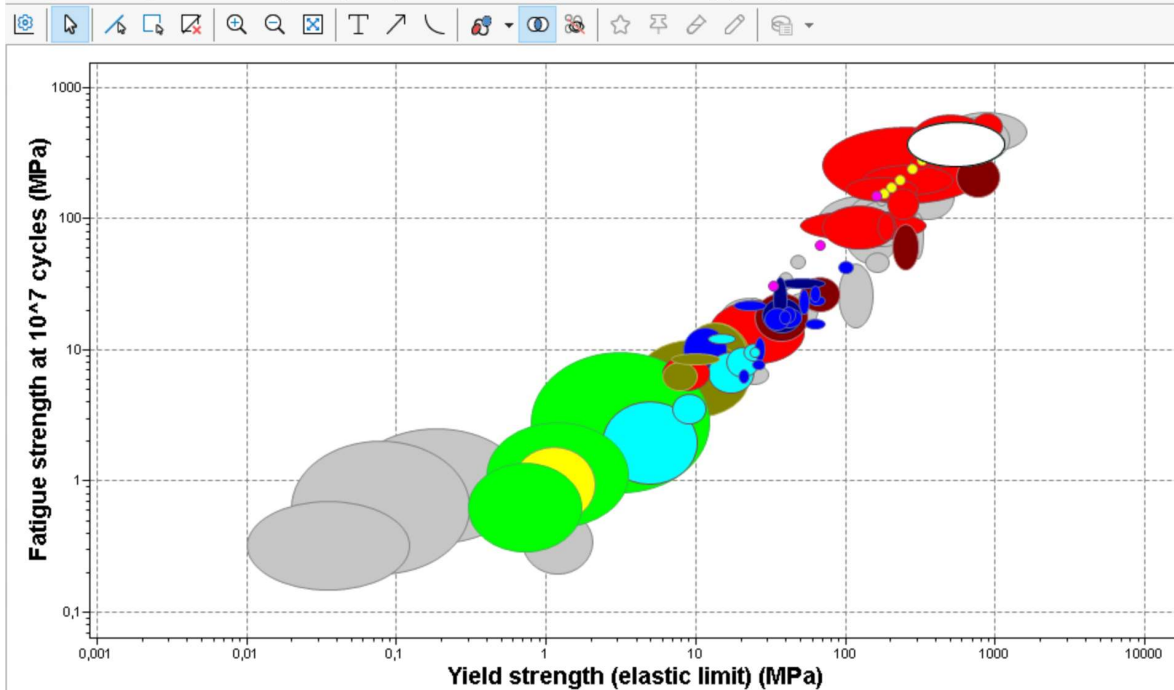
Configuración Aplicar **Borrar** Lógica entre propiedades para esta etapa: Y  

[¿No encuentras la propiedad que estás buscando?](#)

▼ **General properties**

	Mínimo	Máximo	
Density			kg/m ³
Price	 1	5	EUR/kg
Date first used			



Fatigue strength at 10^7 cycles (MPa) vs. Yield strength (elastic limit) (MPa)

Mechanical properties

Young's modulus	i	190	-	210	GPa
Shear modulus	i	74	-	82	GPa
Bulk modulus	i	140	-	160	GPa
Poisson's ratio	i	0,27	-	0,28	
Yield strength (elastic limit)	i	257	-	1,14e3	MPa
Tensile strength	i	515	-	1,3e3	MPa
Compressive strength	i	* 252	-	1,2e3	MPa
Elongation	i	10	-	49	% strain
Hardness - Vickers	i	170	-	438	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	i	* 256	-	542	MPa
Fracture toughness	i	* 57	-	137	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	i	* 3,1e-4	-	0,0012	

$\sigma_{\text{circunferencial}} = \frac{31,26M \cdot 2,4605}{\text{espesor de la pared}}$ la tensión circunferencial es más restrictiva por lo que usaré esta ecuación para calcular el espesor.

Usaré los limite elástico más grande y pequeño.

Espesor máximo=0,2993m

Espesor mínimo=0,0675m

Seleccionemos un acero inoxidable de la peor calidad para la construcción del cuerpo, para ver que siendo lo más restrictivos posibles en todos los pasos el dispositivo no queda con paredes muy anchas comparado con el radio.

Buscaré diseñar el dispositivo siendo lo más restrictivo, por lo que me interesa calcular el espesor de las paredes utilizado un acero inoxidable de un bajo límite elástico. Tras esto observaré su espesor y en el caso de ser muy grande este dispositivo no será útil para bombeos a mayores alturas.

Ahora nos falta dimensionar el brazo que impulsa el embolo y la boya.

Fuerza de tracción de la boya

$$E = F_{\text{subida embolo}} + \text{Peso del embolo} = 2 * \text{fuerza bajada} = 58348 \text{ K N}$$

$$E = \text{peso del volumen desalojado} = 1028,19 * 9,81 * \text{Volumen boya}$$

$$F = \frac{4842 * 10^3}{\frac{2 * 0,75}{9,0378}} = 29174 \text{ KN}$$

Por lo que la fuerza que debe soportar será de 29174 KN .

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Yield strength (elastic limit)	257	-	1,14e3	MPa
--------------------------------	-----	---	--------	-----

En este caso seleccionamos el acero inoxidable con menor límite elástico.

área de la sección = 0,11 m².

Obteniendo una barra circular de 0,374m de diámetro.

En el caso de seleccionar el mejor acero inoxidable obtendré una barra de diámetro 0,18m de diámetro.

10.5.2 DESALACIÓN

Calculemos ahora el espesor de la pared, en el dispositivo que bombea en el proceso de desalación.

Para el cálculo de la presión en la bomba puedo simplemente calcularlo aplicando Bernoulli, ya que la presión que aporta la bomba para mover el agua es la equivalente al peso de la columna de agua que encontramos por encima de ella.

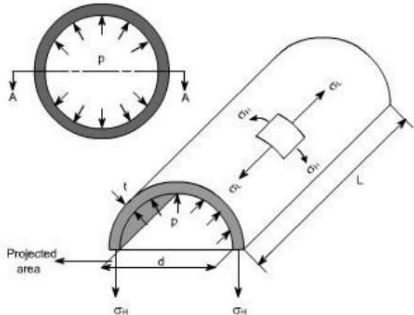
$$\left(\frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + z \right)_1 - h_{turb} + h_{bomb} = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + z \right)_2 + \overbrace{\sum_{\text{Cada tramo recto}} h_f + \sum_{\text{Cada elemento}} h_m}^{h_{pérdidas}}$$

Aplico la ecuación de Bernoulli entre la entrada a la tubería y el embalse y suponiendo unas pérdidas de 10 m. Estas pérdidas no pueden darse en mis instalaciones debido a que son muy grandes, por lo que representan otro factor de seguridad.

$$\frac{p}{1028,19 * 9,81} + \frac{1}{2 * 9,81} = 20 + 10$$

$$P=302082,22 = 0,32 \text{ MPa}$$

Si nos encargamos de buscar la presión de las paredes de un cilindro encontramos:



Cylindrical vessel

$$\sigma_{hoop} = \frac{pr}{t}$$

$$\sigma_{long} = \frac{pr}{2t}$$

σ_{hoop} : Tensión circunferencial; σ_{long} : Tensión longitudinal

$\sigma_{circunferencial} = \frac{0,32M*1,4206}{t}$ la tensión circunferencial es más restrictiva por lo que usaré esta ecuación para calcular el espesor.

