



**Carrera:** Ingeniería Electromecánica

**Asignatura:** Ingeniería Electromecánica I

**Año:** 2024

**Grupo:** N°3

## **Trabajo Práctico N°1**

**Tema:** Central Mareomotriz

### **Integrantes:**

- Aguirre, Ian
- Caineli, Ludmila
- Córdoba, Luisina
- Fernández, Alejandro
- Fleita, Facundo
- Tamborelli, Patricio

### **Profesores:**

- Ing. Bonaz, Valentín Oscar
- Ing. Ruiz, David

**Fecha:** 15/04/2024

## INDICE

1. Introducción .....	2
2. Historia .....	2
3. Importancia de la oceanografía en la energía mareomotriz .....	3
4. Formas de generar la energía mareomotriz .....	4
4.1. Generador de corriente de marea .....	4
4.2. Energía mareomotriz dinámica .....	4
4.3. Presa de mareas .....	4
5. Funcionamiento de las Centrales de Energía Mareomotriz .....	5
5.1. Energía Potencial de las mareas .....	6
6. Ciclos de funcionamiento .....	6
6.1. Ciclos con Turbinas de Simple Efecto .....	6
6.2. Ciclos con Turbinas de Doble Efecto.....	7
6.3. Ciclos de Acumulación por Bombeo .....	7
6.4. Ciclos Múltiples .....	8
7. Turbina Bulbo .....	9
7.1. Componentes de las Turbina de Bulbo .....	11
8. Sistema de Control de Energía Mareomotriz con PMSG .....	12
9. PID Y SCADA .....	13
10. Aspectos Negativos .....	14
11. Aspectos Positivos .....	14
12. Conclusión .....	14
13. Bibliografía .....	15

## 1. Introducción

El campo de la energía renovable está en constante evolución, con la adopción de tecnologías innovadoras y sostenibles que buscan aprovechar al máximo los recursos naturales disponibles. En este contexto, las centrales mareomotrices surgen como una solución prometedora para el futuro de la generación de energía. Estas instalaciones, que aprovechan el movimiento de las mareas para producir electricidad, representan un hito importante en la búsqueda de fuentes de energía limpias y renovables.

Además, examinaremos en detalle cómo funcionan las centrales, destacando el papel crucial de la turbina bulbo en la conversión de la energía de las mareas en energía eléctrica. También, exploraremos los sistemas de control utilizados para optimizar el rendimiento de estas turbinas y garantizar una operación eficiente y confiable.

## 2. Historia

La historia de la energía mareomotriz se entrelaza con la historia misma de la humanidad, ya que diversas civilizaciones antiguas han observado y aprovechado las mareas para diversos fines. Sin embargo, el desarrollo tecnológico significativo en este campo comenzó a materializarse en tiempos más recientes.

El concepto moderno de energía mareomotriz emergió con el surgimiento de tecnologías sustentables en el siglo XX. Esta energía se obtiene a través de turbinas que operan mediante el flujo de agua generado por las mareas. Estas turbinas están conectadas a alternadores, los cuales convierten la energía mecánica en electricidad limpia y respetuosa con el medio ambiente.

Las centrales hidroeléctricas mareomotrices son el epicentro de esta transformación energética. Ubicadas estratégicamente en zonas costeras, estas instalaciones están equipadas con compuertas que retienen el agua durante la marea alta para luego liberarla de manera controlada, aprovechando así la energía cinética del agua para hacer funcionar las turbinas y generar electricidad.

Con un potencial que aún se está explorando y desarrollando, la energía mareomotriz representa un paso hacia un futuro más sostenible y resiliente, donde los océanos se convierten en aliados fundamentales en la búsqueda de soluciones energéticas limpias y renovables.

### 3. Importancia de la oceanografía en la energía mareomotriz

La oceanografía es la rama de las Ciencias de la Tierra que estudia los procesos biológicos, físicos, geológicos y químicos que se dan en los mares y en los océanos.

Para poder comprender el funcionamiento y el porqué de la necesidad de una ubicación específica de las Centrales Mareomotrices, debemos tener un conocimiento previo de algunos conceptos y otras características de los océanos.

Las mareas son creadas por las fuerzas centrífugas y gravitacionales entre la Luna, el Sol y la Tierra, estas fuerzas provocan el aumento y disminución de la altura del agua respecto a la costa. Estas diferencias de alturas cambian dependiendo de la estación, geomorfología y la alineación astral entre otros factores.

Las mareas son predecibles y cíclicas. La fuerza de atracción de la Luna es mayor a la del Sol, aunque este astro sea más grande, la Luna está más cerca y es la que más efecto tiene sobre las mareas. La gravedad de esta crea unas fuerzas de atracción que provocan protuberancias sobre el mar. Este fenómeno aparece dos veces cada 24h 50 min.

