



Universidad de Cantabria
Escuela Politécnica de Minas y Energías



TRABAJO DE FIN DE GRADO

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Titulación: Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos.

Fecha: 17/09/2018.

Autor: Cristian García López.

Tutor: Pablo B. Castro Alonso.

Coordinador: Raúl Husillos Rodríguez.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Agradecimientos

Hay varias personas a las que me gustaría agradecer la consecución de este trabajo, y la obtención de este Grado en Ingeniería de los Recursos energéticos.

En primer lugar me gustaría agradecer a mis padres, ya que si no fuera por ellos no habrían podido cursarlo, dándome tanto su apoyo moral como económico.

En segundo lugar, me gustaría agradecer a mis amigos dentro de la universidad que también me han ayudado con sus ánimos, apoyos incondicionales, explicaciones etc. Son grandes amistades ya que pasas mucho tiempo con ellos en la universidad y espero que estas amistades duren toda la vida.

También me gustaría agradecer a toda la escuela y su profesorado, ya que de cada profesor aprendes algo nuevo que aplicar tanto dentro como fuera de las aulas. En especial me gustaría agradecer a Pablo B. Castro Alonso, por acceder a ser mi tutor en este proyecto, y su ayuda para lograr su consecución.

Este trabajo tiene un poco de cada persona con quien he compartido mis días en la universidad, que sin ellos no habría sido posible llevarle a cabo. A todos ellos muchas gracias.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

1. Introducción	4
2-Objetivo.....	10
3-Alcance	11
4-Estado del arte	12
4.1 Introducción	12
4.2 Energía Oceánica.....	13
4.2.1 Energía mareomotriz.....	19
4.2.1.1 Métodos de generación	23
4.2.1.2 Posibles ubicaciones mundiales	27
4.2.1.3 Proyectos más representativos.....	29
4.2.1.4 Ventajas y desventajas de la energía mareomotriz.	40
4.2.1.5 Análisis científico	42
4.2.1.6 Conclusión	46
5. Metodología de investigación	47
5.1 Introducción	47
5.2 Diagrama de flujo	48
5.3 Búsqueda de una localización	50
5.3.1 Parámetros principales de selección.....	51
5.3.1.1 Amplitud de marea.....	51
5.3.1.2 Corriente de marea	55
5.3.2 Área de estudio	57
5.3.2.1 Ubicación 1: Marismas de Santoña	61
5.3.2.2 Ubicación 2: Ría de Tina Menor	64
5.3.2.3 Ubicación 3: Ría de Suances	67
5.3.2.4 Ubicación 4: Bahía de Santander	70
5.3.2.5 Ubicación 5: Ría de Mogro	73
5.3.2.6 Conclusión	76
5.3.3 Descripción y análisis ubicaciones seleccionadas	77
5.3.3.1 Ría de Suances.....	78
5.3.3.1.1 Introducción	78
5.3.3.1.2 Batimetría.....	80
5.3.3.1.3 Caudal medio anual.....	81
5.3.3.1.4 Espacio disponible.....	82

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

5.3.3.1.5 Tráfico marítimo	83
5.3.3.1.6 Impacto ambiental	84
5.3.3.1.7 Velocidades de la corriente	85
5.3.3.2 Bahía de Santander	87
5.3.3.2.1 Introducción	87
5.3.3.2.2 Batimetría.....	89
5.3.3.2.3 Caudal medio anual.....	90
5.3.3.2.4 Espacio disponible	91
5.3.3.2.5 Tráfico marítimo	92
5.3.3.2.6 Impacto ambiental	93
5.3.3.2.7 Velocidades de la corriente.....	94
5.3.4 Situación óptima instalaciones.....	95
5.3.4.1 Presa de marea.....	96
5.3.4.1.1 Ría de Suances.....	96
5.3.4.1.2 Bahía de Santander	98
5.3.4.2 Generadores de corriente de marea.....	100
5.3.4.2.1 Ría de Suances.....	100
5.3.4.2.2 Bahía de Santander	102
5.3.4.3 Conclusión	104
6. Dimensionamiento elección escogida.....	105
6.1 Introducción	105
6.2 Volumen de agua embalsada	107
6.3 Modos de operación	110
6.3.1 Elección modo de operación.....	116
6.4 Elección de la turbina	117
6.5 Dimensiones de la presa	120
6.6 Energía generada	122
6.7 Viabilidad económica	124
7. Conclusión final	127
8- Bibliografía	130

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

1. Introducción

En los últimos años, con el creciente aumento de la población y de la industrialización, tenemos cada vez un mayor consumo energético mundial, producido principalmente por el crecimiento de Asia, y en especial de China como podemos observar en la ilustración 1.

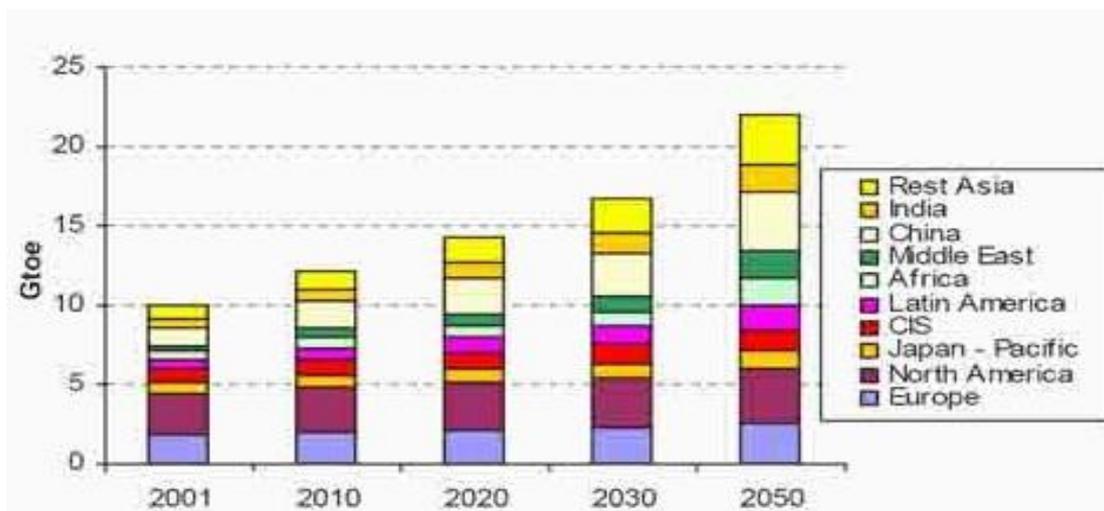


Ilustración 1. Consumo de energía primaria mundial 2001-2050 por regiones. Fuente: Google imágenes.

En la actualidad casi toda esa demanda energética primaria proviene de los combustibles fósiles, prácticamente un 86% como podemos observar en la ilustración 2, esto supone un problema en un futuro no muy lejano debido principalmente a dos factores:

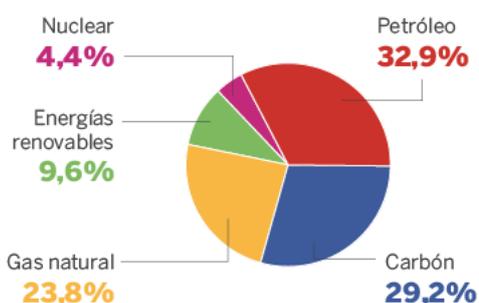


Ilustración 2. Consumo de energía primaria mundial año 2015 por combustible. Fuente: Google imágenes.

- El primero de los factores tiene que ver con que estos combustibles fósiles tienen fecha límite para el agotamiento de sus reservas, se estima que con el actual ritmo de consumo en el caso del petróleo (principal sustento energético mundial ilustración 2) sus reservas podrían acabarse entorno a unos 30 años, en el caso del carbón se estima sus reservas se acabarían en 300 años, y en el caso del gas natural se estima que durara unos 60 años.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

- El segundo de los factores es que los combustibles fósiles provocan una gran contaminación al ser consumidos para la obtención de energía, ya que emiten CO₂ principalmente, así como SO₂ y NO_x, causando entre otros efectos, el llamado “efecto invernadero”.

En el caso de la energía nuclear (se da principalmente en países industrializados por su alto coste, de ahí su bajo porcentaje en la ilustración 2) no tiene los inconvenientes de los combustibles fósiles, ya que no contamina y el combustible que utiliza en sus centrales (el uranio) es limitado, aunque no del orden de los combustibles fósiles, incluso podría llegar a ser inagotable por la incorporación de reactores avanzados y nuevos ciclos de combustible. Pero tiene otros inconvenientes como son la peligrosidad, ya que, en el método de obtención de energía, llamado fusión nuclear es muy peligroso y puede producirse un accidente nuclear, así como los residuos altamente radiactivos generados (durando esta radiactividad miles de años) y que no tienen en la actualidad posibilidad de ser reciclados, reutilizados o destruidos, por el momento son almacenados en los llamados “cementeros nucleares” hasta que se sepa qué hacer con ellos en un futuro.

Por todos estos inconvenientes y problemas citados anteriormente se busca nuevas fuentes de energía limpia y renovable, es decir, que no contaminen y que sean inagotables (ya que estas energías nos las brinda la propia naturaleza cada día), entonces se comenzó a producir energía con las llamadas “energías renovables”.

Esta nueva forma de obtención de energía está aumentando cada año en todo el mundo como vemos en la ilustración 3, esto se debe a varios factores:

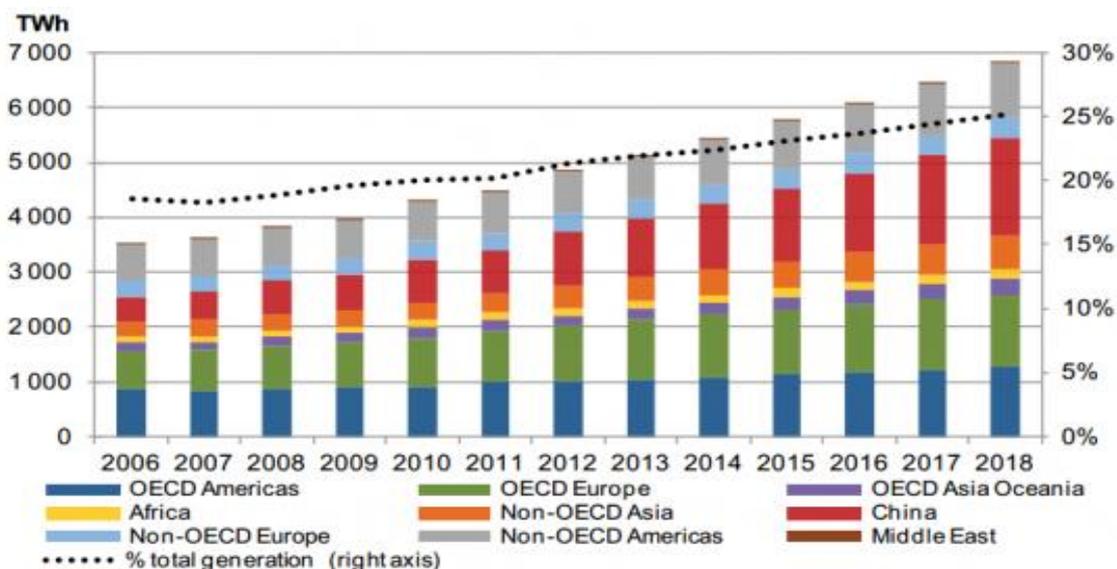


Ilustración 3. Producción energía renovable 2006-2018 por regiones. Fuente: Google imágenes.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

- Con las energías renovables se pretendía satisfacer la creciente demanda energética sin la necesidad de aumentar el consumo de combustibles fósiles y al mismo tiempo sustituir a estos paulatinamente, además de mejorar el bienestar social y económico mundial ya que cada país sería capaz de autoabastecerse sin necesidad de depender del exterior, abaratando la producción de energía eléctrica.
- Otro de los beneficios de estas energías es que no emiten gases contaminantes, ya que es una energía que nos la proporciona nuestra propia naturaleza (sol, océanos, mares, viento...) con lo cual no dañaríamos el planeta, esto es vital para todos los seres vivos que lo habitamos.

Por este motivo los distintos países del mundo están firmando tratados y convenios para implementar cada vez más esta forma de energía en sus sistemas de generación, como sería el Acuerdo de París, un acuerdo dentro del marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que establece medidas para la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, su aplicabilidad sería para el año 2020, cuando finaliza la vigencia del Protocolo de Kioto, que sería el actual tratado para luchar contra el cambio climático mundial.

En el caso más concreto de Europa, es una de las zonas que más apuesta por las energías renovables, principalmente porque prácticamente no dispone de combustibles fósiles, el Consejo Europeo en marzo de 2007 en Bruselas aprobó un plan energético obligatorio, se establecieron las siguientes metas para todos los países con la fecha límite de 2020 :

- Reducción del 20% de las **emisiones de gases de efecto invernadero** (en relación con los niveles de 1990).
- Aumento hasta el 20% de las **energías renovables** en la UE.
- Mejora del 20% de la **eficiencia energética**.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

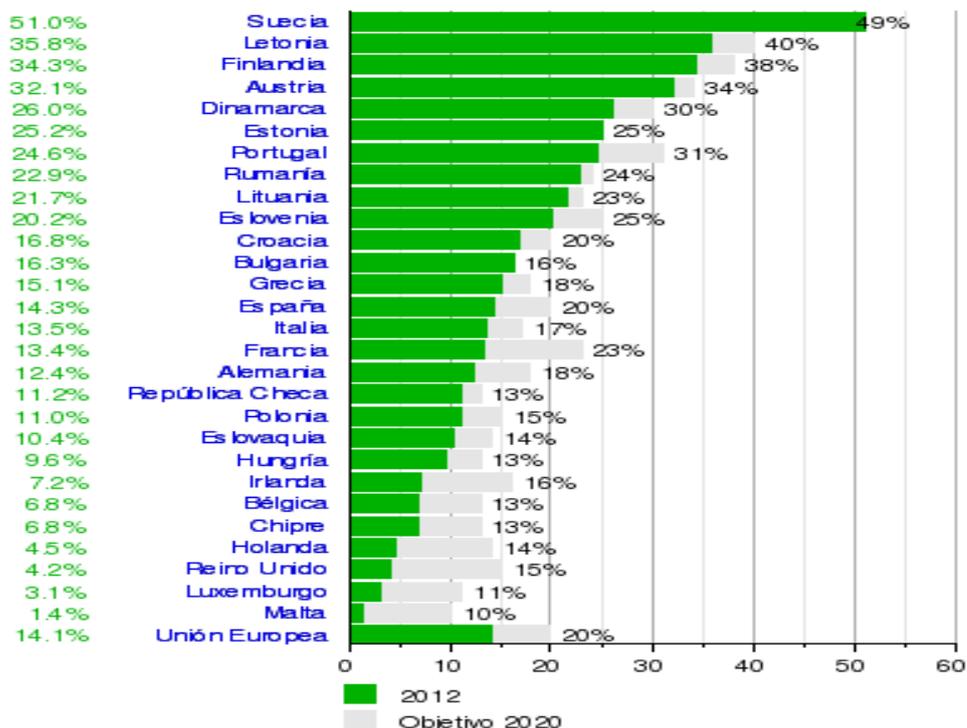


Ilustración 4. Cuota de energías renovables consumida en 2012 y objetivo para 2020. Fuente: Wikipedia.