Usando los datos obtenidos en Edupack fijando las necesidades del material.

Mechanical properties

Young's modulus	i	190	-	210	GPa
Shear modulus	i	74	-	82	GPa
Bulk modulus	i	140	-	160	GPa
Poisson's ratio	i	0,27	-	0,28	
Yield strength (elastic limit)	i	257	-	1,14e3	MPa
Tensile strength	i	515	-	1,3e3	MPa
Compressive strength	i	* 252	-	1,2e3	MPa
Elongation	i	10	-	49	% strain
Hardness - Vickers	i	170	-	438	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	i	* 256	-	542	MPa
Fracture toughness	i	* 57	-	137	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	i	* 3,1e-4	-	0,0012	

$\sigma_{circunferencial} = \frac{0,302M*1,4206}{\text{espesor de la pared}}$ la tensión circunferencial es más restrictiva por lo que usaré esta ecuación para calcular el espesor.

Usaré los limite elástico más grande y pequeño.

Espesor máximo=1,66 mm

Espesor mínimo=0,37mm

Ahora nos falta dimensionar el brazo que impulsa el embolo y la boya.

Fuerza de tracción de la boya

$$E = F_{\text{subida embolo}} + \text{Peso del embolo} = 2 * \text{fuerza bajada} = 1459,2 * 10^3 \text{ N}$$

Fuerza de tracción de la boya menos el peso de la boya es la fuerza que sufre el brazo que presiona el embolo.

$$P_{\text{bomba}} = F * V$$

$$F = \frac{121,092 * 10^3}{\frac{2 * 0,75}{9,0378}} = 729,6035 \text{ KN}$$

Por lo que la fuerza que debe soportar será de 1459,2 KN.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Yield strength (elastic limit)



257 - 1,14e3 MPa

En este caso seleccionamos el acero inoxidable con menor limite elástico.

área de la sección = 0,005677 m².

Obteniendo una barra circular de 0,085m de diámetro.

En el caso de seleccionar el mejor acero inoxidable obtendré una barra de diámetro 0,04032m de diámetro.

Capítulo 11. FABRICACIÓN DEL DISPOSITIVO Y OBRA

11.1 DISEÑO TRIDIMENSIONAL DEL DISPOSITIVO

Para el futuro diseño del dispositivo me he propuesto realizar un modelo tridimensional del mismo, probando los posibles fallos o mejoras a futuro.

Este apartado contiene información sobre la impresión realizada, presupuesto de la impresión, problemas que han aparecido además de la intención y propósito del modelo.

La principal razón de realización del modelo es comprobar si el bombeo con grandes pérdidas hidráulicas tiene sentido. También el modelo me servirá para comprobar si tiene sentido que el embolo se empuje recto o que pueda hacer un movimiento de manivela.

El proceso de diseño en 3D ha sido sencillo, lo complicado han sido los pequeños problemas que han ido apareciendo.

Mi dispositivo ha tenido problemas en la sujeción del brazo, la idea original era la impresión del brazo dentro del soporte para el eje, pero por error del personal de impresión esto no pudo ser posible, por lo que tuvimos que realizar unos soportes nuevos. Este soporte se abre y cierra mediante tornillos e insertos en las piezas impresas en PLA.

El diseño del dispositivo impreso ha sido complejo y ha supuesto muchos viajes para hacer trámites y solucionar tanto errores de impresión como humanos. El laboratorio de ICAI de fabricación 3D ha tenido problemas con mi trabajo debido a que los alumnos encargados de la impresión de mis piezas han priorizado otras impresiones. Haciendo que mis piezas tarden entre 2-3 meses en ser impresas. Esto ha supuesto mucho retraso al igual que los fallos de impresión humanos como de la extrusión de material.

Los ensayos que se deberían realizar estarían enfocados a dos puntos.

- Pérdidas hidráulicas

Mi dispositivo de pequeñas dimensiones puede llevar juntas tóricas instaladas que permiten disminuir las pérdidas hidráulicas casi al mínimo, por el contrario, a partir de un cierto tamaño y presión el dispositivo tendrá que dejar de llevarlas. En este ensayo pretende observar el funcionamiento con esas pérdidas y además pretendo hacer una evaluación de la velocidad de bombeo. Es decir la bomba impulsa agua en función del periodo de las olas, y las pérdidas son distintas en función de la presión generada en la cámara, la cual depende directamente de la velocidad del embolo.

- Brazo móvil o fijo

Este es otro punto muy importante en el rendimiento del dispositivo, ya que tener un desplazamiento de boya solo vertical puede ser o no mejor que permitir a la boya moverse en el eje horizontal y vertical.

El diseño tridimensional realizado es el siguiente:



Ilustración 53/Dispositivo completo 3d

Este dispositivo de la imagen es el proyectado para bombear a la balsa de 300 metros.

El dispositivo consta de varias partes:

- Cilindro y tapa:

Estos han limitado el escalado del diseño de prueba, este ha podido ser como mucho de 30 cm de diámetro por la disponibilidad de hueco en las impresoras 3D

- Embolo y brazo:

Es una de las partes que ha tenido que sufrir modificaciones, su diseño inicial pretendía realizar la impresión del brazo dentro su enganche en el embolo, pero por un error del equipo no fue posible. Por lo que se rediseñó de nuevo unos enganches que unirían ambas partes siendo sujetas por insertos roscados de tamaño M4 al igual que los tornillos de fijación.



Ilustración 54/tornillos y nueva sujeción

- Válvulas antirretorno:

Estas por su diseño, ocurriendo algo muy similar a las del fabricante no se han podido diseñar del tamaño debido, esto ha hecho que se tengan que dimensionar de mayor tamaño. El factor limitante es el espesor de clapeta.