La amplitud de las mareas depende de las fuerzas gravitacionales de los astros y de la posición de estos. Los astros tienen una influencia directa en el tiempo que dura la marea y altura de esta. Existen dos tipos de mareas que ocurren dos veces, y estas se diferencian por su tamaño:

- *Las mareas muertas:* ocurren cuando el Sol y la Luna están a 90 grados entre ellos y cuando la luna está en el primer cuarto y tercer cuarto causando que las fuerzas gravitacionales se contrarresten entre ellas provocando que la altura de las mareas sea menor a lo normal. La velocidad de estas mareas es de 2-2,5 m/s.
- *Las de primavera:* ocurren cuando la luna y el sol se alinean con la tierra haciendo que las fuerzas gravitacionales se refuercen entre ellas cuando hay Luna nueva y Luna llena provocando que el océano tenga mareas con alturas más altas y más bajas de lo normal. La velocidad que se puede obtener con estas mareas es de 3,5-4 m/s. Como la gran masa de agua no se puede mover sin ser bloqueada, en cada océano y zona se generan diferentes patrones de mareas. También, el efecto Coriolis, la topografía de la costa, las corrientes oceánicas entre otras provocan diferencias en las alturas de las mareas.

También las mareas pueden clasificarse en tres tipos principales según la frecuencia y el patrón de su ciclo diario:

- *Mareas diurnas*: Corresponden a una subida y bajada de la marea cada día lunar.
- *Mareas semidiurnas*: En un día lunar, consiste en dos subidas de marea similares y en dos bajadas de marea similares. Entre la primera subida máxima y la última el tiempo que tarda es de 12h y 25 min. La mayoría de las costas del mundo tienen este tipo de mareas.
- *Mareas mixtas semidiurnas*: Es un ciclo con dos mareas bajas y dos altas durante un día lunar y con diferentes alturas cada ciclo lunar.

#### **4. Formas de generar la energía mareomotriz**

##### **4.1. Generador de corriente de marea**

Los generadores de corriente de marea, también llamados TSG, aprovechan la energía cinética del movimiento del agua causado por las corrientes de marea. Esto son flujos de agua que se producen cuando las mareas suben y bajan. Para capturar esta energía, se instalan turbinas submarinas en áreas donde las corrientes son fuertes y constantes, como estrechos entre islas o en el fondo marino cerca de la costa. Las turbinas están diseñadas para rotar con el flujo y el reflujos del agua, lo que activa un generador que convierte la energía mecánica en electricidad. Este método es particularmente efectivo en lugares con corrientes significativas, y su principal ventaja radica en su capacidad para generar electricidad de manera constante, ya que las mareas son predecibles y regulares.

##### **4.2. Energía mareomotriz dinámica**

Este enfoque implica la instalación de estructuras en el lecho marino o cerca de la costa, equipadas con turbinas que aprovechan el flujo de agua de las mareas entrantes y salientes. Estas estructuras pueden ser pilares o plataformas ancladas al fondo marino. A diferencia de los generadores de corriente de marea, las turbinas, en este método, están fijas en una posición, y es el movimiento del agua de las mareas lo que activa las turbinas para generar electricidad. Esto es adecuado para áreas donde las corrientes de marea no son tan fuertes, pero aun así ofrecen un flujo de agua constante y significativo. Una ventaja clave de este enfoque es su flexibilidad en términos de ubicación, ya que las estructuras pueden adaptarse a una variedad de condiciones geográficas y marinas.

##### **4.3. Presa de mareas**

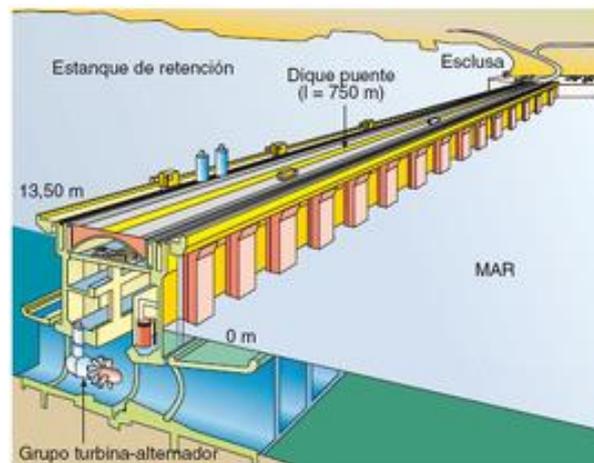
Una presa de mareas es una estructura construida en una entrada de mar o estuario que permite controlar el flujo de agua de las mareas. Durante la marea alta, el agua se retiene detrás de la presa, creando un embalse. Cuando la marea baja, el agua

se libera a través de turbinas instaladas en la presa, lo que activa generadores para producir electricidad. Las presas de mareas pueden ser de tamaño variable, desde pequeñas instalaciones locales hasta proyectos a gran escala. Una de las principales ventajas de este método es su capacidad para almacenar energía, ya que el agua puede ser retenida en el embalse hasta que sea necesario generar electricidad, lo que permite una mayor flexibilidad en la gestión de la energía.