Estos objetivos para 2020 son una media para la UE, sin embargo, como vemos en la ilustración 4, estos objetivos no son iguales para todos los países, ya que hay países que tienen muy implementadas las energías renovables (Suecia 49%) y otros que apenas han invertido en esta forma de energía (Malta 1,4%).

Estas metas a la postre se vieron que eran demasiado ambiciosas, ya que la mayoría de países no las cumplirá. Uno de los motivos por los que no se alcanzarán estas cuotas acordadas, es la dura crisis económica que azota Europa desde 2008 hasta prácticamente hoy en día, este periodo de crisis redujo la inversión en las energías renovables que quedaron estancadas durante unos años.

En cuanto a España tenemos un gran problema y es que no tenemos reservas de ningún combustible fósil, por lo tanto, dependemos del exterior para producir energía, por este motivo principalmente y los citados anteriormente España es un país que tiene la necesidad de apostar e implementar las energías renovables en su sistema eléctrico, y así ser capaz de autoabastecerse en la medida de lo posible.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

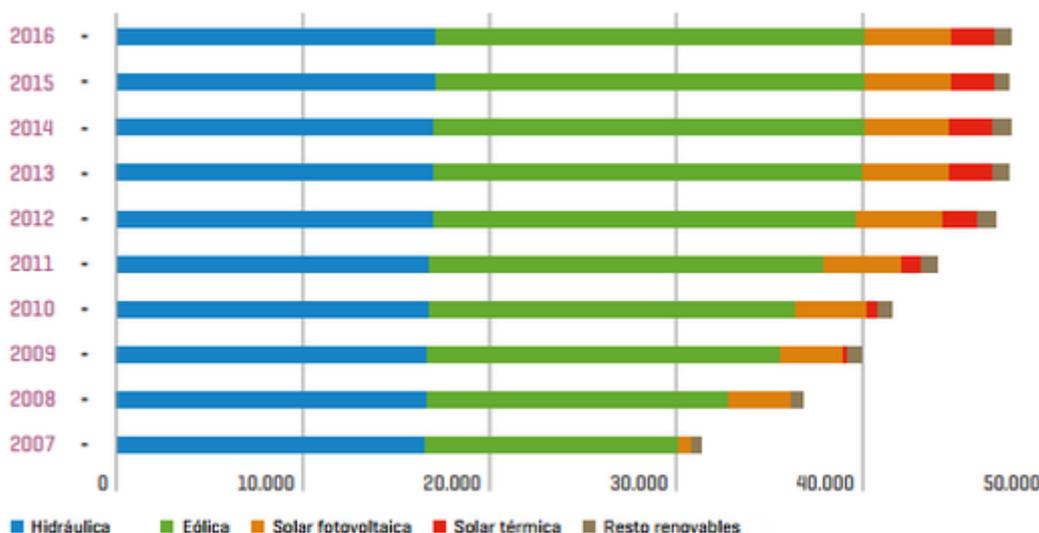


Ilustración 5. Potencia instalada renovable 2007-2016 en España (MW). Fuente: Google imágenes.

España siempre ha sido un país puntero en cuanto a energías renovables, especialmente en eólica, hidráulica y solar, logrando grandes avances y convirtiéndose en uno de los países que más potencia en energías renovables tenía instalada, aunque desde 2012 apenas se ha instalado energías renovables en nuestro país quedándonos un poco estancados en este tema, como podemos ver en la ilustración 5.

La mayor potencia instalada en energías renovables en nuestro país siempre ha sido la hidráulica, ya que es la que más tiempo lleva produciendo energía y por lo tanto la más consolidada y desarrollada. Sin embargo, desde 2008 y con los rápidos avances que se llevaron a cabo en materia de energías renovables, aumentaron mucho la energía solar fotovoltaica y la energía eólica, desbanco esta última en nuestro país a la hidráulica convirtiéndose en la principal energía de generación dentro de las renovables, aumentando todos los años desde 2008 hasta 2012 quedando después estancada, como observamos en la ilustración 5.

Las energías renovables también tienen sus desventajas, la más importante es la producción de energía interrumpida, es decir, que no producen energía de forma continua ya que dependen de componentes externos, por ejemplo, la energía hidráulica depende del caudal de los ríos y de los pantanos, la energía eólica de la fuerza y la cantidad de viento, y la energía solar de las horas de sol al día. Esto lo vemos reflejado en la energía que producimos directamente de las energías renovables, ya que no es lo mismo energía instalada que producida o consumida.

Por este motivo cada vez se está investigando y avanzando más para encontrar nuevas formas de obtención de energía renovable que puedan ser mejores que las citadas anteriormente, como pueden ser la solar térmica, la energía proveniente de los océanos y mares, la que obtenemos del interior de la tierra o geotérmica o la que podemos obtener del hidrógeno y otros gases etc.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

España está intentando aprovechar sus amplias costas para la obtención de energía oceánica. Estas costas tienen la capacidad de producir una cantidad de energía anual equivalente a 5 centrales nucleares, 5 GW de potencia, ya que sus costas tienen puntos en donde las corrientes y las diferencias de marea son perfectas un dispositivo que aproveche nuestras costas.

En la actualidad solo una planta en España de energía oceánica, se trata de una planta que aprovecha la energía de las olas (energía undimotriz) por un proceso llamado “columna de agua oscilante” y se ubica en Motrico (Mutrico – Guipúzcoa –País Vasco). Hubo otra en Santoña, pero actualmente no está en funcionamiento.

Uno de los lugares más adecuados para este tipo de tecnologías es el mar Cantábrico, así que propondremos a la Comunidad Autónoma de Cantabria como una posible ubicación de una planta de energía mareomotriz.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

2. Objetivo

Debido a la situación energética actual que afrontamos en España y su problemática desde el punto de vista de la contaminación y la dependencia energética externa, es necesario promover estudios energéticos acordes a las necesidades actuales, que tienen como fin último conseguir un desarrollo sostenible, así como un ahorro energético y económico.

El objetivo del presente estudio es determinar, dentro del rango costero de la Comunidad Autónoma de Cantabria, cuales son las ubicaciones de mayor potencial y validez para la implementación de tecnologías energéticas que aprovechen la energía contenida en las mareas, ya que dentro de España en la actualidad no se ha instalado ningún mecanismo que aproveche esta energía.

Para cada una de las alternativas estudiadas se determinará cuál es la mejor opción, en función de una puntuación basada en varios aspectos que se deben tener en cuenta para desarrollar un proyecto de energía mareomotriz.

Dicho objetivo tiene varias fases diferenciadas:

- Determinación de la localización óptima, mediante el análisis de los parámetros correspondientes y valoración de los estuarios más importantes de la costa de Cantabria, aplicando matrices de valores.
- Dimensionamiento inicial aproximado de los aspectos básicos del diseño de la planta mareomotriz para valorar su eficacia y viabilidad.
- Análisis aspectos técnicos y elección de la turbina para un funcionamiento óptimo.
- Análisis económico del estudio para constatar su viabilidad y una aproximación de los años que pasaran hasta recuperar la inversión inicial (retorno de inversión).
- Conclusión final que tendrá en cuenta todos los aspectos mencionados anteriormente con sus pros y contras.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

3. Alcance

Este estudio tiene como objetivo principal determinar la validez y la selección de la ubicación más adecuada dentro de la zona costera de la comunidad autónoma de Cantabria, para la instalación de diferentes dispositivos accionados por las mareas, para lo cual se analizarán las características básicas de las diferentes rías y estuarios a lo largo de la costa de Cantabria.

Una vez seleccionadas las localizaciones más adecuadas procederemos a barajar los diferentes tipos de tecnología de los que disponemos, eligiendo el más adecuado y viable para cada caso específico. Para ello se analizarán parámetros como amplitud de las mareas, velocidad de la corriente, posibles impactos ambientales sobre la zona, batimetría de la zona, etc. Una vez estudiemos cada una de estas características elegiremos el lugar más óptimo mediante la elaboración de unas matrices de valores, dando pesos a cada una de las características importantes a la hora de instalar un dispositivo de estas características.

A continuación, elegiremos para cada caso el tipo de turbina que sea más adecuado de la amplia y gran variedad de que disponemos, escogiendo a su vez la infraestructura más indicada para el correcto funcionamiento de cada una, además de su correcta disposición y orientación para obtener la máxima eficiencia.

Seguidamente se procederá a estimar de la forma más rigurosa posible con los medios de que disponemos las cifras que pueden ser importantes a la hora de ejecutar el estudio, como pueden ser, tiempo de funcionamiento de las turbinas, superficie a ocupar, caudales de agua, tiempo de ejecución de la obra, etc.

Por último, haremos una estimación del coste del estudio, para comprobar los gastos generales que tendría la colocación de una planta mareomotriz y si económicamente sería viable.

En este estudio, se recogen varios aspectos técnicos a tener en cuenta para poner en marcha diferentes dispositivos para la obtención de energía mareomotriz. Para ello, se ha documentado todo con información de otros estudios y proyectos realizados con anterioridad.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

4. Estado del arte

4.1 Introducción

En los últimos años en el planeta, estamos teniendo un serio problema con la contaminación y la gran dependencia causadas por los combustibles fósiles. Esto nos está llevando a buscar nuevas fuentes de energía alternativas.

Por ello, las energías renovables están experimentando una creciente subida mundial y se están investigando nuevas formas de obtención de energía cada vez más eficientes.

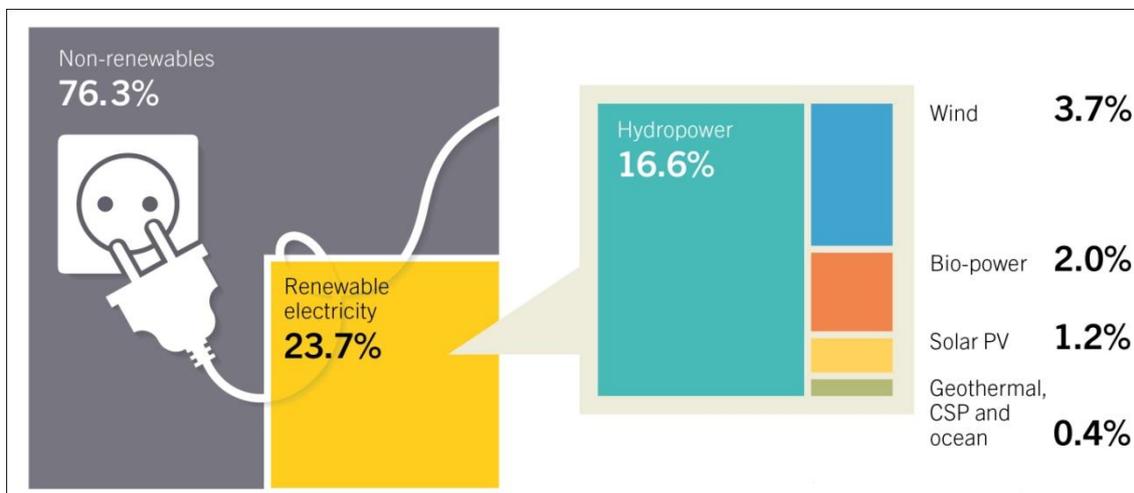


Ilustración 6. Porcentaje de energía renovable en la producción mundial de electricidad 2015. Fuente: Google imágenes.

Como podemos ver en la ilustración 6, dentro de las energías renovables las más explotadas, y con lo cual las más maduras mundialmente son la hidroeléctrica (16,6%) y la eólica (3,7%), sin embargo, tienen el inconveniente de que no producen energía de forma constante ya que dependen de la meteorología, por ello no son tan eficientes como nos gustaría.

Por otro lado, la oceánica, la geotérmica y la termo solar de concentración (0,4% entre las 3) se están comenzando a desarrollar y a implantar en la actualidad, estas energías están teniendo especial desarrollo en Europa, ya que es el continente que más invierte en estas nuevas energías renovables.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

4.2 Energía Oceánica

La energía oceánica, es la energía que obtenemos de nuestros océanos y mares, esta es una fuente de energía renovable, fiable y segura. El sector de la energía oceánica presenta, indudablemente, un potencial enorme que no solo permitirá satisfacer la creciente demanda mundial de energía, sino también mitigar el cambio climático, diversificar nuestra energía y un fortalecimiento de la actividad económica.

En esta energía tenemos una gran reserva de energía permanente, ya que aproximadamente el 70% de la superficie de la tierra está cubierta por agua.

Hay varias maneras de aprovechar esta energía que nos proporcionan los mares y océanos:

- **Energía de las olas o undimotriz.**

Las olas son el resultado de la acción continuada del viento sobre la superficie del mar, el viento interacciona por rozamiento con la superficie libre del agua y crea oleaje aprovechando así la energía generada por estas, su nivel de energía viene dado por la altura y el periodo de la onda.

- **Energía de gradiente salino.**

La diferencia de concentración de sales entre el agua del mar y el agua procedente de los ríos es una potencial fuente de energía en regiones con ríos caudalosos. Una de las ventajas que posee esta tecnología es su carácter no intermitente.

- **Energía térmica oceánica (OTEC).**

Es la energía que se obtiene con el gradiente térmico natural que poseen los océanos, consecuencia de la diferencia de temperatura entre las relativamente cálidas aguas superficiales y las frías aguas de las profundidades.

- **Energía de las mareas o mareomotriz.**

Es la energía proveniente del rango de las mareas. Las mareas son producidas por la combinación de las fuerzas de atracción gravitatorias lunar y solar sobre la masa de agua y el movimiento de rotación de la tierra que conlleva efectos centrífugos.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

- **Energía de las corrientes marinas o corriente de marea.**

Este tipo de energía se basa en el aprovechamiento de la energía cinética de las corrientes marinas. Dichas corrientes son principalmente debidas a las subidas y bajadas de las mareas; aunque, también hay que considerar otros efectos influyentes como los gradientes de temperatura y de salinidad, así como el movimiento de rotación de la tierra.

En comparación con tecnologías más establecidas, la energía del océano está menos desarrollada y necesita superar una amplia gama de desafíos de ingeniería antes de que los costes de estas tecnologías caigan lo suficiente para que puedan disfrutar de una implementación a gran escala.