El presupuesto del diseño tridimensional es este:

Válvulas antirretorno:

Tabla 5/costes válvulas antirretorno 3D


COMILLAS
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
 ICAI

ANÁLISIS DE COSTES PARA PROTOTIPADO DE PIEZAS EN IMPRESORA 3D -FDM

DATOS AMORTIZACIÓN MÁQUINA

Precio máquina (€)	50.000
Coste mantenimiento anual (€)	2.500
Años de amortización	4
Amortización (h/año) - 223 días-año / 12 horas-día	2000
Precio Hora máquina-amortización (€/h)	7,19
Precio Hora venta-público (€/h)	7,19

DATOS COSTE MATERIAL

Coste material modelo: (€/kg)	60,00
Coste material soporte: (€/kg)	28,00

DATOS COSTE TÉCNICO ANALISTA

Coste técnico analista del modelo - inc. desmoldeo (€/h)	20
--	----



CONCEPTOS PRESUPUESTADOS Opción Sólido Costes parciales

Material modelo (g)	660,00	39,60 €/ud
Soporte modelo (g)	0,00	0,00 €/ud
Tiempo modelo (h)	26,43	189,99 €/ud
Tiempo técnico-analista (h)	0,10	2,00 €
Cantidad de piezas	1,00	

Coste unitario (€) en ICAI + IVA 231,59 €/Ud

Coste total (€) en ICAI + IVA 231,59 €

PLA

46

PC

54



Cuerpo del pistón y tapa:

Tabla 6/costes tapa y cuerpo del pistón 3D



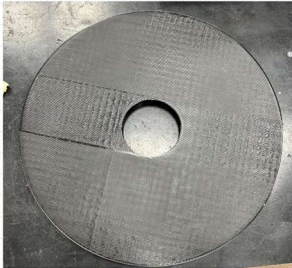
COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ANÁLISIS DE COSTES PARA PROTOTIPADO DE PIEZAS EN IMPRESORA 3D -FDM

DATOS AMORTIZACIÓN MÁQUINA	
Precio máquina (€)	50.000
Coste mantenimiento anual (€)	2.500
Años de amortización	4
Amortización (h/año) - 223 días-año / 12 horas-día	2000
Precio Hora máquina-amortización (€/h)	7,19
Precio Hora venta-público (€/h)	7,19
DATOS COSTE MATERIAL	
Coste material modelo: (€/kg)	60,00
Coste material soporte: (€/kg)	28,00
DATOS COSTE TÉCNICO ANALISTA	
Coste técnico analista del modelo - inc. desmoldeo (€/h)	20




CONCEPTOS PRESUPUESTADOS			Opción Sólido	Costes parciales
Material modelo (g)	1177,66	70,66 €/ud		
Soporte modelo (g)	0,00	0,00 €/ud		
Tiempo modelo (h)	40,83	293,49 €/ud		
Tiempo técnico-analista (h)	0,10	2,00 €		
Cantidad de piezas	1,00			
Coste unitario (€) en ICAI + IVA	366,15 €/Ud		PLA	46
Coste total (€) en ICAI + IVA	366,15 €		PC	54



Embolo y brazo:

Tabla 7/Costes embolo y brazo 3D


COMILLAS
 UNIVERSIDAD PONTIFICIA
 ICAI

ANÁLISIS DE COSTES PARA PROTOTIPADO DE PIEZAS EN IMPRESORA 3D -FDM

DATOS AMORTIZACIÓN MÁQUINA

Precio máquina (€)	50.000
Coste mantenimiento anual (€)	2.500
Años de amortización	4
Amortización (h/año) - 223 días-año / 12 horas-día	2000
Precio Hora máquina-amortización (€/h)	7,19
Precio Hora venta-público (€/h)	7,19

DATOS COSTE MATERIAL

Coste material modelo: (€/kg)	60,00
Coste material soporte: (€/kg)	28,00

DATOS COSTE TÉCNICO ANALISTA

Coste técnico analista del modelo - inc. desmoldeo (€/h)	20
--	----



CONCEPTOS PRESUPUESTADOS

Opción Solido

Costes parciales

Material modelo (g)	196,21	11,77 €/ud
Soporte modelo (g)	0,00	0,00 €/ud
Tiempo modelo (h)	6,91	49,67 €/ud
Tiempo técnico-analista (h)	0,10	2,00 €
Cantidad de piezas	1,00	

Coste unitario (€) en ICAI + IVA

63,44 €/Ud

PLA

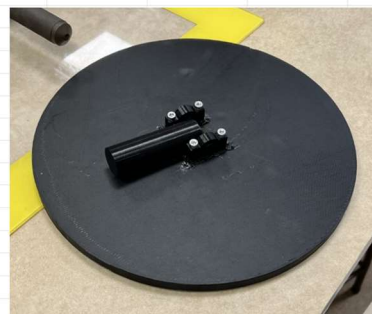
46

Coste total (€) en ICAI + IVA

63,44 €

PC

54



11.2 FABRICACIÓN DEL DISPOSITIVO

En este apartado pretendo dar las indicaciones pertinentes para la fabricación del dispositivo de bombeo, que material usar y que procedimiento, además de detalles de construcción en la obra si fueran necesarios.

Comenzamos por el material de fabricación que usar, como ya hemos dicho antes es acero inoxidable. El siguiente factor a tener en cuenta a la hora de fabricar el dispositivo es la forma, un cilindro.

El acero inoxidable como sabemos es un acero con algo más de contenido en cromo por lo que sus procesos son muy parecidos a un acero convencional. Esto nos deja una amplia variedad de procesos, ya que podemos forjar, torner, fresar, taladrar, hacer una fundición y otros muchos procesos.

Creo que para la mejor comprensión del proceso de conformado incluiré una imagen de la parte a fabricar y el proceso por separado de cada una, ya que así es más sencillo.