## 5. Funcionamiento de las Centrales de Energía Mareomotriz

Las centrales mareomotrices aprovechan la energía cinética del movimiento de las mareas para generar electricidad. Su funcionamiento se basa en el principio de capturar y convertir la energía del flujo y reflujo de las mareas en energía eléctrica utilizable.

La estructura de una central mareomotriz consta principalmente de una presa o dique que bloquea el flujo de agua en una zona donde las mareas son significativas. Esta presa cuenta con compuertas que se abren y cierran para permitir el paso del agua respecto a la altura de la marea, siendo estos momentos estratégicos, optimizando así la generación de energía. Al fluir el agua a través de las turbinas, encontradas en el interior del canal, se activan generadores que convierten la energía mecánica en eléctrica.



Para el correcto funcionamiento de estas centrales, se debe tener en cuenta la oceanografía, relación anteriormente mencionada entre las mareas y los cuerpos celestes, esto se debe a que la posición relativa de la Tierra, la Luna y el Sol determina la amplitud y la frecuencia de las mareas.

La central mareomotriz aprovecha este fenómeno al ubicarse estratégicamente en áreas donde las mareas son significativas. Durante la marea alta, conocida como

pleamar, el agua se acumula detrás de la presa, y cuando la marea baja, bajamar, el agua se libera a través de las turbinas, generando energía eléctrica.

### **5.1. Energía Potencial de las mareas**

Existen un número limitado de lugares donde es posible la explotación de esta energía, para ello se requiere de una amplitud de marea mínima de 5 metros, de una bahía, río o estuario lo suficientemente amplio para que la cantidad de agua a trasvasar durante las mareas sea grande y de la facilidad de construir un dique o presa que separe el estuario del mar, para contener y cerrar el paso del agua.

La energía que se puede extraer en un ciclo de marea depende de la superficie del embalse artificial  $A(z)$  y de la amplitud  $a$  de la marea, diferencia entre los niveles de pleamar y bajamar.

## **6. Ciclos de funcionamiento**

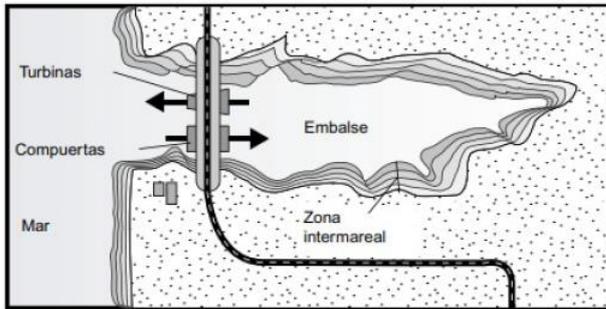
Una central mareomotriz puede diseñarse para operar de distintas formas, las cuales dependen del número de ciclos y del sentido de aprovechamiento de las mareas.

### **6.1. Ciclos con Turbinas de Simple Efecto**

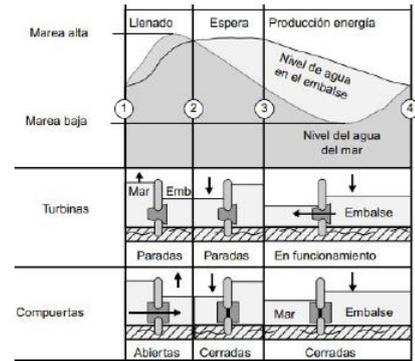
Generación durante el refluo de la marea, bajamar. El llenado del embalse se efectúa con las compuertas abiertas y el vaciado con turbinación.

Generación durante el flujo, pleamar. El llenado del embalse se efectúa con terminación y el vaciado con las compuertas abiertas. Es menos eficiente que el anterior, porque el embalse trabaja con niveles más bajos y la capacidad de almacenamiento es menor. En consecuencia, generan sólo durante la bajamar, vaciándose el embalse, o sólo durante la pleamar, llenándose el embalse; estas operaciones requieren de una turbina hélice de flujo axial y alta velocidad específica.

En los ciclos de simple efecto que funcionan con vaciado del embalse, sólo se generaría energía, por día, durante dos períodos de 10 a 12 horas, además de diferentes horas cada día.



ESQUEMA DE UNA CENTRAL DE CICLO ELEMENTAL DE SIMPLE EFECTO.