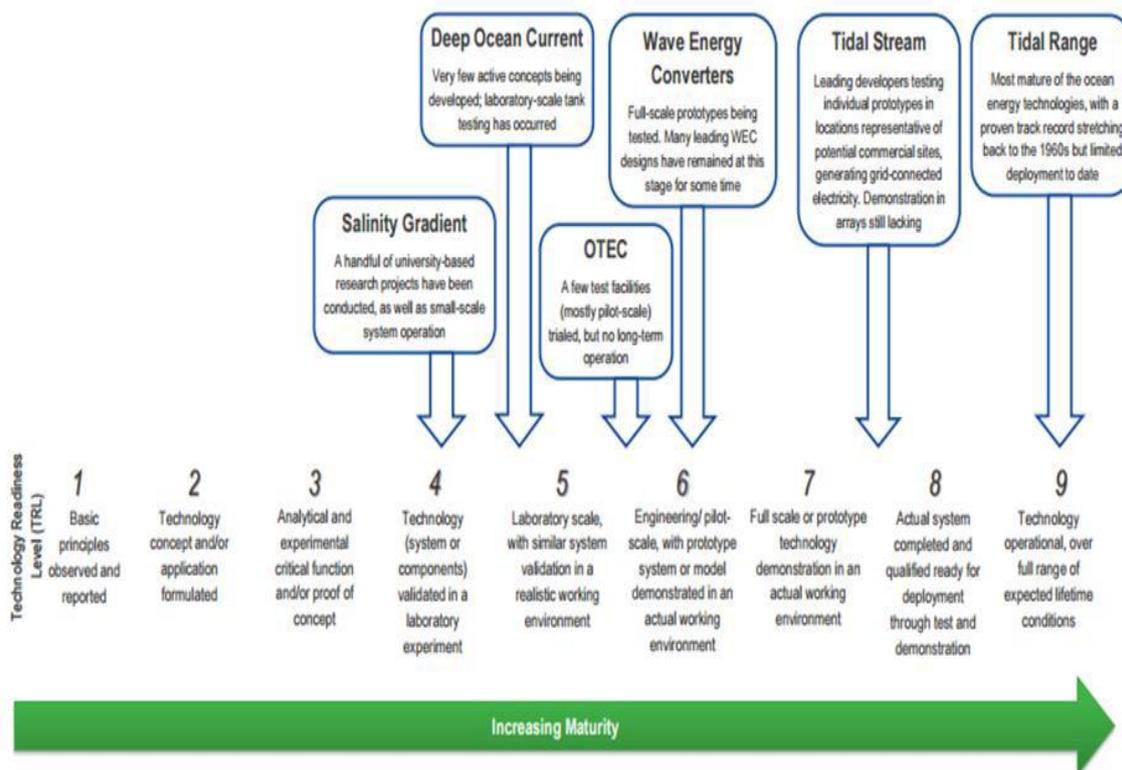


Ilustración 7. Grado de madurez de las distintas tecnologías oceánicas. Fuente: WEResources_Marine_2016

Hasta la fecha solo un puñado de proyectos de energía oceánica, han sido entregados, lo que refleja la inmadurez actual y los altos costos de estas tecnologías, así como también el desafiante entorno de mercado en el que operan.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Como observamos en la ilustración 7, la mayoría de estas tecnologías están en fases de prueba o investigación, salvo la energía proveniente de las mareas o energía mareomotriz que está más madura que el resto, hay varios proyectos realizados hace años como La Rance, ya que por ejemplo la tecnología del gradiente salino o la térmica oceánica (OTEC) han sido descubiertas hace muy poco tiempo, de ahí su bajo estado de desarrollo.

En la siguiente figura observaremos el precio de las diferentes tecnologías a la hora de generar energía (MWh).

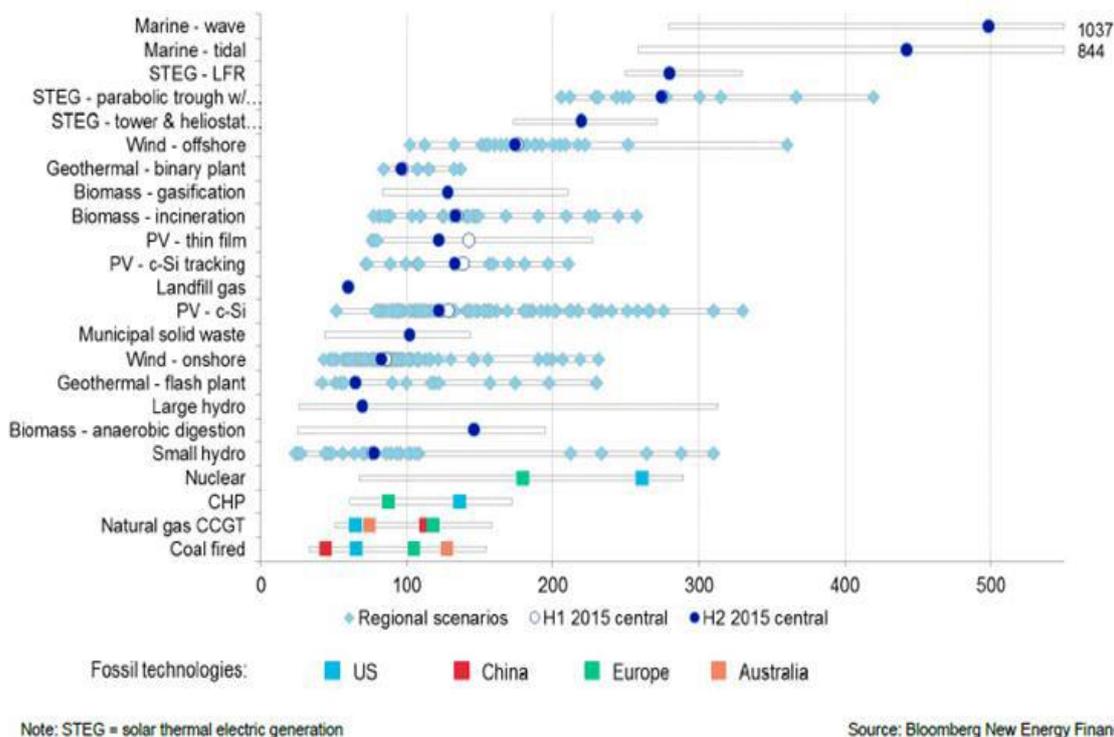


Ilustración 8. Coste de las diferentes tecnologías en la generación de energía (\$ / MWh). Fuente: WEResources_Marine_2016

Como observamos en la ilustración 8, las energías oceánicas se sitúan en lo más alto de la lista de mayor precio, en lo que a generación de energía se refiere, siendo del orden de 3 a 4 veces más caro el MWh que la energía nuclear y hasta 10 veces que el gas natural o el carbón, siendo en la actualidad imposible competir con estas tecnologías.

Este es el principal motivo de la poca implementación de la energía oceánica, ya que tiene unos costes muy elevados para generar energía en comparación con otras formas de generación, según vayan asentándose en el mercado sus precios bajaran y entonces comenzaran a ser más competitivas en el mercado actual, hasta que esto suceda y se invierta más en este tipo de dispositivos, estos tendrán un desarrollo más paulatino.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Actualmente la energía oceánica supone una pequeña parte de la energía renovable instalada, solo representa un 0,02% del total que se distribuye en el mundo de la siguiente manera :

Tabla 1. Potencia energía oceánica instalada y proyectada en América del Norte en 2016. Elaboración Propia (EP).

País	Tecnología	P.Instalada (KW)	P.proyectada (KW)
Canadá	Undimotriz	8	-
	Rango de mareas	20.000	-
	Corrientes de mareas	-	20.650
USA	Undimotriz	-	1..545
	Rango de mareas	-	1.890

Tabla 2. Potencia energía oceánica instalada y proyectada en Europa en 2016. EP.

País	Tecnología	P.Instalada(KW)	P.proyectada(KW)
Suecia	Undimotriz	200	20.000-10.000
	Corrientes de mareas	8	-
Noruega	Undimotriz	200	-
Dinamarca	Undimotriz	-	50
UK	Undimotriz	960	40.000
	Corrientes de mareas	1.100	96.000
Holanda	Corrientes de mareas	1.200	1.600-2.200
	Gradiente salino	50	100.000
Bélgica	Undimotriz	-	20.000
Francia	Rango de mareas	260.000	-
	Corrientes de mareas	2.500	21.610
Italia	Undimotriz	-	100
España	Undimotriz	296	-
Portugal	Undimotriz	600	5.000

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Tabla 3. Potencia energía oceánica instalada y proyectada en Asia en 2016. EP.

País	Tecnología	P.Instalada(KW)	P.proyectada(KW)
China	Undimotriz	450	2.760
	Rango de mareas	6.500	306
	Corrientes de mareas	170	4.900
Corea	Undimotriz	500	500
	Rango de mareas	254.000	254.000
	Corrientes de mareas	5.000	1.000
	OTEC	220	250
Singapur	Undimotriz	16	-
	Rango de mareas	-	50
	Corrientes de mareas	5	-

Tabla 4. Potencia energía oceánica instalada y proyectada en el mundo por tecnologías en 2016. EP.

Tecnología	P.Instalada(KW)	P.proyectada(KW)
Undimotriz	3.230	84.955
Rango de mareas	540.500	256.246
Corrientes de mareas	9.983	146.160
OTEC	220	250
Gradiente salino	50	100.000
Potencia total (MW)	554	588

Como podemos ver en las anteriores tablas, la energía oceánica no está muy distribuida por el planeta, ya que apenas una docena de países tienen potencia instalada y se trata de una potencia casi inapreciable.

Como comentamos anteriormente la energía oceánica está comenzando y todavía no cuenta con demasiada potencia instalada solo 554MW, de ellos 540MW pertenecen al rango de mareas, que es el tipo de energía oceánica más desarrollada e implementada desde hace muchos años como veíamos en la ilustración 7, lo que supone casi un 98% del total de la energía oceánica.

Por regiones observamos que Europa y Asia apuestan fuertemente por estas tecnologías teniendo pendientes varios proyectos, en especial en Europa estos tipos de tecnologías son muy atractivas, ya que cuentan con el Océano Atlántico que cumple muchos de los requisitos que necesita la energía oceánica.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

En cuanto a España observamos que solamente tiene instalado 296KW de energía undimotriz instalada (Mutricio – Guipúzcoa –País Vasco) y ningún proyecto en activo, observando el amplio territorio de costa que posee, se antoja muy escasa una sola planta en funcionamiento.

Por tecnologías observamos como la tendencia futura apunta a la energía undimotriz y la de corrientes de marea, ya que aumentarían considerablemente su potencia instalada en los próximos años (25 y 15 veces respectivamente). En cuanto a la energía del gradiente salino ocurre algo engañoso, habiendo 50KW instalados y 100000KW proyectados (supone un aumento de 2000 veces su potencia instalada), esto se debe exclusivamente a Holanda que parece que, apuesta firmemente por esta tecnología, que se encuentra actualmente en fase de investigación. La térmica oceánica (OTEC) apenas tiene potencia instalada (220KW) perteneciendo exclusivamente a Corea del Sur, siendo también el único proyecto perteneciente a ellos, se trata de un tipo de energía aun en desarrollo, además de que solo tiene viabilidad en las cercanías del ecuador debido a la temperatura del agua.

En total en cuanto a proyectos futuros vemos que se quieren instalar un total de 588MW, más de lo que ya hay instalado actualmente, según estos dispositivos vayan madurando y su precio baje se espera que esta tendencia sea más creciente que la actual. Para el 2050 se estima que la potencia instalada por este tipo de tecnologías llegara hasta los 748GW que generarían 160.000 puestos de trabajo directos, esto supone un crecimiento enorme en apenas 30 años.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

4.2.1 Energía mareomotriz

La energía mareomotriz se aprovecha de las subidas y bajadas de las mareas para la obtención de energía. Las mareas son producidas por la combinación de las fuerzas de atracción gravitatorias lunar y solar, sobre la masa de agua y el movimiento de rotación de la tierra que conlleva efectos centrífugos.

El efecto centrífugo se debe al hecho que la Tierra y la Luna giran una respecto de la otra, aunque debido a que la masa de la Tierra es casi 100 veces mayor que la masa de la Luna, el movimiento de la Luna es más notable. Sin embargo, el eje de rotación relativa entre la Tierra y la Luna no se encuentra en el punto medio de la distancia que existe entre ambos cuerpos, sino que se encuentra más próximo a la Tierra.

La rotación mutua alrededor de este eje produce una fuerza centrífuga, relativamente mayor en los mares situados en el lado de la Tierra más alejado de la Luna, agrupándolos para producir una elevación en el nivel del mar (pleamar). También existe una fuerza centrífuga más pequeña, dirigida hacia la Luna, que actúa en los mares que se encuentran en frente de la Luna. Evidentemente, esta fuerza es más pequeña dado el hecho ya mencionado de que la distancia desde la superficie de la Tierra al eje común de rotación es menor. El efecto gravitacional de atracción de la Luna, produce en los mares de la cara de la Tierra más cercana a la Luna una elevación en el nivel del mar (pleamar), mientras que los mares más alejados de la Luna experimentan una atracción lunar menor que la media, como observamos en la ilustración 9.

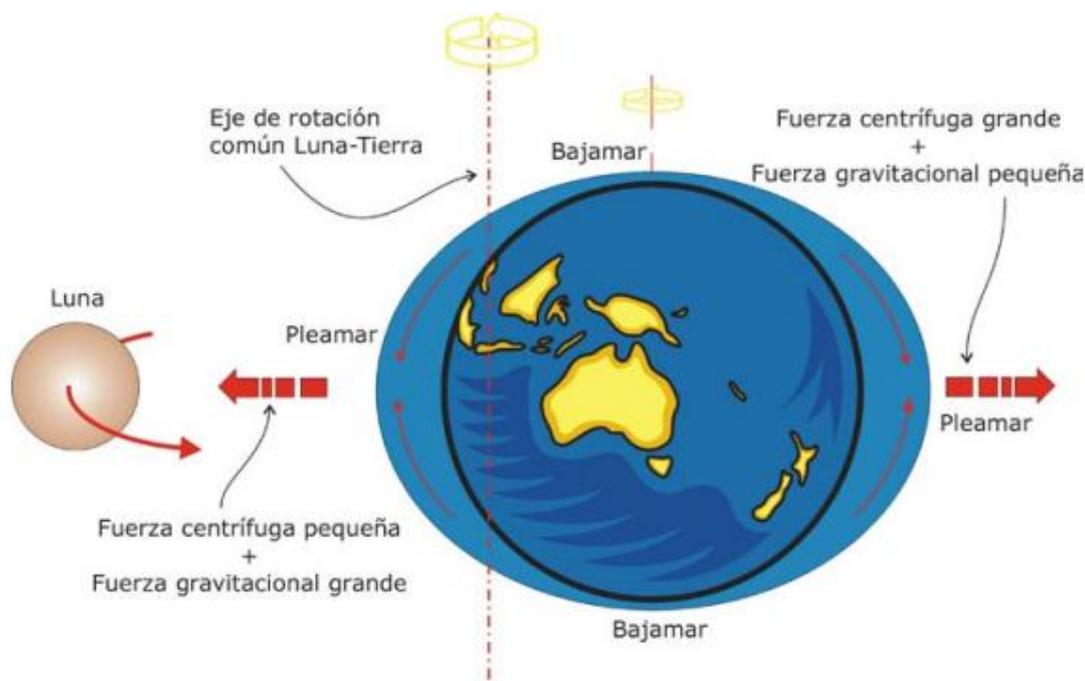


Ilustración 9. Mareas lunares provocadas por las fuerzas centrífugas y gravitacionales. Fuente: Google imágenes.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Por lo tanto, existe una pequeña fuerza centrífuga y una atracción lunar grande que actúan en los mares situados enfrente de la Luna, y una mayor fuerza centrífuga y una menor atracción lunar actuando en los mares situados en la otra cara de la Tierra, esto provoca en ambos lugares, el momento en que el agua del mar alcanza su máxima altura dentro del ciclo de las mareas llamado pleamar, por otro lado en los mares situados en las zonas perpendiculares al eje se producen fases de marea baja o bajamar.