11.2.1 CUERPO DEL PISTÓN

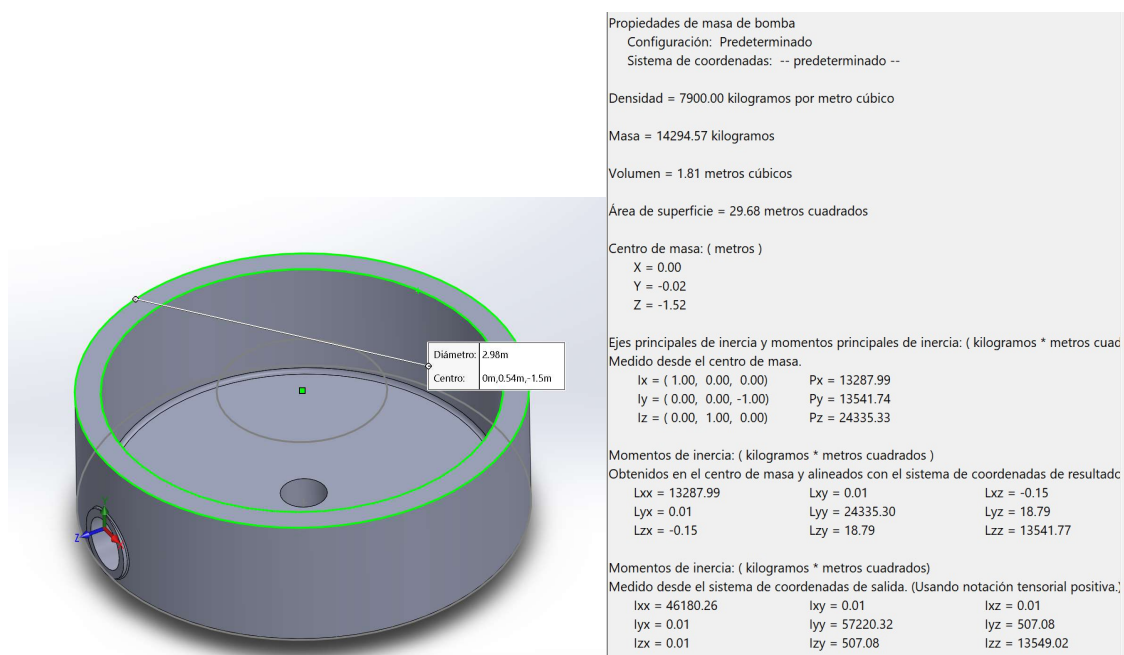


Ilustración 55/ Cuerpo del pistón

Esta parte es una de las más restrictivas a la hora de producirse, las dimensiones de su diámetro son desmesuradas y no puede tornearse. Como vemos la masa del dispositivo son unas 14 toneladas, un peso completamente desmesurado para fundición en arena. El espesor de las paredes impide que una lámina pueda ser curvada en forma cilíndrica.

En conclusión, la producción de algo de estas dimensiones no tiene otra solución que o ser fabricado el cilindro entero y mediante chorro de agua, corte por láser o alguna variante extraer el corazón. Como vemos el lateral cilíndrico está listo, falta la realización del orificio para la válvula antirretorno que se realizará con el mismo procedimiento.

Ahora nos faltan por realizar las tapas superior e inferior que estas serán recortadas también con corte por láser de un planchón de 17 centímetros.

Como podemos ver las piezas deberán unirse por medio de soldadura, en esta caso TIG es una soldadura que suele usarse para piezas finas por su acabado impecable, pero la razón por la que usaré TIG y no MIG o SMAG es por la gran resistencia que tienen esas soldaduras.

Obviamente la limpieza de la pieza y la creación de ranura para la soldadura es imprescindible. El electrodo de tungsteno deberá ser perfilado de forma afilada para lograr la penetración pertinente.

11.2.2 LABIO DEL EMBOLO

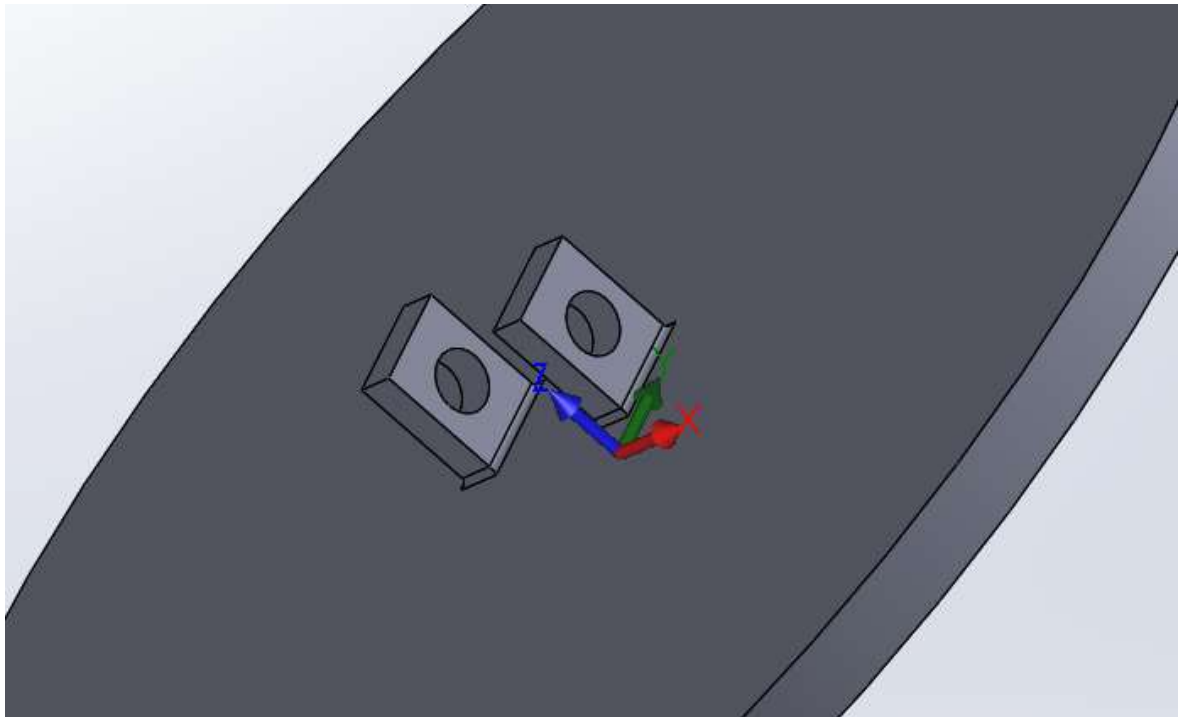


Ilustración 56/ labio del embolo

Esta parte corresponde a la encargada de presionar el fluido y consta de dos partes: el propio labio que funciona como tapa y tiene el mismo proceso de fabricación que tenía la tapa del cuerpo del cilindro de la bomba, y los dos soportes del eje que serán de nuevo hechas por corte laser o chorro para evitar añadir más procesos. De nuevo la unión de los componentes

se realizará con soldadura TIG. El labio del embolo llevará una junta tórica para evitar que el fluido se escape, por lo que las tolerancias serán finas, intentando apriete entre la junta tórica y la pared y también entre la junta tórica y el labio.