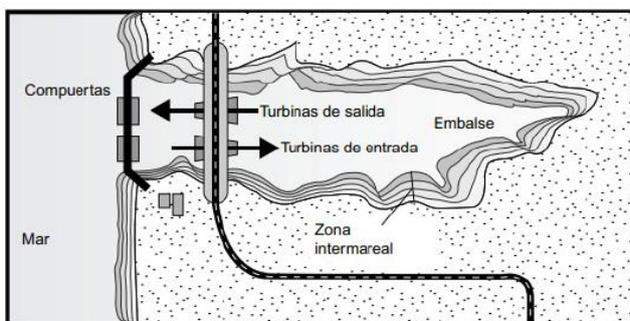
- 1 - Paro de las turbinas y apertura de las compuertas
- 2 - Cierre de las compuertas
- 3 - Puesta en marcha de las turbinas
- 4 - Paro de las turbinas y apertura de las compuertas

### 6.2. Ciclos con Turbinas de Doble Efecto

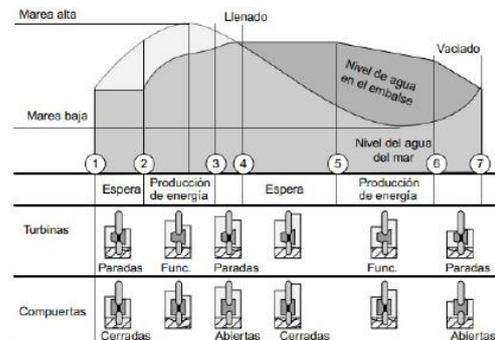
La generación de energía se efectúa con ambas mareas, para ello se exige que las turbinas operen eficazmente con un determinado caudal de agua en cualquier dirección, es decir, estas trabajaran durante el llenado, como en el vaciado del embalse.

La energía utilizada es menor debido a que las diferencias de niveles entre el embalse y el mar son menores que en los ciclos de simple efecto, reduciéndose el rango de variación del nivel embalsado, y disminuyendo el rendimiento al no ser posible optimizar las turbinas y el caudal, aunque el factor de utilización de la planta es mayor, lo que proporciona un 18% más de energía que en los casos de simple efecto. Los tiempos de funcionamiento son de 6 a 7 horas por marea, lo que supone entre 12 y 14 horas diarias de generación de energía, con tiempos de espera entre 2 y 3 horas por marea.

Mientras que las turbinas de simple efecto son más simples y pueden ser más económicas de implementar, las de doble efecto permiten generar energía de manera que es más continua y eficiente al aprovechar el flujo y el reflujos de la marea.



ESQUEMA DE UNA CENTRAL DE CICLO ELEMENTAL DE DOBLE EFECTO.



- 1 - Cierre de las compuertas
- 2 - Puesta en marcha de las turbinas
- 3 - Paro turbinas, apertura de compuertas
- 4 - Cierre de compuertas
- 5 - Puesta en marcha de turbinas
- 6 - Paro turbinas, apertura de compuerta
- 7 - Cierre de compuertas

### **6.3. Ciclos de Acumulación por Bombeo**

Generan energía con ambas mareas y disponen de un tipo de almacenamiento por bombeo, lo que obliga a utilizar turbinas que sean capaces de funcionar como bombas, cuando sean accionadas por los alternadores, además de operar con su funcionamiento principal. Esto mejora el nivel de generación y la flexibilidad operativa, lo que proporciona una mayor eficiencia económica, es decir, permite aprovechar de una manera más racional y rentable la central, logrando el aumento del 10% en la generación.

La central del río Rance en Francia es la primera y única central de potencia en el mundo de este tipo, se impuso la utilización de una tecnología totalmente nueva en el campo de las turbinas, como fue la de las turbinas bulbo reversibles, en las que el tiempo de funcionamiento y la experiencia acumulada han delimitado algunas de sus funciones, como el turbinaje inverso reducido a menos del 10% del directo por problemas de malfuncionamiento de la turbina y del alternador, y reduciendo a cero el bombeo inverso, del embalse al mar. Permitiendo aumentar el tiempo de explotación de la central, las turbinas Bulbo han sido diseñadas para poder ser utilizados como bombas, de forma que cuando el nivel del mar está próximo al del embalse, el llenado de éste se puede acelerar e incrementar bombeando agua del mar, lo que permite a las turbinas funcionar durante el reflujos con mayor carga y más tiempo.