Igualmente, el Sol provoca el ascenso de dos crestas de onda opuestas. Según la ley de la gravitación de Newton (ilustración 10), la fuerza de atracción es proporcional a la masa e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre las masas(r), por tanto, aunque la masa del Sol sea mayor (alrededor de 27 millones de veces la de la Luna), este está unas 400.000 veces más lejos, por lo que su fuerza de atracción gravitatoria es un 46% menor que la de la Luna.

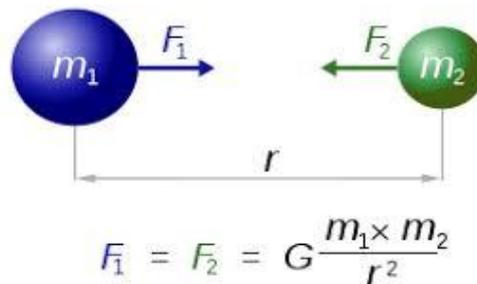


Ilustración 10. Ley de la gravitación de Newton. Fuente: Google imágenes.

El resultado de la suma de las fuerzas ejercidas por la Luna y el Sol es una onda compuesta por la suma de las dos crestas, cuya posición depende de las posiciones relativas del Sol y de la Luna en un instante dado. De este modo, durante las fases de Luna nueva y llena, donde el Sol, la Luna y la Tierra están alineados en el mismo eje, las ondas solares y lunares coinciden creando un estado conocido como mareas de primavera, mareas vivas o mareas de Sicigias, como podemos observar en la ilustración 11 en la parte derecha. En este caso los efectos se suman, provocando pleamares más altas y bajamares más bajas que las mareas promedio, lo que significa que hay una mayor diferencia entre la pleamar y la bajamar o una mayor amplitud de marea.

Por otro lado, cuando la Luna está en el primer o en el tercer cuadrante, el Sol forma un ángulo recto (90°) con respecto a la Tierra que hace que las ondas queden sometidas a fuerzas opuestas, con lo cual la amplitud de las mareas es menor que el promedio. Este estado se conoce como el de mareas muertas o mareas de cuadratura, como podemos observar en la ilustración 11 en la parte izquierda, donde las mareas altas son más bajas y las mareas bajas son más altas de lo normal, lo que significa que hay una menor diferencia entre pleamar y bajamar.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

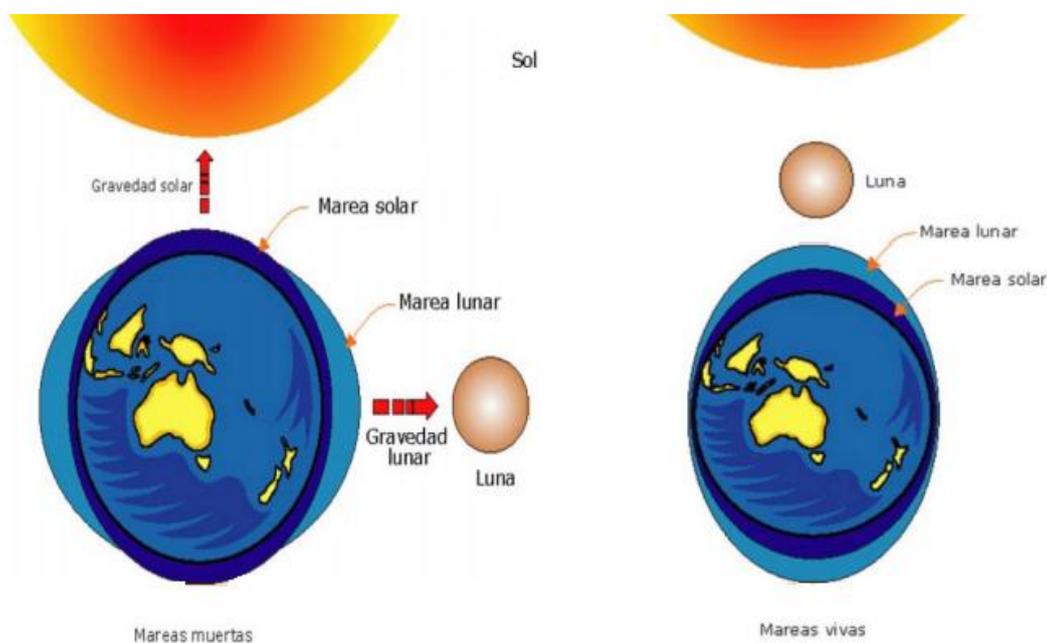


Ilustración 11. Superposición de los efectos gravitacionales lunar y solar. Google imágenes.

Las mareas altas y bajas se alternan en un ciclo continuó. Las variaciones producidas de forma natural entre los niveles de marea alta y baja se conocen como amplitud de la marea.

Si se describen en un día completo las oscilaciones del mar, se observa perfectamente este ciclo, como observamos en la ilustración 12. El nivel del agua sube hasta llegar a un máximo llamado Pleamar (PM) para seguidamente mantenerse estacionario por un breve periodo de tiempo que se denomina Marea Parada. A continuación, comienza a bajar hasta llegar a un mínimo llamado Bajamar (BM), produciéndose entonces otro breve periodo estacionario.

Este ciclo se repite cada día lunar (24 horas, 50 min, 28 seg), en el que tienen lugar dos mareas altas y dos mareas bajas.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

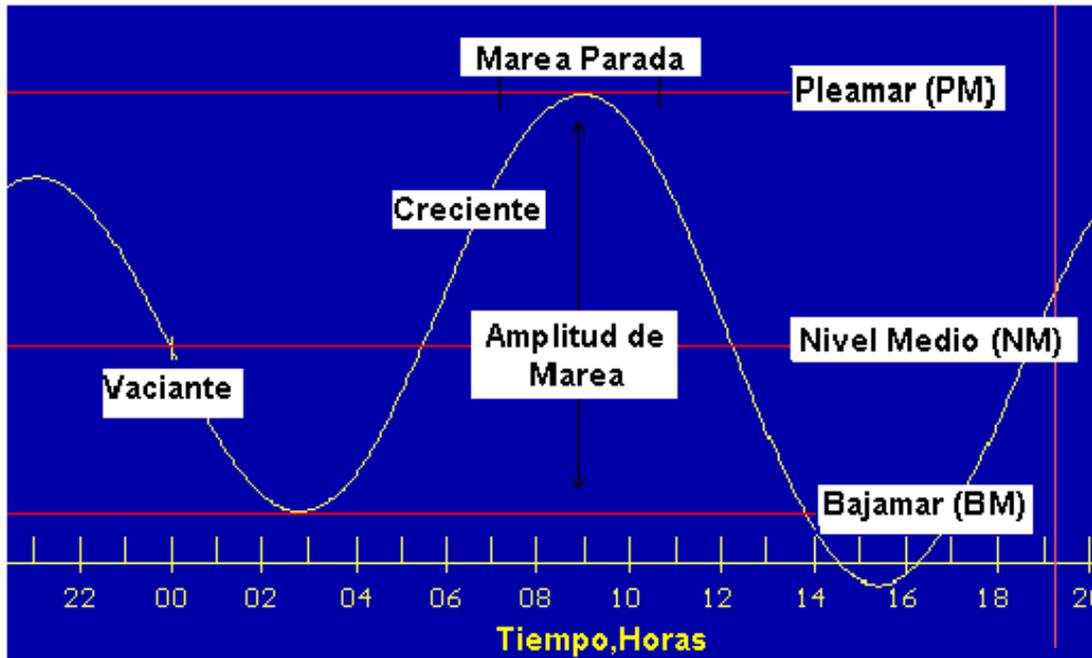


Ilustración 12. Ciclo diario de las mareas en España. Fuente: Dirección general protección civil.

Hay varios tipos de marea según en la en qué lugar del planeta te encuentres y el tipo de viento que predomine en este lugar:

- **Semidiurnas:** durante el transcurso de un día lunar pueden observarse dos pleamares y dos bajamares. El día lunar cuenta con 24 horas y 50 minutos, es decir que cada 6 horas y 13 minutos se produce un aumento en la marea o una baja en la marea, como observamos en la figura 12, son las más comunes.
- **Diurnas:** esta marea es típica de una zona con una latitud baja (zonas cercanas al ecuador). Cuenta con una pleamar y una bajamar en un día lunar, por lo que se aprecia una subida del nivel del mar o una bajada del nivel del mar cada 12 horas y 25 minutos.
- **Diurnas irregulares:** cuenta con dos ciclos a nivel de cambios en las mareas, es decir, con una pleamar y una bajamar, pero estos cambios se producen con diferentes alturas y diferentes periodos de tiempo de unos días a otros.
- **Mareas mixtas:** este tipo de mareas no cuentan con un único rango específico, ya que en un día lunar pueden encontrarse tanto dos bajamares y dos pleamares como una sola subida del nivel del mar y una sola bajada del nivel del mar.

Como vemos en la ilustración 12, España se encuentra en un lugar donde predominan las mareas semidiurnas con dos pleamares y dos bajamares, siendo estas las más ideales para la instalación de un mecanismo accionado por energía mareomotriz, ya que las mareas son más predecibles y más constantes a lo largo del día.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

4.2.1.1 Métodos de generación

Hay dos formas de obtención de energía mediante la acción de las mareas:

- **Energía potencial de las mareas.** Dado que la energía potencial varía con la altura de la columna de agua en las mareas, se pueden emplear equipos de baja presión y/o de movimiento alternativo para mover un generador eléctrico y así convertir la energía potencial en energía eléctrica, en cuyo caso la energía generada dependería de la altura alcanzada por el agua.
- **Energía cinética de las mareas.** Como la energía cinética se genera por el flujo del caudal de agua en el caso de las mareas, se puede aprovechar eficientemente ése flujo de energía transformando el movimiento de desplazamiento (corriente marina) en un movimiento de rotación por medio de turbinas. La turbina convenientemente acoplada a un generador eléctrico produce la energía eléctrica, en cuyo caso la energía generada dependería de la velocidad alcanzada por la corriente de agua.

Mediante estas dos formas de aprovechar la energía contenida en las mareas tenemos varios métodos de captación y generación de la energía de las mareas:

- **Generador de corriente de marea.** Los generadores de corriente de marea (tidal stream generators) hacen uso de la energía cinética del agua en movimiento, accionando así las turbinas y proporcionando energía, de manera similar a las turbinas eólicas, aunque con mucho mayor potencial y eficiencia debido a la diferencia de densidad del agua con el aire. Este método está ganando popularidad debido a costos más bajos y a un menor impacto ecológico en comparación con las presas de marea.

Hay varios tipos de generadores o turbinas de corriente de marea que se clasifican según el alineamiento del rotor respecto al flujo de corriente, son los siguientes:

- Las turbinas de eje horizontal, funcionan de manera similar a las turbinas de viento. La turbina se coloca en el agua y la corriente de marea hace que los rotores giren alrededor del eje horizontal y generen energía.
- Las turbinas de eje vertical funcionan de manera similar a las turbinas de eje horizontal, pero la corriente de marea hace que los rotores giren alrededor del eje vertical y generen energía.
- Los hidrodreslizadores recíprocos tienen un hidropilano unido a un brazo oscilante. El levantamiento causado por la corriente de marea hace que el brazo oscile y genere energía.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

- Los dispositivos con efecto Venturi son dispositivos que canalizan el agua a través de un conducto, aumentando la velocidad del agua. El flujo resultante puede impulsar una turbina directamente o la diferencia de presión inducida en el sistema puede impulsar una turbina de aire.
- La llamada cometa de marea está atada al lecho marino y lleva una turbina debajo del ala. La cometa "vuela" en la corriente de marea, descendiendo en forma de ocho para aumentar la velocidad del agua que fluye a través de la turbina.
- El tornillo de Arquímedes es un dispositivo helicoidal con forma de sacacorchos. El dispositivo extrae energía de la corriente de marea a medida que el agua sube y atraviesa la espiral que hace girar las turbinas.

En la ilustración 13, observamos todos los tipos de generadores de corriente mencionados anteriormente ordenados en las ilustraciones de izquierda a derecha y de arriba abajo.

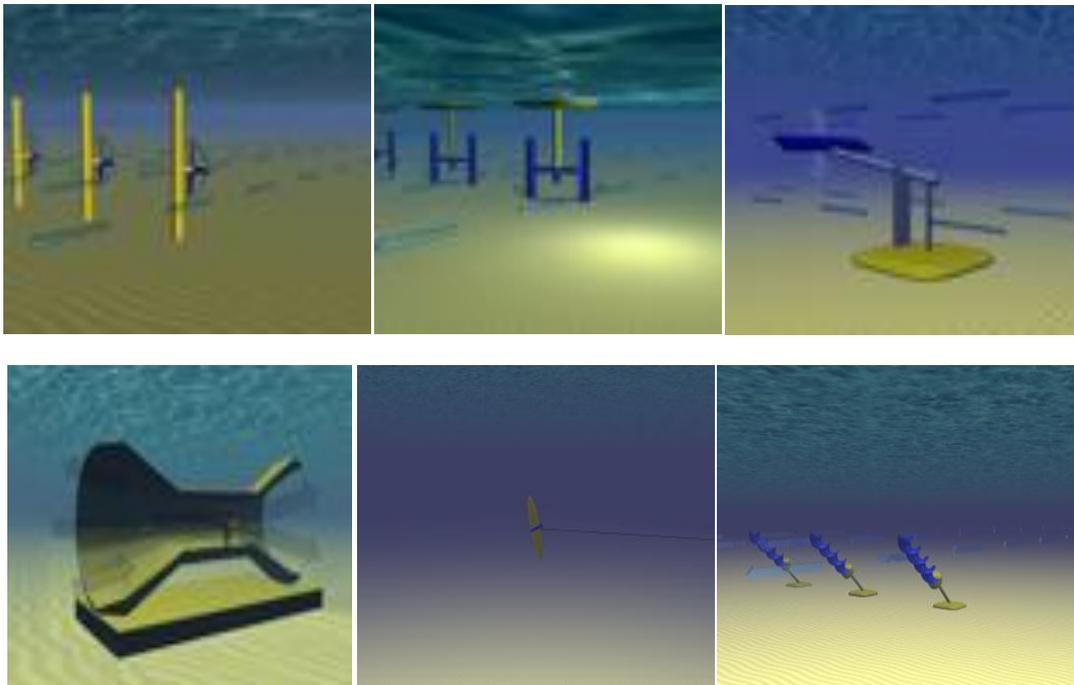


Ilustración 13. Tipos de generadores de corriente de marea existentes en la actualidad. Fuente: aquaret.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

- **Presa de marea:** Las presas de marea (tidal impoundment) hacen uso de la energía potencial que existe en la diferencia de altura entre las mareas altas y bajas, es decir aprovechan la amplitud de las mareas. Las presas son esencialmente diques colocados en todo el ancho de un estuario almacenando el agua y obligando a pasar por las turbinas de la presa (ilustración 14), este tipo de tecnología tiene varios problemas, sufren los altos costes de la infraestructura civil, la escasez mundial de sitios viables y sobre todo las cuestiones ambientales, hacen difícil su instalación.



Ilustración 14. Disposición y funcionamiento de la presa de marea. Fuente: aquaret.