11.2.3 BRAZO

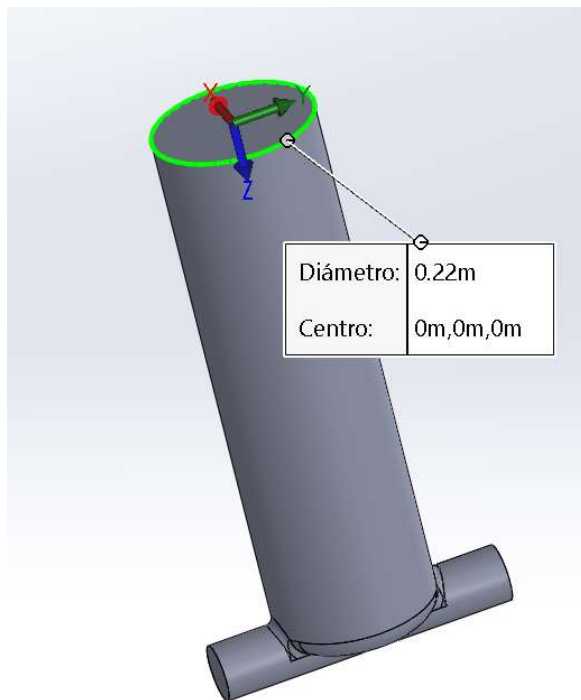


Ilustración 57/ brazo del embolo

Ilustración 58/Brazo

El brazo como podemos observar tiene diámetros más razonables para procesos como torno, por esa razón la barra más gruesa será torneada, dejando un sobrante en la zona que forma la T. Esta T será realizada mediante una fresa que podrá aportar la forma necesaria y evitaremos pérdida de propiedades mecánicas al no tener que soldar las piezas.

El brazo tendrá un ajuste de apriete en los dos rodamientos donde une el labio del embolo con el brazo. La unión con la boya queda por ser estudiada si es más

recomendable hacerla fija o móvil.

11.2.4 BOYA

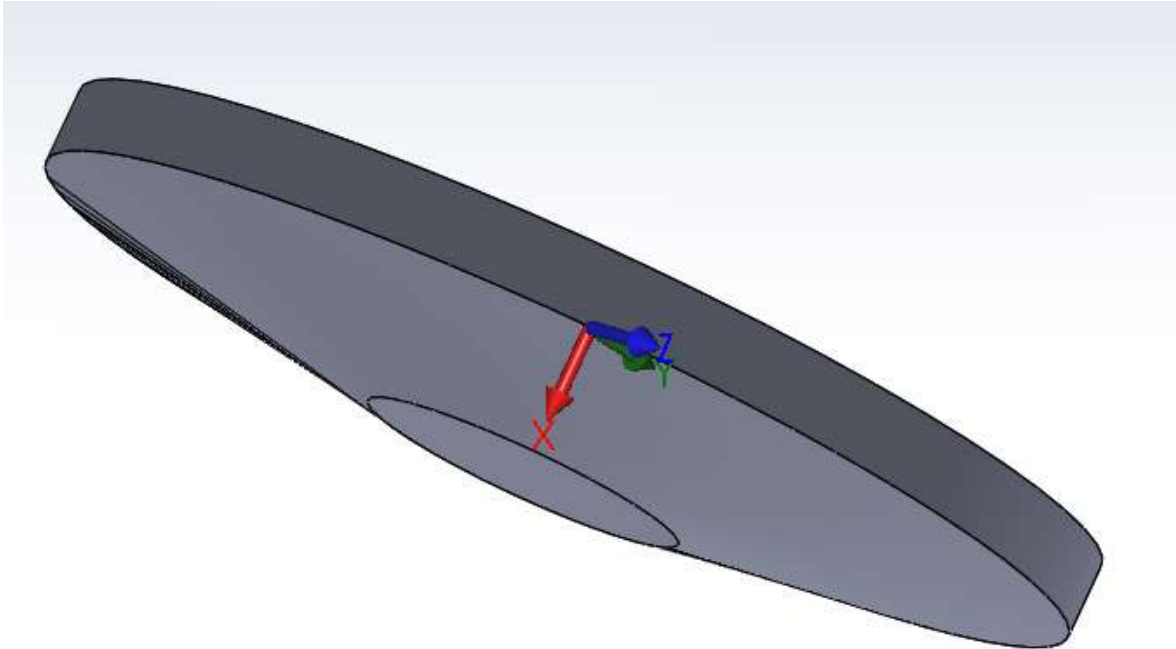


Ilustración 59/Boya

Se corta de nuevo por el mismo procedimiento, con la diferencia que la parte cónica se realizará con un conjunto de trapecios que se soldarán uno a otro para conceder esta forma.

11.3 DETALLES DE OBRA

Es este apartado comentaré muy por encima los puntos clave de obra y el orden en el que los comentaré será cronológico con respecto a su construcción.

11.3.1 CIMENTACIÓN

El primer punto para comentar será la cimentación del fondo marino para la construcción de la estructura de soporte del dispositivo.

He de comentar que el desarrollo de cimentación y las construcciones marinas representan a mi parecer uno de los puntos más importantes para el desarrollo de la sociedad ya que el

agua representa el 75% de la superficie del planeta. Este tipo de disciplinas deben desarrollarse, ya que por así decirlo la colonización del mar será uno de los próximos pasos para la sociedad.

Primero pretendo hacer un pequeño desarrollo de los métodos de cimentación tanto en tierra como en agua y cuáles son sus diferencias peculiaridades y necesidades.

La cimentación se le llama al conjunto de elementos estructurales que se encargará de sostener lo que se construya posteriormente, generalmente está enterada y transmite al terreno las fuerzas necesarias. Hay varios tipos de cimentaciones, pero todas tienen el mismo propósito.

Pasaremos ahora a comentar la cimentación al uso. Hay dos puntos clave el cimiento y el propio terreno. Entre ellos está la solución concreta para evitar que se alcance la tensión última y la admisible.

En los cimientos existen muchos puntos importantes que pueden influir seriamente en la capacidad de sustentación del terreno o del propio cimiento y su vida útil.

- Estabilidad de la excavación
- Ataques químicos al hormigón
- Heladas
- Terrenos colapsables
- Arcillas expansivas
- Disolución Kárstica
- Socavación
- Deslizamientos
- Vibraciones de maquinaria
- Efectos sísmicos

La forma de ejecutar la cimentación importa, ya que si la ejecución de la cimentación realiza cambios en las características del terreno cercano al cimiento este terreno puede suponer un

problema futuro ya que los cálculos cambian. Un ejemplo muy bueno de esto que trato de explicar es la intrusión de pilotes macizos en el terreno, ya que el perforado genera una disminución de la presión en el terreno y esto lleva a una disminución de la resistencia por fuste. Si este pilote fuera hincado en limos o arenas saturadas, por el contrario, se aumenta la presión intersticial, en este caso produce un problema temporal que puede llegar a impedir el funcionamiento.

Con esto que he comentado quiero recalcar que es importante usar un procedimiento correcto para el buen funcionamiento del cimiento.

La clasificación de los cimientos se hace principalmente por la esbeltez del cimiento en la imagen que aparece a continuación se aprecia perfectamente lo que digo.