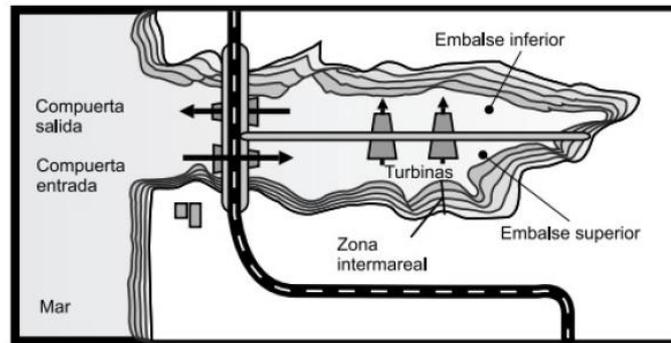
El sistema de bombeo-turbinaje, eleva el nivel del agua en el embalse entre 1 y 2 metros por encima del nivel de la pleamar, cuando la demanda de electricidad es alta, el agua se libera desde esta altura elevada a través de las turbinas, lo que permite una caída de mayor altura, 6 metros o más, generando así más energía eléctrica. Esta diferencia de altura permite una mayor ganancia de energía.

### **6.4. Ciclos Múltiples**

Los ciclos múltiples pueden combinar diferentes tecnologías y métodos de generación de energía, como turbinas de simple efecto, turbinas de doble efecto, tecnología de corrientes de marea, dispositivos de conversión de energía de las olas y sistemas de bombeo-turbinaje.

Este permite mejorar la estabilidad del sistema de generación de energía eléctrica al proporcionar redundancia y capacidad de adaptación a diferentes condiciones del entorno marino. Estos pueden utilizar varios embalses para generar energía de una forma más continua a lo largo del día; serían más caros, y por ello exigen una obra civil más costosa. En algunos casos es inviable. Por ej.: El proyecto Cacquot

en la bahía de Saint Michel, con mareas de 15 m de amplitud, implicaba diques de 55 km con alturas de 30 a 40 m para almacenar en 2 estanques de 1100 km<sup>2</sup>, caudales que penetrarían por las compuertas a razón de 500.000 m<sup>3</sup>/seg, generando entre 30 y 40 TWh (Tera Vatio por Hora) al año, apoyándose en las islas Chausey. Se estimó en 10 años su construcción, pero el proyecto fue abandonado.



ESQUEMA DE CENTRAL MAREOMOTRIZ DE CICLO MÚLTIPLE.

## 7. Turbina Bulbo

Las turbinas bulbo constituyen un diseño innovador en el campo de la ingeniería hidroeléctrica, específicamente adaptadas para aprovechar la energía de corrientes de agua en condiciones de bajo desnivel. Estas turbinas se clasifican dentro de las turbinas axiales y son especialmente efectivas en ambientes donde los saltos hidráulicos son mínimos, a menudo inferiores a 5 metros. Dada su eficiencia y diseño compacto, las turbinas bulbo se emplean tanto en micro centrales hidráulicas como en instalaciones mareomotrices, ofreciendo una solución energética sostenible y de bajo impacto ambiental.

El funcionamiento de las turbinas bulbo se centra en su capacidad para capturar la energía cinética del flujo de agua, transformándola en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica. Estas turbinas están diseñadas para trabajar con la corriente del agua que entra axialmente respecto al eje de la turbina. El agua impulsa las palas del rotor, cuyo movimiento se transmite a un generador alojado dentro del bulbo aerodinámico de la turbina, ubicado directamente en el flujo de agua para minimizar las pérdidas de energía.

*Bulbo con alternador en el interior:* Estos son básicamente lo que se emplea actualmente y data de 1933 (Fisher), en las centrales mareomotrices se debe fundamentalmente a las condiciones de doble sentido tanto de funcionamiento, como a la necesidad de emplear este tipo de Bulbo en función de bombeo para provocar el llenado del embalse. Este tipo de funcionamiento originó problemas en los sistemas eléctricos que implicaron una disminución del tamaño del alternador, y en el sistema de

refrigeración por aceite a presión, para evacuar el calor y evitar las entradas de agua en el recinto sumergido del alternador, lo que indujo a construir un grupo único (turbina-alternador) siendo en este momento cuando nacen los auténticos grupos Bulbo de aplicación exclusiva en las centrales mareomotrices, que tienen como características principales:

*a) Paso del agua a través de su estructura, axialmente*

*b) Funcionamiento en los dos sentidos y posibilidad de actuar como bomba para el llenado del embalse.*

Una de las ventajas más significativas de las turbinas bulbo es su capacidad para operar de manera eficiente con grandes caudales y bajos desniveles. Comparativamente, una turbina bulbo puede ser más pequeña en diámetro, pero igual de potente que una turbina de eje vertical tradicional. Por ejemplo, una turbina bulbo de 6,10 metros de diámetro operando a 87 rpm puede igualar la potencia de una turbina Kaplan de 7 metros a 71 rpm. Esto se traduce en una disminución de las pérdidas de carga en la entrada y salida de la turbina, mejorando el rendimiento global y reduciendo significativamente los costos de la obra civil.