- **En lago de marea:** Son muy similares a las presas de marea, con la diferencia que se pueden construir como estructuras autónomas que no se extienden completamente a través de un estuario (ilustración 15) lo que puede implicar una reducción de costos e impactos globales. Pueden ser configurados para generar continuamente con varias divisiones del embalse. Para este tipo de tecnología se necesitan grandes rangos de marea.



Ilustración 15. Diferentes disposiciones de la tecnología en lago de marea. Fuente: Aquaret

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

- **Energía mareomotriz dinámica:** La energía mareomotriz dinámica es una tecnología de generación teórica que explota la interacción entre la energía cinética y potencial en las corrientes de marea. Se propone que las presas muy largas (por ejemplo: 30 a 50km de longitud) se construyan desde las costas hacia afuera en el mar o el océano, sin encerrar un área. Se introducen por la presa diferencias de fase de mareas, lo que lleva a un diferencial de nivel de agua importante en aguas marinas ribereñas o poco profundas con corrientes de mareas que oscilan paralelas a la costa. Este tipo de tecnología está muy poco explotada y todavía está en desarrollo.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

4.2.1.2 Posibles ubicaciones mundiales

Presa de marea

A continuación, se exponen los emplazamientos mundiales que poseen un rango de marea (diferencia de altura entre los niveles más altos, pleamar, y más bajos, bajamar) adecuado para que la construcción de una central de estas características sea viable, este rango debe ser del orden de unos 3-4 metros o superior, aunque cada caso debe ser estudiado individualmente.

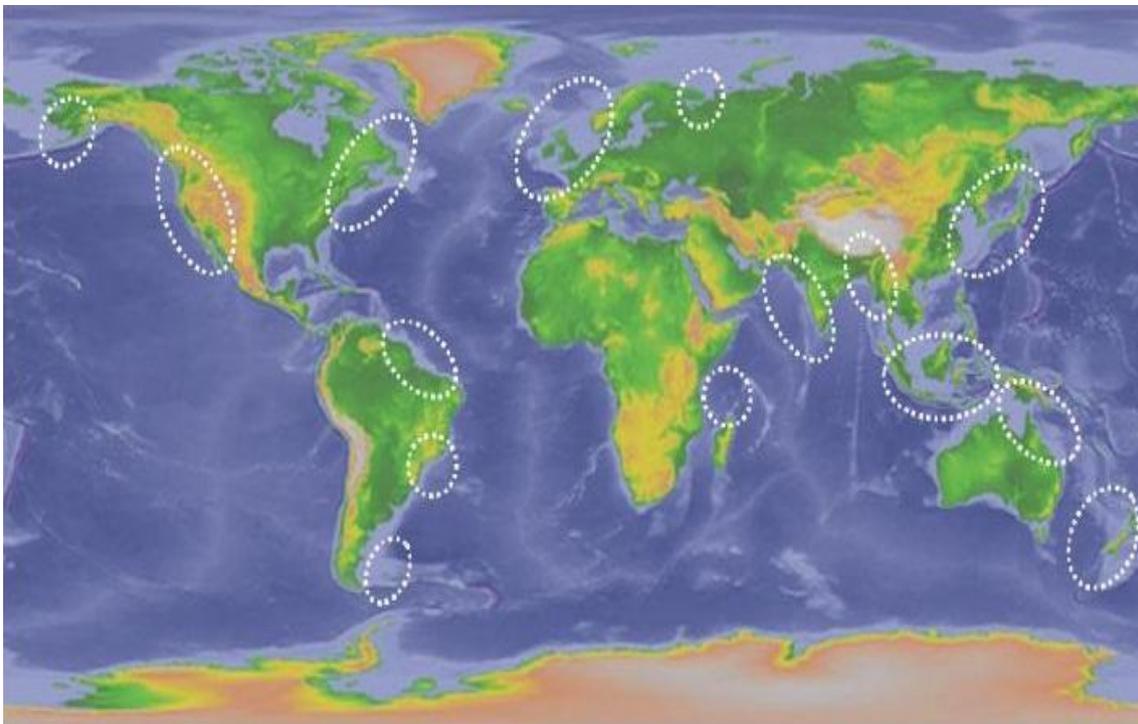


Ilustración 16. Lugares con un rango de marea importante en el mundo. Fuente: Google imágenes.

Como podemos observar en la ilustración 16, hay varios lugares en el mundo con un rango de marea lo suficientemente grande para el aprovechamiento de la energía mareomotriz de presa de marea, entre ellos se sitúa el norte de España, más concretamente Cantabria, que es el lugar donde pretendemos estudiar la viabilidad de este tipo de tecnología.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Corriente de marea

A continuación, se exponen los posibles emplazamientos mundiales que poseen un rango de velocidades de corriente suficiente para que sea viable la instalación de estas tecnologías, este rango se da con velocidades mayores de 1,5 m/s.



Ilustración 17. En rojo, posibles emplazamientos para el aprovechamiento de la energía de corriente de marea.
Fuente: Google imágenes.

Como vemos en la ilustración 17, no hay demasiados lugares en el mundo para el aprovechamiento de este tipo de energía, ya que se tienen que dar varios factores como profundidad adecuada, y sobretodo velocidad de corriente suficiente que es lo más complicado, para que este tipo de tecnología sea viable.

En España como observamos en la ilustración 17, solo sería en principio viable esta tecnología en la zona del estrecho de Gibraltar, debido a sus altas velocidades de corriente producidas por la unión de océano Atlántico y el mar Mediterráneo, aunque podría haber más posibles ubicaciones que habría que estudiar cada caso individualmente.

Hay varios prototipos en desarrollo con una gama más amplia de profundidades y velocidades de corriente, para aprovechar al máximo esta tecnología y que sea posible su instalación en más lugares alrededor del mundo, es una tecnología en pleno auge que todavía no está madura del todo, ya que hay varios proyectos de investigación.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

4.2.1.3 Proyectos más representativos

A continuación, nombraremos los parques o dispositivos en funcionamiento más representativos en el sector de obtención de energía mediante las mareas, así como también los proyectos e investigaciones más importantes que se están llevando a cabo en la actualidad, con el objetivo de entender mejor el funcionamiento de este tipo de obtención de energía.

Esto sucede gracias a las distintas compañías pioneras y al riesgo que estas asumen diseñando y desarrollando todo tipo de dispositivos, con mayor o menor éxito, además de a sus exhaustivas búsquedas de localizaciones por todo el mundo donde el recurso marino es aprovechable.

Presa de marea

En cuanto a las centrales mareomotrices convencionales tenemos las llamadas presas de marea, que como comentamos anteriormente son las más asentadas dentro de la energía mareomotriz. Hay varias centrales construidas hace muchos años y varias en construcción o proyectadas en la actualidad (tabla 5). Muchas de ellas llevan estudiadas hace varios años, pero no se han llevado a cabo, por el alto impacto ambiental que tienen este tipo de centrales y están a la espera de estudios ambientales más exhaustivos para comprobar si el grado de impacto que provocarían es asumible o no, o incluso intentar que este impacto sea el menor posible.

Tabla 5. Instalaciones y proyectos de presa de marea, 2016. Fuente: Energía corrientes marinas.

En operación	Capacidad (MW)	País	Año
La Rance (Francia)	240	Francia	1966
Kislaya Guba	0.4	Rusia	1968
Jiangxia	3	China	1980
Annapolis	20	Canadá	1985
Uldolmok	1	Corea del Sur	2009
Lago Sihwa	255	Corea del Sur	2011
En construcción			
Incheon	1,320	Corea del Sur	2015
Proyectadas			
Bahía de Garorim	480	Corea del Sur	---
Bahía de Fundy	5,300	Canadá	---
Presa Severn	8,600	Reino Unido	---
Mersey	700	Reino Unido	---

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Central de La Rance

Situada en el estuario del río Rance, en Bretaña (Francia). Funciona desde el año 1966 (siendo la primera central mareomotriz construida a gran escala) y produce electricidad para cubrir las necesidades de 225.000 habitantes. La central en sí tiene 390 m de largo y 33 de ancho. Está constituida de 24 turbinas de tipo "bulbo" con generadores de 10 MW cada una (con un total de 240 MW de potencia instalada), por las que pasa un caudal total de 6600 m³/s. Dispone de un embalse de 22 km² que alberga 184 millones de m³ de agua regulada por seis compuertas de 10 m de alto por 15 de ancho, la amplitud de la marea en esta zona puede llegar a los 13,5 metros, la planta también dispone de una esclusa que mantiene la comunicación con el mar, asegurando la navegación en su interior.

La planta mareomotriz es una central hidroeléctrica reversible, que aprovecha tanto la marea alta como la marea baja ya que sus turbinas funcionan en ambos sentidos, en la fase de llenado y de vaciado del embalse, aumentando así su rendimiento. Las turbinas permiten también bombear agua: en marea baja, la planta funciona al revés y bombea agua desde el mar para elevar todavía más el nivel de agua del embalse. El bombeo permite aumentar la producción porque aumenta la altura de la caída de las aguas y disminuye el período de tiempo entre la pleamar y la bajamar.

El impacto ambiental fue bastante grave, ya que se produjo un aterramiento del río, cambios de salinidad en el estuario y en sus proximidades, cambio del ecosistema antes y después de las instalaciones, etc.

Esta central mareomotriz fue la pionera en su elaboración, ya que empezó a funcionar en 1966 y hasta entonces no había nada parecido en proyección, después de su construcción sirvió de base para futuros proyectos hasta nuestros días, en la ilustración 18 podemos ver su distribución.

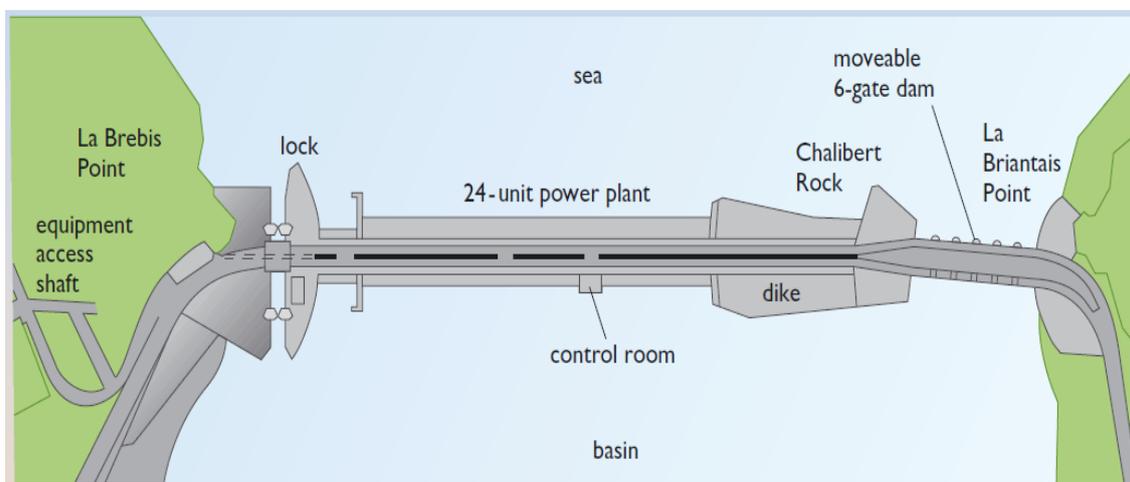


Ilustración 18. Disposición de la central mareomotriz de La Rance(Francia). Fuente: Google imágenes.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Central de Sihwa

Situada en el lago Sihwa en Corea del Sur. Fue puesta en funcionamiento en el año 2011 convirtiéndose en la mayor central mareomotriz del mundo, desbancado así a la central de La Rance 240MW (que llevaba desde 1966 ocupando la primera posición), teniendo una capacidad instalada de 254MW.

La central se ha instalado en el borde de un lago artificial frente al mar cercano a Seúl, y ocupa una superficie de 140.000 m². Diez turbinas de 25,4 MW y ocho compuertas operan en la parte inferior de esta estación de 15 pisos de altura, cuya construcción se inició en 2004 y ha supuesto un desembolso de 335 millones de dólares.

Central Annapolis Royal

La planta de energía mareomotriz Annapolis Royal ubicada en la Cuenca de Annapolis, en la Bahía de Fundy en Canadá, cuenta con una capacidad instalada de 20 MW posicionándose como la tercera planta de energía mareomotriz más grande del mundo actualmente en servicio, generando 50 GWh de electricidad al año cubriendo las necesidades de energía de unos 4.000 hogares.

La planta, operada por Nova Scotia Power, entró en funcionamiento en 1984, después de cuatro años de construcción. La central consta de turbinas de cuatro palas y compuertas de esclusa, las cuales permanecen cerradas con las mareas entrantes para crear un estanque en la parte baja del río Annapolis. Cuando las compuertas se abren el agua se desplaza hacia el mar impulsando la turbina para generar energía, siempre que la diferencia de altura se sitúe en 1,6 m o más entre el estanque y el mar con la bajada de la marea.

Central de Kislaya

Ubicada en el mar de Barentz, Rusia; empezó a funcionar como planta piloto en 1968 (fue la segunda en entrar en funcionamiento después de La Rance), dispone de 1 turbina bulbo de 0,4 MW. Fue concebida como banco de ensayos para la instalación mareomotriz de Penzhinsk, proyecto que en la actualidad ha sido olvidado.

La marea es semidiurna (dos pleamares y dos bajamares diarias), con una velocidad de 3,6 m/s. Amplitud media de 2,4 m, en el intervalo de 1,1 m y 4 m. El embalse de 1,1 km², tiene dos depresiones de una profundidad de 36 m separadas una de otra por una zona de 3 m de profundidad.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Las centrales anteriores son las mayores que hay actualmente en funcionamiento en el mundo. A continuación, explicaremos los proyectos más importantes que actualmente se están desarrollando.

Proyecto del Estuario Severn

La construcción de una barrera a través del Estuario Severn (Reino Unido) es un proyecto que se ha estado estudiando desde el año 1977. La propuesta es construir una central mareomotriz a través del canal de Bristol (figura 20), una barrera que atravesaría al estuario desde la costa de Inglaterra hasta la costa de Gales. Debido a su alta estimación de energía generada la barrera de Severn costaría aproximadamente 20 billones de libras (33,95 billones de dólares) e involucraría la construcción de una represa de 16 kilómetros de largo. La barrera actuaría a la vez como un puente entre Inglaterra y Gales, y tendría una vida operativa de 200 años. Este proyecto se convertiría en el más grande de energías renovables del mundo.

Esta gigantesca planta mareomotriz lleva mucho tiempo proyectada, de hecho, se tienen proyectos de 1989, que no se llevaron a cabo debido a la gran inversión inicial y al gran impacto ambiental provocado en la zona.

La central funcionaría con un total de 214 turbinas, ilustración 19, de 40 MW, con un total de 8560 MW de capacidad instalada, generando la misma cantidad de electricidad que tres de las últimas centrales nucleares construidas 8.6 GW. El embalse ocuparía una extensión de 480 km², esto sería suficiente para proporcionar el 5-6% de la electricidad de Inglaterra y Gales equivalente a 8 grandes centrales eléctricas de carbón.