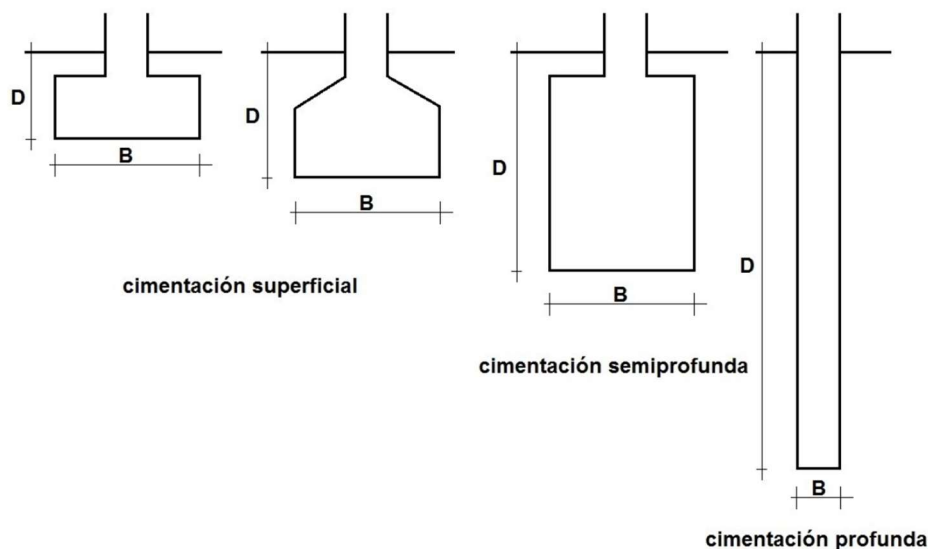


Ilustración 60/ <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/09/concepto-y-clasificacion-de-las-cimentaciones/>

Esbeltez= D/B

D= Profundidad del apoyo

B= Anchura del mismo apoyo

Como nos dice en su página web (<https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/09/concepto-y-clasificacion-de-las-cimentaciones/>) Víctor Yepes Piqueras :

Cimentación superficial

$$D/B \leq 4$$

Se considera cimiento superficial o directa y transmite su fuerza casi por completo por la fuerza de contacto de la base, ya que la profundidad es tan pequeña que su fuerza aplicada puede despreciarse.

Cimentación semiprofunda o pozos

$$4 \leq D/B \leq 8$$

$$O \text{ con } 3 \leq D \leq 6$$

Esta cimentación hace que los momentos y fuerzas de la estructura se vean repartidas en el terreno y participan en este proceso tanto la base como las paredes del cimiento.

Cimentación profunda o pilotaje

$$D/B > 8$$

$$D > 6$$

En este caso ocurre lo contrario a la cimentación superficial y principalmente las paredes del cimiento son las que se encargan de la sujeción de la estructura.

Existen zapatas aisladas que soportan el peso de un solo pilar o zapatas corridas también llamadas vigas de cimentación que pueden servir para sujetar una pared o varios pilares o losas de cimentación que sostienen la estructura al completo. ¿Pero cuál de estos tipos de

cimientos será el más adecuado para soportar la estructura de este proyecto?. Para la selección del tipo de cimentación debemos tener en cuenta diversos factores.

Los factores son:

Tipo de terreno

1. Capacidad portante
2. Deformabilidad
3. Existencia de nivel freático
4. Excavabilidad o alterabilidad

Estructura

5. Carga a
6. Asientos
7. Sótanos
8. Cuando hay edificios próximos a este con distinta carga

Pondré algunos ejemplos del uso de unos cimientos u otros.

Zapata:

- Terreno con resistencia media alta, sin estratos blandos interpuestos
- Niveles de apoyo menores a metro y medio (en caso de otra profundidad puede rellenarse el terreno de hormigón de menor calidad)
- Los giros se solucionan con riostras y otro tipo de métodos

Cimentación con losa:

- Terreno heterogéneo
- Tensiones admisibles menores a $0,15\text{N/mm}^2$
- Es económicamente rentable si la superficie de cimentación es al menos la mitad del edificio

Cimentación por pilotaje

- Cuando el acceso al apoyo no existe mediante pozos o zapatas
- Son buenos para soportar cargas muy fuertes

La cimentación por pilotaje es casi la única que se utiliza en el mar, ya que es una buena solución para vencer los pares que generan las mareas y el movimiento en el océano además de generar grandes fuerzas de rozamiento que impiden que la estructura se despegue del fondo. Por todo lo anterior descartamos las demás opciones.

En mi caso nos encontramos en el mar en una zona en la que no puedo tomar medidas del fondo por lo que supondré que es un suelo firme y compuesto del mismo material que la isla.

Teniendo esto en cuenta y que mi estructura va a sufrir cargas de tipo momento, lo más indicado es una cimentación por pilotaje

En cuanto a la sujeción del dispositivo al fondo marino será, como ya comenté en el apartado de emplazamiento, un dispositivo onshore que se situará cerca de la playa para una mayor sencillez del propio problema.

La cimentación que vamos a proyectar es un monopilote de gran tamaño y responsabilidad que sujetará al fondo marino la estructura reticulada que sostiene el dispositivo.

Será necesario realizar otro pilote para la sujeción de la tubería al fondo marino cuando se despegue de este. Este pilote será mucho más pequeño y de menor responsabilidad.