También este tipo de turbina tiene una capacidad de operar en modo reversible, actuando no solo como generador sino también como bomba. Esta versatilidad permite su uso en diversas aplicaciones, incluyendo sistemas de gestión de aguas y en instalaciones mareomotrices, donde se requieren operaciones bidireccionales.

Además, las turbinas bulbo presentan mejores condiciones frente a la cavitación, un problema común en turbinas hidráulicas que puede causar desgaste y daño por la formación y colapso de burbujas de aire en el agua a alta velocidad. Su diseño permite una mejor distribución de las velocidades del agua sobre las palas, lo que reduce las posibilidades de cavitación y prolonga la vida útil de la instalación.

**Beneficios Ambientales y Económicos:** La implementación de turbinas bulbo no requiere de grandes obras civiles, como la construcción de presas o grandes embalses, lo que reduce significativamente tanto el costo como el impacto ambiental asociado con la generación de energía hidroeléctrica. Este tipo de turbina facilita una generación eléctrica descentralizada, promoviendo el desarrollo de energía limpia y sostenible en comunidades locales sin perturbar significativamente los ecosistemas fluviales.

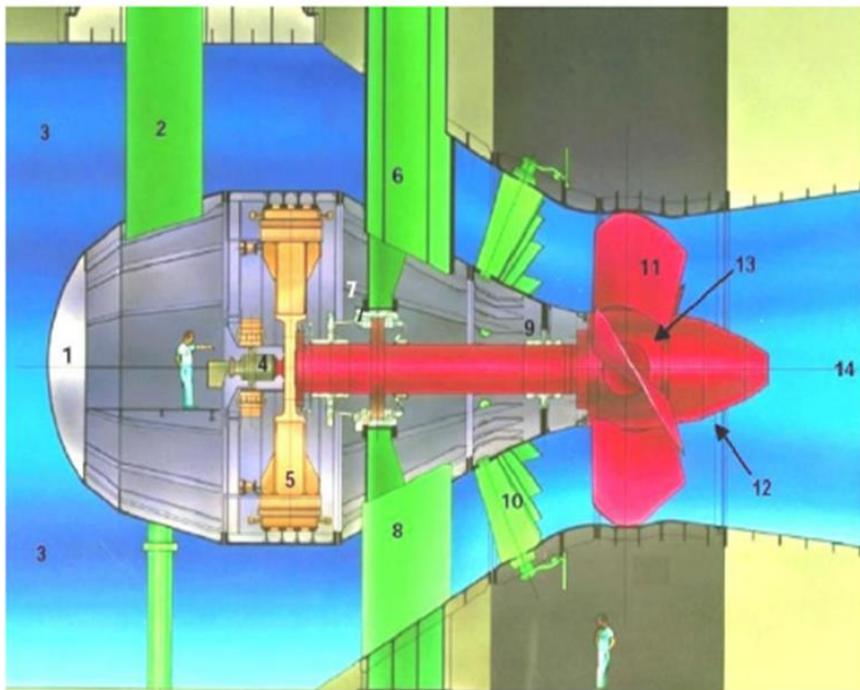
## 7.1. Componentes de las Turbina de Bulbo

El distribuidor es un componente esencial de la turbina bulbo que dirige y controla el flujo de agua hacia el rotor, donde se convierte en trabajo mecánico. Está compuesto por dos anillos, uno externo y otro interno, y álabes guías. La mayoría de las turbinas bulbo tiene los alabes móviles.

El rotor Kaplan es la parte giratoria de la turbina donde tiene lugar la conversión de la energía hidráulica en trabajo mecánico. En muchas turbinas bulbo, las palas del rotor son móviles, siguiendo el diseño característico del rotor Kaplan. Sin embargo, algunas utilizan palas fijas, similares a las de una hélice, aunque esta configuración es menos común debido a su limitación en cuanto a variaciones en el caudal hidráulico y la profundidad del agua.

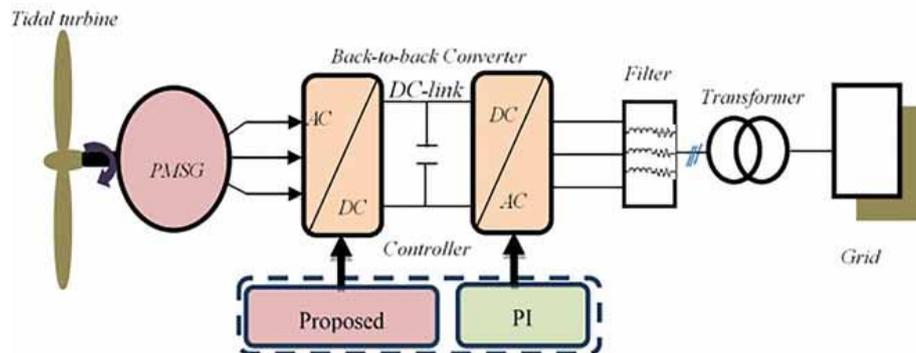
El rotor se divide en tres partes principales: el cubo, la ojiva o cono, y las palas. Las palas del rotor son controladas por servomotores, los cuales pueden estar ubicados dentro de la ojiva, cerca de las palas, o en el centro o extremo del conjunto turbina-generador en máquinas más grandes.