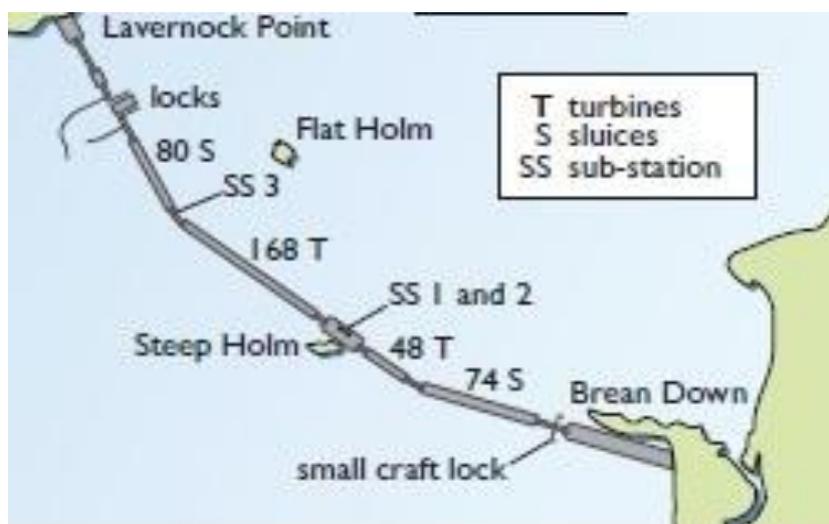


Ilustración 19. Proyecto sobre el estuario Severn de 1989. Fuente: Energía mareomotriz

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Proyecto de la bahía de Fundy

El gobierno canadiense ha estudiado una serie de posibles localizaciones en la bahía de Fundy para construir un dique comercialmente viable, de dar resultado se podría construir una gigantesca central mareomotriz de 5,5 GW, con un caudal de 55.000m³/s. El nivel medio de la marea es de 12 m; marea máxima de 18 m. Hay varios proyectos realizados en esta zona, pero por el momento ninguno ha salido adelante.

Proyecto estuario de Mersey

El estudio realizado por Mersey Barrage Company entre 1988 y 1992, en el estuario de Mersey(Reino Unido), examinó detenidamente la idea de la implantación de una central mareomotriz de presa de marea. Se llegó a la conclusión de que esta planta podría generar hasta 700 MW de electricidad, instalando 28 turbinas capaces de generar 25MW cada una, capaz de suministrar energía a unos 300.000 hogares, teniendo una vida útil de unos 120 años. Los impactos sobre el transporte marítimo, la sedimentación, la calidad del agua y la ecología local hicieron que el proyecto se detuviese y actualmente están evaluando estos impactos.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Corriente de marea

En cuanto a los parques y proyectos de aprovechamiento de la corriente de marea, al tratarse de una tecnología menos madura hay varios proyectos y plantas piloto, pero no hay en la actualidad ningún gran parque realizado, aunque seguramente en los próximos años sí que los habrá, ya que es una tecnología con gran potencial.

Proyecto Seagen

Proyecto realizado por una empresa ubicada en el Reino Unido (adquirida por Siemens en 2012). El SeaGen, es una turbina con dos rotores gemelos de eje horizontal y una potencia de 1 MW por cada rotor (2MW totales), capaz de funcionar en las dos direcciones de la marea debido a la posibilidad de inclinación de las cuchillas de cada rotor.

Tabla 6. Proyecto Sea Gent. EP.

Proyecto Sea Gent		
País de origen	UK	
Potencia nominal	2MW	
Diámetro rotor	15m	
Profundidad Min/Max	20m / 30m	
Velocidad de corte(m/s)	0,8	
Velocidad nominal(m/s)	2,5	

Proyecto Tidal Stream Turbine

Es un proyecto realizado por la empresa noruega Hammerfest Strøm, en el año 2003. Se instaló ese mismo año en Kvalsund (Noruega) a 50 m de profundidad está probada con creces su fiabilidad y su eficiencia. Dicho prototipo de 300 KW (HS300) de potencia, 20 m de diámetro y 30 m de altura está compuesto por un rotor axial de tres palas que giran horizontalmente.

Tabla 7. Proyecto Tidal Stream Turbine. EP.

Proyecto Tidal Stream Turbine		
País de origen	Noruega / UK	
Potencia nominal	1MW	
Diámetro rotor	20m	
Profundidad Min/Max	40m / 100m	
Velocidad de corte(m/s)	1,1	
Velocidad nominal(m/s)	2,2	

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Atlantis Resources Corporation

Esta empresa australiana cuenta con varios prototipos patentados como son las series, AN, AS y AR. La más importante de estas series es la AR, ya que se trata del proyecto más grande de todos los que disponen, llamado AR 1000. Se trata de una turbina formada con 3 palas, de 1MW de potencia y 18m de diámetro de rotor, y actualmente está llevando a cabo más desarrollos y pruebas en un entorno controlado en la instalación de pruebas NaREC en el Reino Unido.

Tabla 8. Proyecto AR.EP.

Proyecto AR	
País de origen	Australia
Potencia nominal	1MW
Diámetro rotor	18m
Profundidad Min/Max	30m / 50m
Velocidad de corte(m/s)	1
Velocidad nominal(m/s)	2,65

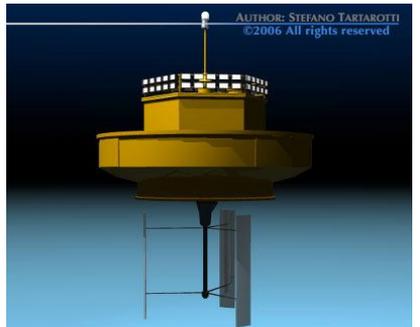


Ponte di Archimede

Esta compañía italiana es propietaria de la patente de una turbina de eje vertical llamada Kobold instalada bajo una plataforma flotante que realiza la función de soporte al mismo tiempo que sirve de hogar para el generador síncrono y el material eléctrico necesario. La principal característica de esta turbina es su elevado par de arranque que le permite iniciar su funcionamiento incluso en bajas velocidades de corriente. Dicha turbina fue testada a gran escala en el estrecho de Mesina (Italia) en 2001, donde posteriormente se llevó a cabo la instalación de un prototipo de 50 KW en 2011 bajo el nombre de proyecto Enermar.

Tabla 9. Proyecto Kobold. EP.

Proyecto Kobold	
País de origen	Italia
Potencia nominal	50KW/500KW
Diámetro rotor	5m
Profundidad Min/Max	18m / 35m
Velocidad de corte(m/s)	1
Velocidad nominal(m/s)	2



ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Proyecto Torcado

Es un dispositivo desarrollado por la empresa holandesa, Tocado Tidal Turbines. La primera turbina de 100 KW se instaló en Afsluitdijk, durante 2008. Las turbinas fabricadas por la empresa Tocado Tidal Turbines están en un rango de 100-1000 KW. Las más pequeñas, serie R, están pensadas para su uso en ríos y las de mayor tamaño, serie T, para corrientes en el mar. Todas ellas tienen un diseño basado en la simplicidad y la robustez minimizando así el mantenimiento requerido y optimizando el KWh producido.

Tabla 10. Proyecto Torcado. EP.

Proyecto Torcado		
País de origen	Holanda	
Potencia nominal	100KW/1000KW	
Diámetro rotor	2m/5m	
Profundidad Min/Max	5,5m/25m	
Velocidad de corte(m/s)	0,4-0,9	
Velocidad nominal(m/s)	2-4	

Neptune Renewable Energy

La empresa Neptune Renewable Energy, ha desarrollado el generador de energía de corriente de marea Proteus, una turbina de eje vertical diseñada para aprovechar la energía cinética que se encuentra en los flujos de las mareas en los estuarios.

Cada turbina Proteus de producción tendrá una capacidad instalada de 1.25MW, dando como resultado una producción de potencia anual de hasta 6GWh, en lugares donde las velocidades de corriente en las mareas vivas alcanzan los 3 m / s. Las pruebas piloto se han llevado a cabo en el estuario Humber, Reino Unido, donde el dispositivo está proporcionando electricidad para una atracción turística y un centro de investigación.

Tabla 11. Proyecto Proteus. EP.

Proyecto Proteus		
País de origen	UK	
Potencia nominal	1,25MW	
Diámetro rotor	3m/6m	
Profundidad Min/Max	6m/8m	
Velocidad de corte(m/s)	1	
Velocidad nominal(m/s)	3	

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Clean Current

El dispositivo Clean Current es una turbina de eje horizontal con álabes de paso fijo, permite un funcionamiento de velocidad variable y en ambos sentidos de la corriente. Se están desarrollando dispositivos comerciales para aguas menos profundas, como los ríos.

Las pruebas de fábrica de la unidad de demostración fluvial a gran escala se llevarán a cabo antes del despliegue en Manitoba, Canadá. Se prevé que el despliegue en sitios de mareas poco profundas tendrá lugar poco después del despliegue a gran escala en los ríos.

Tabla 12. Proyecto Clean Current. EP.

Proyecto Clean Current	
País de origen	Canadá
Potencia nominal	12kW, 33kW, 65kW, 85kW
Diámetro rotor	1,5m/4m
Profundidad Min/Max	5,5m/20m
Velocidad de corte(m/s)	1,5
Velocidad nominal(m/s)	3,5



ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Proyecto GESMEY

España no se queda atrás en lo que avances tecnológicos refiere. Uno de los proyectos más importantes llevados a cabo trata del diseño conceptual de una turbina marina capaz de generar energía a más de 40 m de profundidad, realizado en la Universidad Politécnica de Madrid con apoyo de la fundación Soermar.

Este trabajo es especialmente importante debido a que en su origen el dispositivo, fue concebido para trabajar en el estrecho de Gibraltar.

El dispositivo, caracterizado por un rotor de tres palas, ilustración 20, y tres torpedos que junto a las columnas proveen al aparato de estabilidad, tiene la posibilidad de ser escalable en cuanto a potencia nominal y en su adaptabilidad a los diferentes perfiles de corrientes que puedan darse en la zona. El prototipo, de 10 KW de potencia, fue fabricado para ser sometido a ensayos en la fundación centro tecnológico Soerma.



Ilustración 20. Proyecto GESMEY.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Proyecto Magallanes

Magallanes Renovables S.L. es una empresa que nació en Galicia en 2007 y que es actualmente la única empresa en España que está trabajando en el desarrollo de una plataforma flotante capaz de generar energía eléctrica a partir de las corrientes marinas. Desde sus inicios ha focalizado su actividad en el desarrollo de una plataforma flotante capaz de generar 2 MW de electricidad, ilustración 21.

Tras más de cuatro años de diseño y desarrollo de la plataforma, Magallanes Renovables se embarcó en la construcción de una plataforma a escala 1:10. Esta plataforma incluye todos los sistemas necesarios para su funcionamiento autónomo durante la fase de generación de energía. A finales de 2011 se terminó el prototipo y se iniciaron las pruebas en seco y en mar que han servido para testar todos los sistemas y que ha permitido demostrar el elevado potencial y las altas expectativas de esta plataforma, en la actualidad se están realizando pruebas tanto en Vigo, como en Escocia.

El futuro de Magallanes Renovables está centrado en construir y probar un prototipo a escala real de 40m de eslora y 25m de manga de 2 MW de potencia.

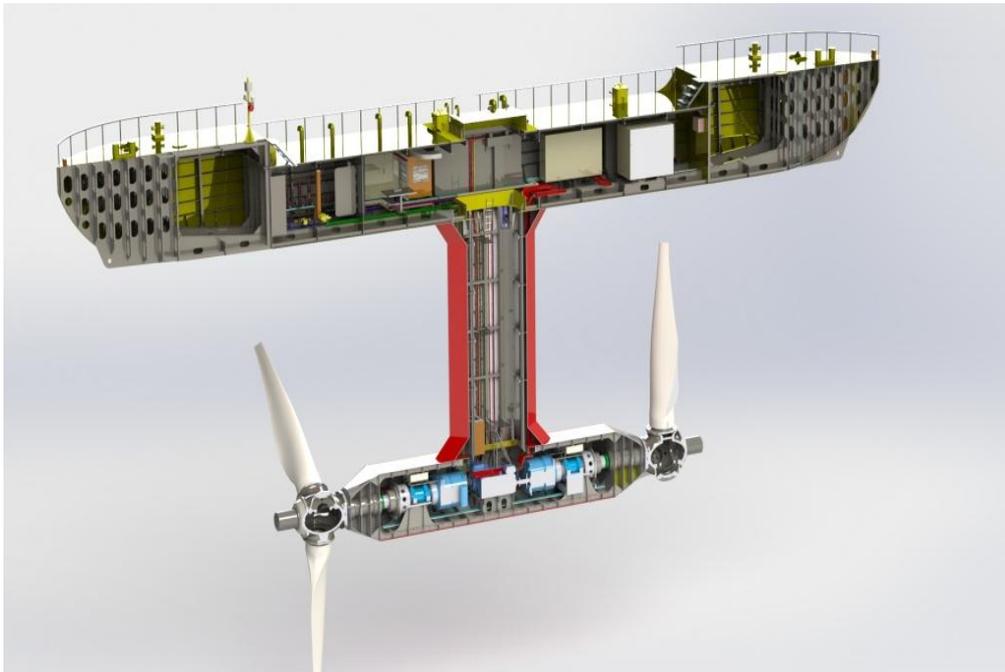


Ilustración 21. Proyecto Magallanes.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

4.2.1.4 Ventajas y desventajas de la energía mareomotriz.

Ventajas

- Es autorrenovable, es capaz de renovarse cíclicamente debido al ciclo periódico de las mareas.
- No contamina, no emite ningún tipo de contaminante a la atmósfera ni al agua en el que se produce la energía.
- Es silenciosa, las instalaciones que componen una de estas plantas no emiten ningún tipo de ruido.
- Coste nulo de la materia prima o combustible necesario para su funcionamiento, ya que el agua del mar no cuesta nada.
- Las plantas mareomotrices no necesitan un núcleo de población cercano, ya que con dos o tres operarios para la realización del mantenimiento es suficiente.
- Tiene disponibilidad para cualquier clima y época del año, ya que las mareas se producen siempre.
- La energía de las corrientes es altamente predecible y no depende de factores externos, a diferencia de otras energías renovables como la solar o la eólica, la disponibilidad de este tipo de energía puede conocerse incluso con años de antelación.
- Es posible una generación eléctrica casi ininterrumpida y con alto rendimiento, que puede alcanzar el 43% de media, el doble que otras renovables.
- Las plantas mareomotrices tienen una larga vida útil estimada en unos 100 años.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Desventajas

- Impacto visual y estructural sobre el paisaje costero.
- Localización puntual, hay pocos lugares en el mundo para el aprovechamiento de este tipo de energía.
- Depende de la amplitud de las mareas y de la velocidad de estas, si ambas no son suficientemente grandes no sería viable su instalación.
- Gran impacto ambiental sobre la flora y la fauna donde se construye el dique o donde se colocan los dispositivos, es la principal desventaja de estas tecnologías.
- Al ser unas tecnologías nuevas resultan menos competitivas que otras establecidas y potenciadas desde hace más tiempo, la energía resultante es significativamente más cara que la obtenida con centrales nucleares, térmicas, u otras fuentes de energía renovables.
- Alto coste inicial en infraestructura.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

4.2.1.5 Análisis científico

El siguiente apartado se centra en la búsqueda de información sobre, estudios, proyectos artículos de revistas, que traten sobre el tema que nos ocupa la energía mareomotriz. Para ello realizaremos una búsqueda sobre una serie de palabras clave en la base de datos llamada "Scopus". En esta base de datos es posible encontrar información científica de varias áreas de estudio de todo el mundo.