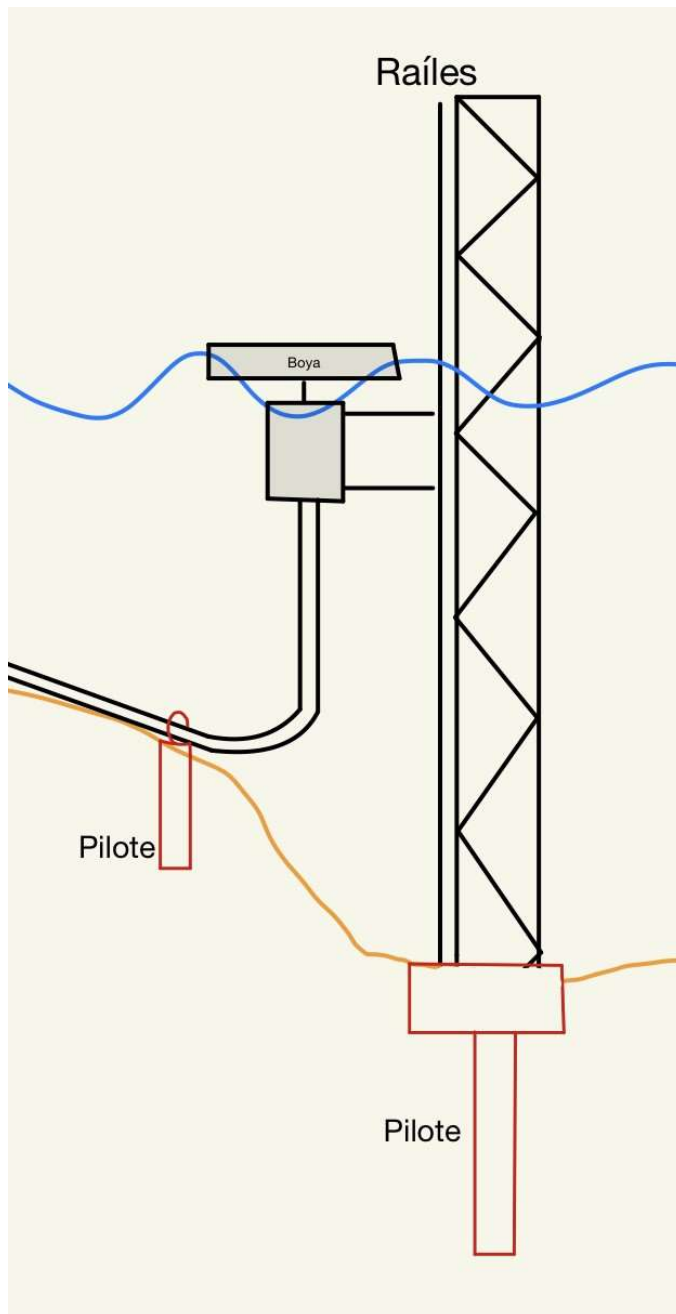


Ilustración 61/Ubicación de los pilotes

11.3.2 ESTRUCTURA RETICULADA

En esta estructura se apoya y fija el dispositivo que deberá ser transportado ya construido y sumergirlo hasta lograr fijar su posición con las bridas de acople que tendrán en su base, este será un procedimiento complicado debido a que está a alta profundidad y es necesario haber dejado el tiempo necesario de secado de pilotes.

La estructura será transportada en un barco grúa acorde a las dimensiones de la estructura.



Ilustración 62/representación de la forma de transportar los monopilotes.

11.3.3 SUJECCIÓN DE TUBERÍAS

Estas se transportarán a la zona y fijarán a su posición. Como estas tuberías no son de gran diámetro no sufrirán movimientos por corrientes en la gran mayoría de las zonas, con esto quiero decir que la fijación será con lastre, a excepción de la zona que se encuentra justo al

lado del dispositivo de bombeo. El dispositivo como ya he comentado debe situarse en la altura media de cada grupo de olas, por lo que el dispositivo sube y baja. Este vaivén hace que la tubería necesite ajustar su posición, por lo que la tubería pueda verse sometida a mayores esfuerzos en esa zona por lo que en el futuro será necesario realizar el cálculo de la fuerza de empuje del mar en el tramo de tubería suelto.

11.3.4 INSTALACIÓN DEL DISPOSITIVO

Ahora corresponde finalizar la obra y el proyecto que tanto esfuerzo ha llevado y situar el dispositivo en los raíles de la estructura reticulada.

Esta parte es una de las más complejas ya que las maniobras con la grúa han de ser precisas debido a que los raíles son pequeños comparados con el tamaño de grúa que manejará el operario.

Solo falta activar el motor en los raíles que situará el dispositivo a la altura necesaria para su funcionamiento. Unir las válvulas antirretorno a sus bridas y de igual manera con las tuberías.

Capítulo 12. OBJETIVOS DE DESARROLLO

SOSTENIBLE

- Industria innovación e infraestructuras, en mi caso este proyecto es innovación e investigación científica. Quizás la parte de innovación sea menor pero la generación de una infraestructura que por ende necesitará un mantenimiento y además de generar un vector energético genere trabajo y riqueza en la zona en la que se sitúe.
- Agua limpia y saneamiento, en el caso que mi dispositivo se encargue de suministrar presión a una desalinizadora, ayudo a generar una mayor cantidad de agua disponible. Este punto no es seguro dado que quizás la viabilidad de mi dispositivo

en cuanto a la generación de presión y caudal no sea suficiente para poder abastecer una desalinizadora.

- Energía asequible no contaminante, este es el principal motivo de desarrollo de la idea. La búsqueda de un método que pueda aprovechar el enorme potencial energético marino.
- Trabajo decente y crecimiento económico, pretendo seleccionar las piezas en empresas con trabajos bien remunerados y generaré crecimiento económico no solo con la inversión inicial si no con el propio funcionamiento del dispositivo.
- Ciudades y comunidades sostenibles, este dispositivo puede abaratar el coste energético de una desalinizadora, puede generar una energía limpia y aprovechable a un precio asequible, ambas apoyan al desarrollo de una ciudad o comunidad mucho más sostenible.
- Producción y consumo responsable, ya que el coste de producción será cero la producción será responsable. Se evaluarán formas de aprovechamiento del consumo, proponiendo medidas o diseñando el dispositivo que su consumo sea lo más responsable posible.
- acción por el clima, evidentemente esto producirá unos daños visuales al entorno, pero el beneficio de generar una presión con la bomba con energía completamente limpia supone una acción por el clima suficientemente grande.

Capítulo 13. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos han sido los esperados, un dispositivo capaz de producir la altura y caudal necesarios teniendo como problemática los medios de obtención de altura y caudales grandes. Mucha altura, obliga al embolo a soportar grandes presiones y por consiguiente una boya muy pesada. Grandes caudales, nos obligan a tener un dispositivo de mucho radio y poca altura. Pero estos no son factores que limiten el diseño, lo que verdaderamente puede limitar el dispositivo, especialmente en la viabilidad económica por el uso de procesos de fabricación más caros, es el espesor de las paredes.

En cuanto a los posibles usos que puede tener un dispositivo de bobeo marino, la ventaja del bombeo a una balsa parece una mejora mayor que el abastecimiento de desalación. En el caso de suponer una producción en masa de mis dispositivos de bombeo de menor tamaño puede ser rentable para la desalación un abastecimiento con más bombas y métodos de producción mucho más baratos como la fundición.

Por el contrario, en el uso para el abastecimiento de una balsa el proyecto tiene más sentido, ya que mi bomba es de pistón (aportan más altura que caudal), y el aprovechamiento de la energía embalsada se realiza en las horas más eficientes, obteniendo un mejor rendimiento económico.

Ha sido parte esencial de este proyecto la fase previa de análisis del problema a resolver y la búsqueda de una solución que permitiese generar un vector caudal – presión que cubriese diversos usos mediante el aprovechamiento de la energía undimotriz, a través del empleo de un sistema alternativo de bombeo.