Existen dos sistemas para el control de las palas del distribuidor. En el primer sistema, cada pala tiene su propio servomotor, mientras que, en el segundo, todas las palas se mueven simultáneamente mediante un anillo de conexión, que es accionado por uno, dos o tres servomotores principales. Este sistema de control con anillo, eslabones y palancas es similar al utilizado en las turbinas Francis.



Numero	Componentes	Numero	Componentes
1	Cápsula o bulbo	6	Tubo de acceso a la turbina
2	Tubo de acceso al generador	7 – 9	Rodamiento
3	Cámara de aducción	10	Distribuidor de álabes
4	Sistema de aceite del rotor	11	Palas del rotor
5	Generador síncrono "PMSG"	12	Cono u ojiva
6 - 8	Estructuras de soporte y pre distribuidor	13	Cubo
		14	Tubo de descarga

### 8. Sistema de Control de Energía Mareomotriz con PMSG



1. **PMSG (Generador Síncrono de Imanes Permanentes):** es un generador eléctrico que utiliza imanes permanentes en lugar de bobinas de campo para generar el campo magnético necesario para producir electricidad. La rotación del rotor del PMSG, causada por la turbina mareomotriz, induce corriente eléctrica en las bobinas del estator, generando así electricidad.
2. **Filtro  $dV/dt$ :** se utiliza para suavizar las fluctuaciones rápidas de voltaje en el sistema. Atenúa los cambios repentinos de voltaje que pueden ocurrir debido a variaciones en la carga o en las condiciones de operación del sistema, mejorando así la estabilidad y la calidad de la energía eléctrica producida.
3. **MSC (Controlador de Sistema de Máxima Potencia):** monitorea la velocidad de la turbina y la corriente y voltaje generados por el PMSG. Ajusta la carga del generador para maximizar la potencia extraída de la marea, asegurando que la turbina opere en su punto óptimo de eficiencia mediante algoritmos de control.
4. **GSC (Controlador de Convertidor de Red):** controla la conversión de corriente continua a corriente alterna para conectar la energía generada por el PMSG a la red eléctrica. Regula la tensión y frecuencia de la corriente alterna para que sean

compatibles con los estándares de la red y proporciona funciones de control de potencia activa y reactiva.

5. **Bus de Control (Dc bus):** es un sistema de distribución de energía en forma de corriente continua que conecta todos los componentes del sistema de control. Regula la tensión y corriente en el sistema para garantizar un funcionamiento seguro y confiable, facilitando el intercambio de energía y datos entre los componentes.
6. **Transformador BT/MT (Baja Tensión/Media Tensión):** eleva el voltaje de corriente alterna generada por el PMSG a un nivel adecuado para su conexión a la red eléctrica de media tensión. Permite la transmisión eficiente de la energía eléctrica desde la central mareomotriz hasta los consumidores finales, proporcionando aislamiento galvánico para garantizar la seguridad y estabilidad del sistema eléctrico.

## 9. PID Y SCADA

En el diseño y operación de centrales mareomotrices, la implementación de sistemas de control juega un papel esencial para asegurar su eficiencia y rendimiento óptimo. Dos tecnologías destacadas en este ámbito son el controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo) y el SCADA (Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos). Estos sistemas, con sus capacidades avanzadas de monitoreo, control y análisis, son pilares fundamentales para garantizar una generación de energía mareomotriz eficiente y confiable. Aunque ambos desempeñan roles importantes en la gestión y optimización del proceso de generación de energía, difieren significativamente en su alcance y funcionalidad.

El controlador PID se centra en regular variables específicas del proceso, como la temperatura, la velocidad o la presión. Utiliza un algoritmo que calcula la acción de control necesaria para mantener estas variables cerca de un valor deseado. En esencia, el controlador PID toma decisiones en tiempo real para ajustar la salida del sistema y mantenerlo en un estado deseado.

Por otro lado, el SCADA, o Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos, proporciona una visión general de todo el sistema. Permite a los operadores supervisar y controlar múltiples variables y procesos desde una ubicación centralizada. El SCADA recopila datos en tiempo real de sensores y dispositivos en toda la planta, y proporciona una interfaz gráfica que permite a los operadores monitorear el estado del sistema y tomar decisiones informadas.