Las palabras clave utilizadas serán las siguientes:

- Tidal energy.
- Tidal range energy
- Tidal stream energy.
- Tidal barrage

Artículo 1

- Título: Tidal range energy resource and optimization – Past perspectives and future challenges.
- Autores: Simon P. Neill.
- Fecha: 03/03/2018.
- Revista: Renewable energy.

La energía de las mareas es una de las formas más predecibles de energía renovable. Aunque ha habido mucho progreso comercial y de I + D en la energía de las corrientes de mareas, el rango de las mareas es una tecnología más madura, con plantas de energía mareomotriz que tienen una historia que se remonta a más de 50 años. Con la publicación de 2017 de la "Revisión de Hendry" que examinó la viabilidad de las plantas de energía de la laguna de marea en el Reino Unido, es oportuno revisar las plantas de energía de la marea. Aquí explicamos los principios fundamentales de las plantas generadoras de energía mareomotriz y revisamos dos áreas principales de investigación: el recurso presente y futuro de las mareas y la optimización de las plantas generadoras de energía mareomotriz. También discutimos cómo la variabilidad en la electricidad generada a partir de plantas de energía mareomotriz podría ser parcialmente compensada por el desarrollo de múltiples plantas de energía (por ejemplo, lagunas) que son complementarias en fase, y por la provisión de almacenamiento de energía. Finalmente, discutimos las implicaciones de Hendry Review y lo que esto significa para el futuro de las plantas de energía mareomotriz en el Reino Unido e internacionalmente.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Artículo 2

- Título: Renewable energy from the ocean.
- Autores: Robin PelcRod, M.Fujita.
- Fecha: 05/12/2002.
- Revista: Marine Policy.

La creciente preocupación por la amenaza del cambio climático global ha llevado a un mayor interés en la investigación y el desarrollo de tecnologías de energía renovable. El océano proporciona una gran fuente de recursos energéticos potenciales y, a medida que se desarrolla la tecnología de energía renovable, es probable que crezca la inversión en energía oceánica. La investigación en la conversión de energía térmica oceánica, energía de las olas, energía mareomotriz y energía eólica marina ha conducido a tecnologías prometedoras y, en algunos casos, a la implementación comercial. Estas fuentes tienen el potencial de ayudar a aliviar la amenaza del cambio climático global, pero el medio ambiente oceánico debe protegerse mientras se desarrollan estas tecnologías. Las fuentes de energía renovable del océano pueden explotarse sin dañar el medio ambiente marino si los proyectos se ubican y escalan de manera apropiada y se siguen las pautas ambientales.

Artículo 3

Título: Human dimensions of tidal energy: A review of theories and frameworks.

Autores: Lekelia Danielle Jenkins, Stacia Jeanne Dreyer.

Fecha: 05/09/2018.

Revista: Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Hay teorías y marcos que se han explorado en múltiples artículos, estas teorías y marcos se agruparon en nueve conceptos generales: aceptación, apego a lugares, justicia, economía, sistemas de innovación tecnológica, evaluación ambiental, evaluación ambiental estratégica, gestión adaptativa y espacial marina. Cada uno de estos conceptos fue expuesto para discutir las limitaciones de la investigación actual sobre el concepto e identificar caminos prometedores para futuras investigaciones. Al comparar la funcionalidad de estos conceptos, la mayoría tiene una capacidad realizada para comprender los costos y beneficios, el riesgo y la incertidumbre. Sin embargo, menos de la mitad tienen una capacidad realizada para administrar los costos, los beneficios y el riesgo, mientras que menos de un tercio tienen una capacidad realizada para gestionar la incertidumbre. Este documento ofrece una tabla resumen de las teorías y marcos existentes que podrían utilizarse como un punto de partida para detallar una agenda de investigación para explorar de manera más sistemática las teorías y los marcos para las dimensiones humanas de la energía de las mareas.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Artículo 4

- Título: Ocean energy development in Europe: Current status and future perspectives.
- Autores: Davide Magagna, Andreas Uihlein.
- Fecha: 06/06/2015.
- Revista: International Journal of Marine Energy.

La energía oceánica tiene el potencial de desempeñar un papel importante en el futuro sistema energético, a la vez que contribuye a la reducción de las emisiones de carbono y estimula el crecimiento económico en las zonas costeras y remotas. La energía oceánica ha atraído un interés creciente, especialmente en la UE, que actualmente se encuentra a la vanguardia del desarrollo de la energía oceánica.

La energía de las mareas y las olas representa los dos tipos más avanzados de tecnologías de energía oceánica. En la UE, el objetivo es alcanzar los 100 GW de capacidad combinada de olas y mareas instaladas para 2050. Para alcanzar estos objetivos, el sector debe superar una serie de desafíos y barreras en lo que respecta a la disponibilidad tecnológica, financiación y establecimiento de mercados, administración y problemas ambientales y la disponibilidad de conexiones a la red, especialmente en áreas remotas. Actualmente estas barreras están obstaculizando el progreso del sector; su capacidad para atraer inversiones internas y participar en la cadena de suministro para desbloquear mecanismos de reducción de costos. Se han puesto en marcha una serie de iniciativas y mecanismos de políticas para garantizar que las tecnologías de energía oceánica puedan ser competitivas en términos de costes a corto plazo, con el fin de explotar los beneficios que estas tecnologías podrían proporcionar a la UE.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Artículo 5

- Título: Optimising tidal range power plant operation.
- Autores: Athanasios Angeloudis, Stephan C.Kramer.
- Fecha: 22/12/2017.
- Revista: Applied Energy.

Las plantas generadoras de energía mareomotriz representan un enfoque atractivo para la generación a gran escala de electricidad del medio marino. Aunque las mareas y, por extensión, los recursos de energía disponibles son predecibles, también son variables en el tiempo. Esta variabilidad plantea un desafío con respecto al control transitorio óptimo de las centrales eléctricas. Consideramos métodos de simulación que incluyen los principales modos de operación de las plantas de energía mareomotriz, junto con algoritmos para regular el tiempo de estos. Este documento propone un marco donde los modelos simplificados de operación de la planta de energía se combinan con técnicas de optimización basadas en gradiente para determinar la estrategia de control óptima en múltiples ciclos de mareas. Los resultados de optimización informan las simulaciones oceánicas costeras que incluyen plantas de energía mareomotriz para medir si los beneficios de una operación de adaptación se conservan una vez que sus impactos hidrodinámicos también se toman en consideración. La operación combinada de dos proyectos prospectivos de lagunas mareales dentro del Canal de Bristol y el Estuario del Severn se usa como ejemplo para demostrar los beneficios potenciales de un enfoque de optimización de maximización energética.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

4.2.1.6 Conclusión

Con lo expuesto anteriormente y la información buscada para la realización del estado del arte, debemos tener claro que la energía mareomotriz en un futuro no muy lejano, tendrá una importante aportación al mix energético mundial, pero que actualmente todavía no es una tecnología suficientemente implementada y desarrollada.

En el caso que nos ocupa, la búsqueda de un lugar en la costa cántabra para la instalación de un dispositivo de aprovechamiento de la energía mareomotriz, utilizaremos como base la información que nos sea útil en el presente documento para encontrar el lugar más adecuado dentro de la costa cántabra, comparando también nuestro estudio con los diferentes proyectos y tecnologías utilizadas en otros lugares del mundo.

En definitiva, la metodología usada en este estudio será de elaboración propia principalmente, con determinados elementos de la información buscada anteriormente.

5. Metodología de investigación

5.1 Introducción

A continuación, se va a exponer los pasos a seguir para la instalación de una planta de aprovechamiento de energía mareomotriz desde el punto de vista técnico. Se trata de su instalación concreta en la costa de la Comunidad Autónoma de Cantabria, pero sería extrapolable a cualquier otro lugar del mundo.

Tenemos definidos los dos tipos de aprovechamiento de energía mareomotriz existentes (generadores de corriente de marea y presas de marea), estudiaremos ambas opciones aplicadas a los distintos estuarios de la costa cántabra y analizaremos cual es más adecuado, estudiando los diversos factores que afectan ambas tecnologías.

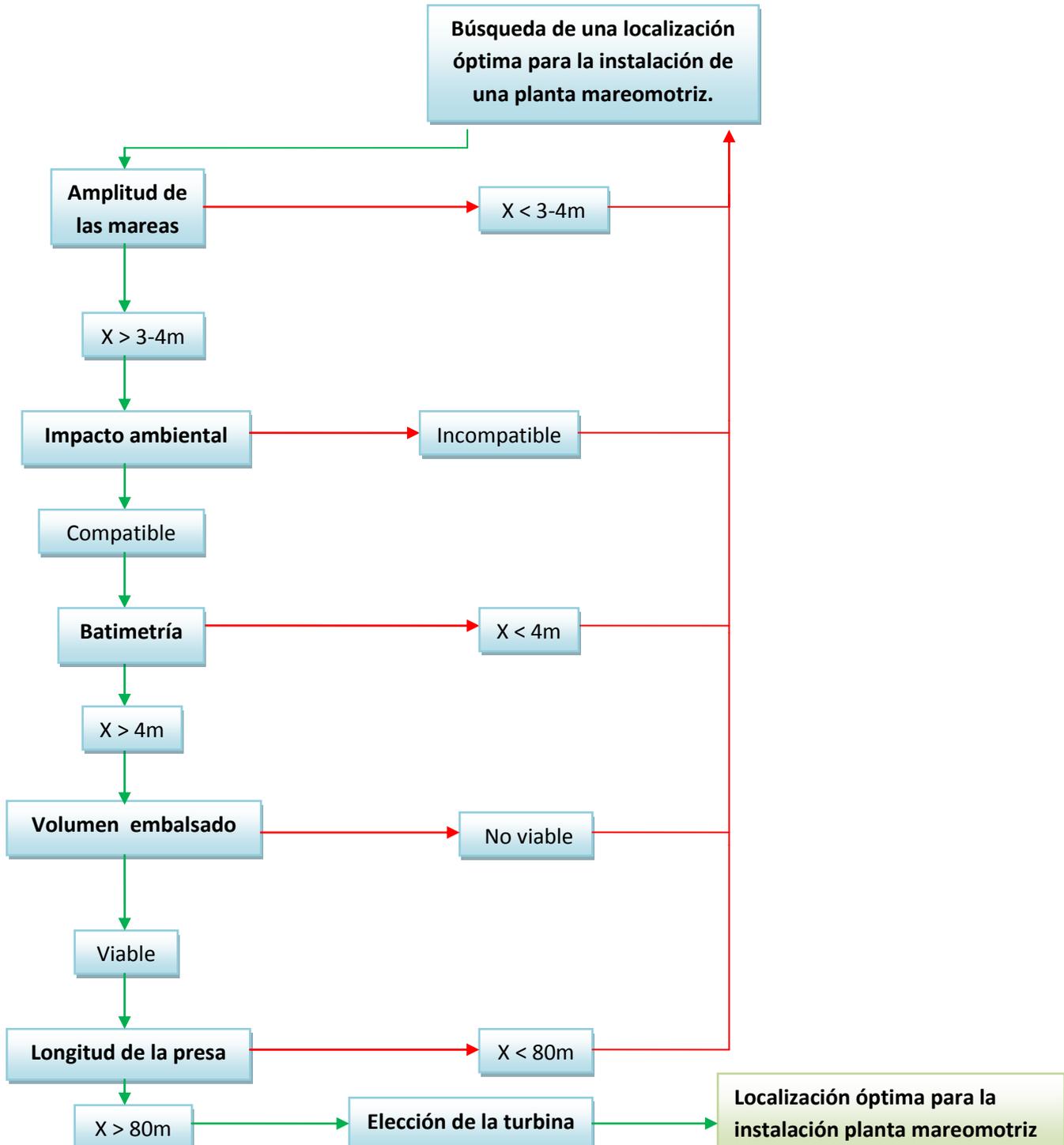
Con la siguiente metodología, se persigue la optimización del diseño para ahorrar en su construcción y en su colocación, además de causar el menor impacto ambiental posible. El segundo objetivo es obtener una previsión de la producción lo más real y detallada posible. Con este dato, se consigue maximizar la rentabilidad de la planta y si fuera posible realmente llevar a cabo el proyecto una vez este elaborado el presente estudio.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

5.2 Diagrama de flujo

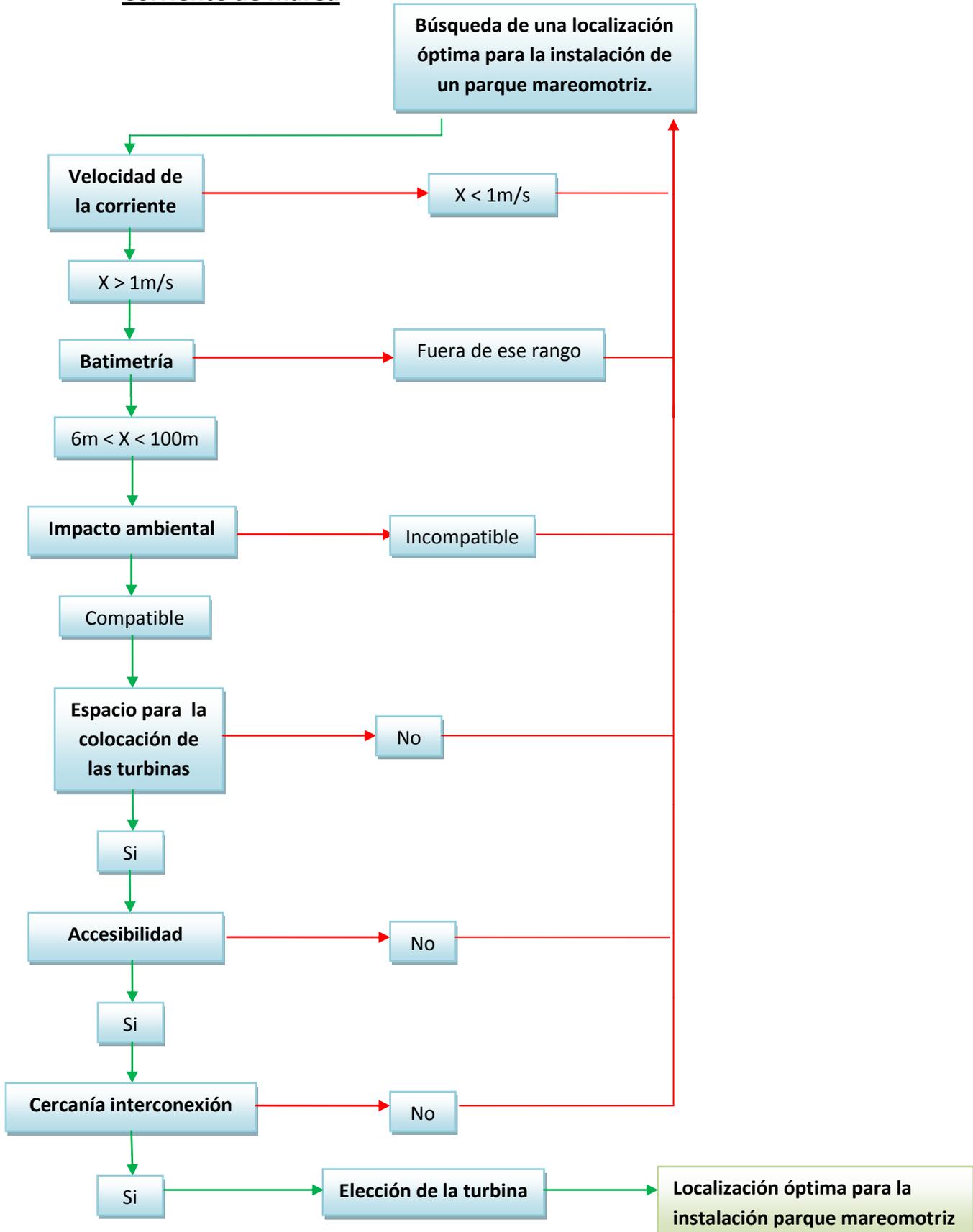
Para exponer de manera simplificada el proceso, se han realizado dos diagramas de flujo, uno para la presa de marea y otro para la corriente de marea ya que tienen alguna distinción entre ambos, que muestran de un vistazo los pasos a seguir para la instalación de ambas tecnologías

Presa de marea



**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

Corriente de marea



ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

5.3 Búsqueda de una localización

A continuación, estudiaremos las diferentes rías y estuarios dentro de la Comunidad Autónoma de Cantabria para localizar la ubicación adecuada, para la instalación de un dispositivo que aproveche la energía de las mareas.