Entre las conclusiones obtenidas, puede observarse que dicho vector caudal – presión, puede ser utilizado para bombeo de agua para abastecimiento del proceso de desalación (no hemos estudiado si podríamos conseguir presión suficiente para el proceso de ósmosis inversa que verdaderamente supone un gran porcentaje del gasto energético de desalación), también puede utilizarse para el bombeo a una balsa de acumulación para posterior turbinado y generación de energía (aunque no hemos evaluado transformar directamente este vector de caudal y presión en energía eléctrica sin sacar mayor aprovechamiento, entendemos que es perfectamente viable).

Capítulo 14. CONCLUSIONES Y TRABAJOS

FUTUROS

Es necesario un futuro estudio de movimiento, es decir comprobar y validar que la boya que supongo que actualiza su posición rápidamente con cada subida y bajada del nivel de la ola,

lo hace como en la hipótesis. Este estudio fijará una dimensión máxima de la boya, esta será la dimensión que nos restringirá la altura posible, el factor más limitante, ya que el caudal solo nos hace aumentar el radio del pistón.

Es necesario finalizar la instalación del ciclo de bombeo, dimensionando el tamaño de la balsa de una forma más precisa, utilizando programas que puedan medir el volumen de las curvas de nivel.

Falta por realizar una parte clave como es el estudio económico del coste del dispositivo y el coste asociado a obra de la instalación.

Es necesario realizar los cálculos de cimentación y los cálculos estructurales para la sujeción del dispositivo a la estructura reticulada.

En cuanto al dispositivo como ya he comentado durante el proyecto es necesario que esté siempre a una profundidad con respecto al nivel medio de ola, queda por hacer unos cálculos usando conocimiento sobre regulación automática o el diseño de un elemento mecánico encargado de ello.

La conclusión obtenida es la posibilidad de generar este vector energético únicamente con el coste inicial del dispositivo y el mantenimiento.

Para bombeos menores el prototipo parece que puede realizarse de forma más asequible y usando fundición, creo que el desarrollo de este tipo de bombas debe ser de estas características. No descarto los usos para alturas de instalación mayores ya que hoy por hoy parece que la inversión es muy grande.

Capítulo 15. BIBLIOGRAFÍA

15.1 ENERGÍA UNDIMOTRIZ

[1]

ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN LA COSTA GALLEGA. (n.d.).
ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN LA COSTA
GALLEGA. Retrieved February 23, 2023, from
https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/36821/TFG_LeticiaUriarte.pdf?sequence=1

[2]

*Análisis energético y simulación del comportamiento de una boya undimotriz con tres guías
verticales.* (n.d.). 162900_Memoria_TFG_Yassir_El_Hassali__Sarhir_PDF_.pdf.
Retrieved February 23, 2023, from
[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/362497/162900_Memoria_TFG_Yassir
El_Hassali__Sarhir_PDF_.pdf?sequence=1](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/362497/162900_Memoria_TFG_Yassir_El_Hassali__Sarhir_PDF_.pdf?sequence=1)

[3]

colaboradores de Wikipedia. (2022, 18 abril). *Wave Dragon*. Wikipedia, la enciclopedia libre.
Recuperado 7 de marzo de 2023, de https://es.wikipedia.org/wiki/Wave_Dragon

15.2 BOMBAS

[1]

colaboradores de Wikipedia. (2023, 6 febrero). *Serie de Fourier*. Wikipedia, la enciclopedia
libre. Recuperado 15 de febrero de 2023, de https://es.wikipedia.org/wiki/Serie_de_Fourier

[2]

Díaz, B. A. C. (2018, 29 junio). *Estudio de las olas y su aprovechamiento en energía undimotriz*.
Recuperado 15 de febrero de 2023, de <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/9217>

[3]

Jdk, I. M. (n.d.). *BOMBA HIDRÁULICA DE PISTONES*. Retrieved February 21, 2023, from
<https://www.xn--mecatrnica-lbb.com.co/2021/12/bombas-de-pistones.html>

15.3 EMPLAZAMIENTO

15.3.1 TABLAS:

[1]

Tablas (1,2,3,4): *Evaluación del potencial de la energía de las olas*. (s. f.). Recuperado 30 de enero de 2023, de <https://www.idae.es/publicaciones/evaluacion-del-potencial-de-la-energia-de-las-olas>

15.3.2 INFORMACIÓN:

[2]

Evaluación del potencial de la energía de las olas. (s. f.). Recuperado 30 de enero de 2023, de
<https://www.idae.es/publicaciones/evaluacion-del-potencial-de-la-energia-de-las-olas>

[3]

Fundación Aquae. (2021, 1 febrero). *Plantas desaladoras en España - Fundación Aquae*.

Fundación Aquae. Recuperado 31 de enero de 2023, de

<https://www.fundacionaquae.org/wiki/plantas-desaladoras-en-espana/>

[4]

Acuorum, F. (s. f.). *El agua, elemento clave para una Canarias sostenible – Fundación Acuorum*.

Recuperado 1 de febrero de 2023, de [https://www.acuorum.com/el-agua-elemento-clave-](https://www.acuorum.com/el-agua-elemento-clave-para-una-canarias-sostenible/)

[para-una-canarias-sostenible/](https://www.acuorum.com/el-agua-elemento-clave-para-una-canarias-sostenible/)

[5]

colaboradores de Wikipedia. (2023, 16 enero). *Energía undimotriz*. Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado 7 de febrero de 2023, de
https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_undimotriz

[6]

Monzón, C. (2019, 25 febrero). *Modelo energético de Canarias: un cambio imprescindible*. La Provincia - Diario de Las Palmas. Recuperado 2 de marzo de 2023, de
<https://www.laprovincia.es/energia/2019/02/25/modelo-energetico-canarias-cambio-imprescindible-9316253.html>

[7]

¿Qué es el nivel freático? (2020, 19 octubre). iAgua. Recuperado 7 de marzo de 2023, de
<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-nivel-freatico>

[8]

Clima y vegetación de Canarias - Ciencias Sociales, 3º ESO. (n.d.). Retrieved March 28, 2023, from <https://sites.google.com/site/cienciassocialesterceroeso/historia-1/el-clima/clima-de-canarias>

15.4 DISEÑO DEL DISPOSITIVO

[1]

La tecnología de la desalación - Lenntech. (s. f.). Recuperado 7 de febrero de 2023, de
<https://www.lenntech.es/desalacion/desalacion.htm>

15.5 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

[1]

Concepto y clasificación de las cimentaciones – El blog de Víctor Yepes. (2019, January 9).

Retrieved March 28, 2023, from <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/09/concepto-y-clasificacion-de-las-cimentaciones/>

[2]

IndustrySurfer. (2023, 7 marzo). Turbina Pelton – Partes, Trabajo y Aspectos de Diseño.

Industry Surfer. Recuperado 18 de mayo de 2023, de

<https://industrysurfer.com/blog-industrial/construccion/turbina-pelton-partes-trabajo-y-aspectos-de-diseno/>