## **10. Aspectos Negativos**

Además de las mencionadas anteriormente, las centrales mareomotrices pueden llegar a provocar impactos negativos en los ecosistemas marinos. Al necesitar la construcción de una bahía cerrada, esto puede alterar tanto los ecosistemas naturales como la calidad del agua. De todos modos, como las plantas mareomotrices todavía no son abundantes, estos efectos aún no están lo suficientemente estudiados. También es importante tener en cuenta que la energía mareomotriz está en proceso de desarrollo, lo que ocasiona que su precio aún no sea tan competitivo como el de las que se consiguen mediante otras fuentes de energía renovables. Además, el impacto visual es otra desventaja, ya que, al necesitar construirse cerca de la tierra firme, lugar donde las mareas son más intensas, tienen un gran impacto visual y podrían afectar a los paisajes.

## **11. Aspectos Positivos**

Por otro lado, la energía mareomotriz ofrece diversas ventajas. Es una fuente de energía limpia e inagotable, similar al resto de las energías renovables, ya que no emite ningún gas perjudicial para el medioambiente. Además, las plantas mareomotrices tienen una larga vida útil, algunas llevan construidas más de 50 años y siguen funcionando perfectamente. También es notable que pueden generar electricidad a baja velocidad, ya que lo importante es la masa del agua y no su rapidez de desplazamiento. Finalmente, la energía de las mareas es muy predecible, a diferencia del viento, las corrientes marinas son fácilmente predecibles, lo que resulta sumamente útil a la hora de saber la potencia que tendrá cada planta energética.

## **12. Conclusión**

La energía mareomotriz surge como una fuente esencial de energía renovable, aprovechando el movimiento de las mareas impulsado por las fuerzas gravitacionales del sol y luna. Con tres métodos principales de generación, basados en turbinas para activar generadores eléctricos, esta forma de energía promete diversificar la matriz energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Aunque la ubicación de las centrales es crucial para su eficiencia, su capacidad para contribuir a la reducción de la huella ambiental y la explotación sostenible de los recursos marinos la convierte en una opción atractiva en el panorama energético actual. Por último, la energía mareomotriz representa una oportunidad para avanzar hacia un futuro más limpio y sostenible, aprovechando de manera responsable el potencial del espacio marítimo.

## Bibliografía:

Belkhier, Y., Achour, A., Ullah, N., Shaw, R. N., Farooq, Z., Ullah, A., y Alzaed, A. N. (2021). Intelligent Energy-Based Modified Super Twisting Algorithm and Fractional Order PID Control for Performance Improvement of PMSG Dedicated to Tidal Power System. *IEEE Xplore*, (9), 2169-3536. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3072332

Centrales Mareomotrices. (s.f.). Recuperado de [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/18454654\\_Centrales\\_Mareomotrices.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/18454654_Centrales_Mareomotrices.pdf)

Cepeda Carabajal, A. F., Gaviria Prieto, D. F., y Vanegas Ávila, A. S. (s.f.). *Generación de Energía Mareomotriz* [archivo PDF]. Recuperado de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/593112634-ENERGIA-MAREOMOTRIZ-pptx.pdf>

García Ortiz, N. G. (2011). *Diseño y construcción de un prototipo de una central mareomotriz* [Tesis de pregrado]. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, México.

Ghefiri, K., Rusu. E., Garrido, A. J., Bouallègue, S., Haggège, J. y Garrido, I. (2018). Fuzzy Supervision Based-Pitch Angle Control of a Tidal Stream Generator for a Disturbed Tidal Input. *MDPI Energies*, 11(11), 2989; <https://doi.org/10.3390/en11112989>

Padillo, D. R. (s.f.). *Diseño de un generador síncrono con imanes permanentes y rotor exterior de tracción directa para mini turbinas eólicas* [archivo PDF]. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/23236/Resum.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

¿Qué es la energía mareomotriz? (s.f.). Recuperado de <https://intelligencesurvival.org/energia-mareomotriz/>

Silva Ferreira dos Santos, A. (2022). *Generación Hidroeléctrica con Turbinas Bulbo* [Tesis]. Universidad UNIME, Salvador, Brasil.

[Turbinas]. (s. f.). V-. Turbinas Kaplan y Bulbo (87-114). Recuperado de [file:///C:/Users/Usuario/Desktop/Presa/Turbinas%20Kaplan%20y%20Bulbo%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Desktop/Presa/Turbinas%20Kaplan%20y%20Bulbo%20(1).pdf)

Universidad de Oviedo. (2006). *Turbinas Hidráulicas* [archivo PDF]. Recuperado de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/turbinas0-120814003841-phpapp01.pdf>

Universidad Tecnológica de Chile, Instituto Profesional Centro de Formación Técnica. (s.f.). *Central Mareomotriz, redes eléctricas y subestaciones* [archivo PDF]. Recuperado de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/467668775-energia-mareomotriz.pdf>