Analizaremos los diferentes parámetros anteriormente descritos en los diagramas de flujo para ir descartando posibles ubicaciones y quedarnos con las más adecuadas para ambos casos, tanto como para la presa de marea como para la corriente de marea, los parámetros más importantes para cada caso son la amplitud de marea en el primer caso, y la velocidad de la corriente en el segundo caso. Este paso nos descartará varias opciones, en el caso de la corriente de marea, ya que una velocidad de 1 m/s o superior es bastante restrictiva, en el caso de la amplitud de la marea no varía prácticamente nada en una distancia tan pequeña como es la costa Cántabra.

Después estudiaremos otras características como son la batimetría y el impacto ambiental, siendo también importantes a la hora de la instalación de un dispositivo de estas características pudiendo limitar la elección de un lugar adecuado, ya que con profundidades demasiado bajas o demasiado altas deberíamos descartar estas opciones, aunque cada caso deberá ser estudiado debidamente.

Por último, estudiaremos la longitud de la presa y la cantidad de agua embalsada en el caso de las presas de marea, y en el caso de la corriente de marea la accesibilidad al lugar elegido y cercanía a una interconexión. Escogiendo en cada caso la turbina más adecuada para todas las características anteriormente analizadas.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

5.3.1 Parámetros principales de selección

5.3.1.1 Amplitud de marea

En primer lugar, estudiaremos la amplitud de las mareas ya que se trata de un hecho general que será similar en todos los estuarios estudiados, ya que el estudio se desarrolla en ubicaciones bañadas por el mismo mar (Mar Cantábrico) y que existe una corta distancia entre un punto y otro, las diferencias entre pleamar y bajamar son muy similares, .

Para fundamentar el hecho de no recoger datos a lo largo de toda la costa y apoyar la teoría de que el nivel del mar no cambia significativamente en el tramo a estudiar, comparamos dos meses cualesquiera del mismo año (2016), con los datos del puerto de Bilbao, ya que es el mareógrafo más cercano a Santander, estos datos de marea están sacados de la pagina web <http://www.puertos.es>. Esta comparación permite verificar que la diferencia o variación de mareas respecto de la zona de la costa Cantábrica donde se realiza el estudio es despreciable.

Tabla 13. Comparación de las mareas en Bilbao y Santander en los meses de junio y Diciembre de 2016. EP:

Ciudad	Mes	Pleamar máxima	Pleamar mínima	Pleamar media	Bajamar máxima	Bajamar mínima	Bajamar media	Amplitud media
Santander	Junio	2,02	0,86	1,41	2,16	0,74	1,46	2,87
	Diciembre	2,25	0,74	1,38	2,08	0,91	1,43	2,81
Bilbao	Junio	2,01	0,85	1,40	2,14	0,69	1,45	2,85
	Diciembre	2,20	0,77	1,37	2,10	0,92	1,42	2,79

Si nos fijamos en la tabla 13 todos los datos recogidos distan solamente en unos pocos centímetros, en especial el estudio de la amplitud media (diferencia entre pleamar media y bajamar media) que es lo que nos interesa, habría una diferencia de 0,02 m en junio y también en diciembre, comprobando que la diferencia entre las mareas de estas dos ciudades separadas unos 100 km de distancia es casi inapreciable como mencionamos anteriormente.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Teniendo en cuenta el carácter cíclico que tienen las mareas, se analizará un período de un año completo y finalizado (2016) para el estudio de las mareas. Para la obtención de datos se toma como referencia el Puerto de Santander, ya que se trata del único mareógrafo que encontramos en Cantabria, y como hemos visto anteriormente nos puede servir para toda la costa Cántabra.

Tabla 14. Resumen de las mareas Santander de 2016. EP:

Mes	Pleamar máxima	Pleamar mínima	Pleamar media	Bajamar máxima	Bajamar mínima	Bajamar media	Amplitud media
Enero	2,34	0,87	1,53	1,84	0,41	1,26	2,79
Febrero	2,39	0,54	1,43	2,07	0,81	1,46	2,89
Marzo	2,45	0,66	1,40	2,40	0,61	1,44	2,84
Abril	2,32	0,58	1,42	2,46	0,70	1,50	2,92
Mayo	2,38	0,65	1,41	2,11	0,85	1,45	2,86
Junio	2,02	0,86	1,41	2,16	0,74	1,46	2,87
Julio	1,96	0,70	1,40	2,03	0,82	1,45	2,85
Agosto	2,18	0,58	1,42	2,08	0,81	1,46	2,88
Septiembre	2,29	0,62	1,43	2,29	0,64	1,47	2,90
Octubre	2,31	0,55	1,43	2,36	0,74	1,47	2,90
Noviembre	2,02	0,70	1,39	2,46	0,75	1,43	2,82
Diciembre	2,25	0,74	1,38	2,08	0,91	1,43	2,81

Como observamos en la tabla 14, las amplitudes medias no varían demasiado de un mes a otro, teniendo enero como el mes con la amplitud media más baja de 2,79 m y abril como el mes de la amplitud media más alta con 2,92 m, habiendo entre los dos meses una diferencia de tan solo 0,13 m. Estos datos también los apreciamos a la hora de valorar el resto de datos de la tabla, hemos marcado los valores mínimos de cada uno de los datos recogidos durante el año en color rojo y los máximos en color verde, como podemos apreciar la diferencia de la pleamar media máxima y mínima es de apenas unos 0,15 m, en cuanto a la bajamar media hay una diferencia entre la máxima y la mínima de apenas 0,24 m.

Constatando así que las mareas apenas varían a lo largo del tiempo y que tienen un marcado carácter repetitivo y predecible, hecho que nos ayuda a valorar la viabilidad del estudio que estamos realizando.

Vemos que los valores entre los máximos y mínimos en los demás datos recogidos (tanto pleamares máximas y mínimas como bajamares máximas y mínimas), los datos varían más, en torno a 0,4-0,6 m, esto se debe como dijimos anteriormente a las mareas vivas o mareas muertas y a los efectos meteorológicos de la zona, que afectan de forma notable a las pleamares y bajamares máximas.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Un hecho que debemos tener en cuenta a la hora de realizar la construcción de una presa de marea son la pleamar máxima y la bajamar máxima para su dimensionamiento, como vemos en la tabla 6, la pleamar máxima será entorno a unos 2,5 m y la bajamar máxima será de unos 2,5 m, es decir que la altura media del nivel del mar en un punto de la costa Cántabra puede variar desde unos 2,5 m por encima del nivel medio del mar a 2,5 m por debajo obteniendo una amplitud máxima de unos 5 m de altura.

Para una mayor exactitud y verificación de los datos de las amplitudes de marea en la costa cántabra hemos obtenido dos figuras con datos muy interesantes, en un rango de tiempo mayor, concretamente de 1992 a 2018. Se trata de:

- **Histograma:** diagrama de barras que representa en el eje de abscisas las distintas amplitudes de las mareas, cada 0.35 metros, y en el eje de ordenadas la frecuencia de las distintas amplitudes de marea en tanto por ciento (%).
- **Gráfica de series temporal de Hs:** esta gráfica representa en el eje de abscisas el tiempo transcurrido de forma lineal (la unidad depende de la escala temporal seleccionada, siendo en este caso, años), mientras que en el eje de ordenadas representa la amplitud de la marea máxima mensual (m) y la media mensual (m).

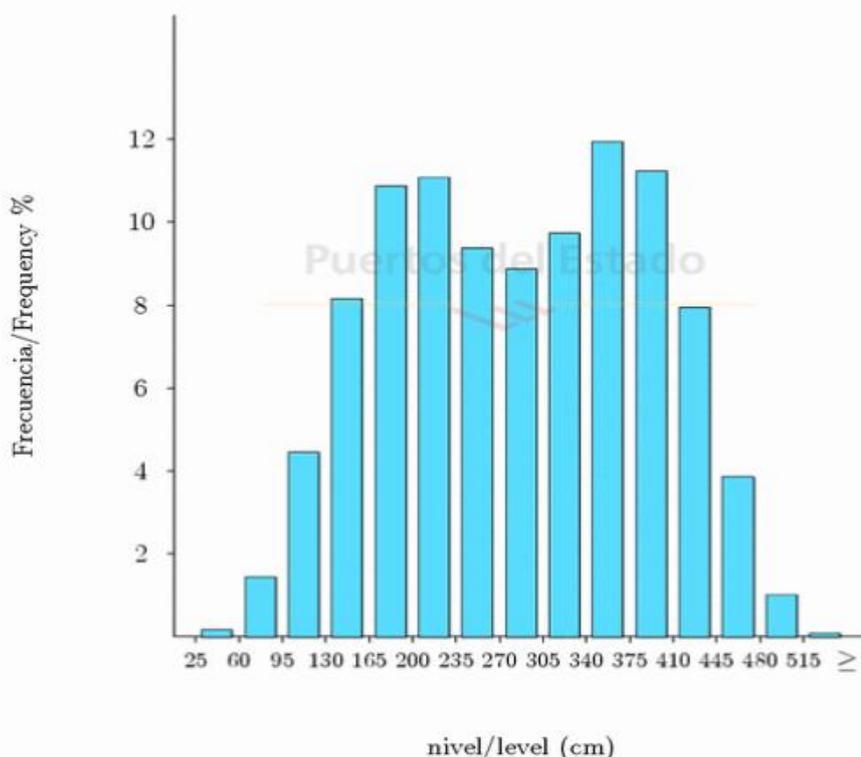


Ilustración 22. Histograma amplitud de marea zona de Santander 1992-2018. Fuente: Puertos del estado.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

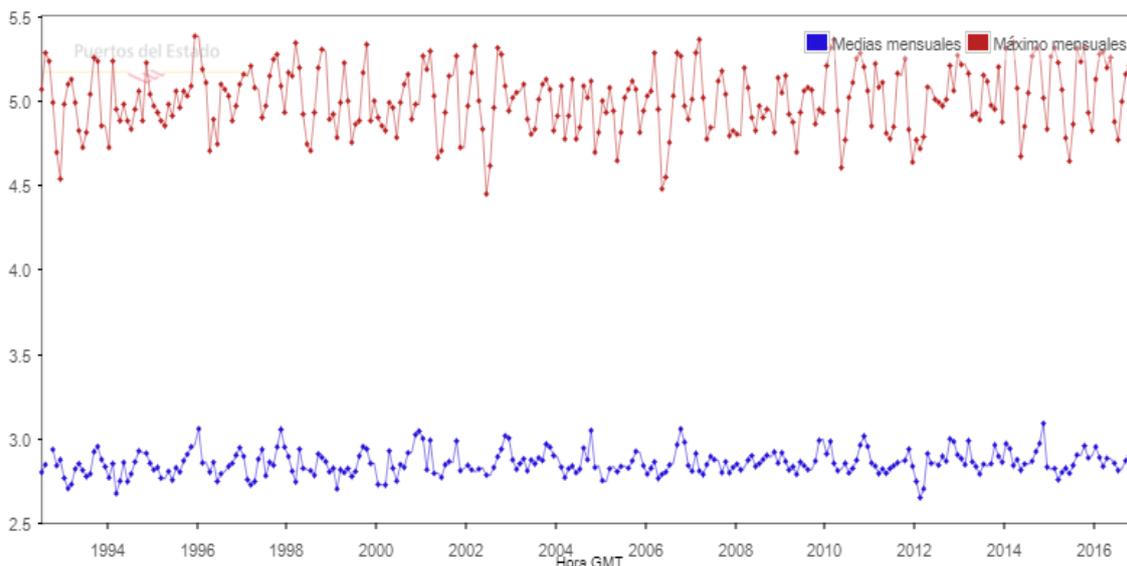


Ilustración 23. Gráfico: Amplitud de marea (m) zona de Santander 1992-2018. Fuente: Puertos del Estado.

En el histograma de la ilustración 22, podemos observar sobre que rango de valores varía la amplitud de marea y cuales se dan con más frecuencia. Los más frecuentes están entre 3,40 m y 4,10 m seguidos muy de cerca de 1,65m y 2,35m (los valores centrales), mientras que los valores laterales se dan con bastante menos frecuencia hasta llegar a los extremos donde prácticamente la frecuencia es 0, si hacemos la media de estos valores nos sale 2,9 m, más o menos como la media que nos daba en la tabla 14, constatando, así como dijimos anteriormente la escasa variación de las mareas a lo largo del tiempo y el patrón repetitivo que siguen.

En cuanto al gráfico de la ilustración 23, observamos las medias y máximas mensuales a lo largo de 26 años (1992-2018). Los máximos históricos mensuales, color rojo, están entre 5 m y 5,5 m, siendo el máximo histórico desde que se recogen datos 5,38 m dándose en diciembre de 1995. Las medias mensuales, color azul, oscilan más o menos entre 2,7 m y 3,1 m (dentro de las medias anteriormente realizadas).

En cuanto la amplitud media necesaria para la instalación de la presa de marea, está en torno a unos 3-4 m de altura, aunque cada caso debería ser estudiado con detenimiento, en nuestro caso tenemos alrededor de 3 m de altura de amplitud media llegando incluso en varias ocasiones alcanzar valores de 5 m, resultando en principio acta la zona de la costa de Cantabria, aunque según avancemos el propio estudio estudiaremos otras características para dar un mejor enfoque al estudio llegando a una conclusión final.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.1.2 Corriente de marea

En cuanto a la corriente de marea estudiaremos en general las velocidades que se alcanzan en la costa cántabra y después estudiaremos más específicamente en cada estuario si se pueden alcanzar velocidades en torno a 1 m/s.

En primer lugar una de las cosas que más afectan a las velocidades de la corriente en mar abierto (no en un estuario) es el paso de la masa de agua por un estrechamiento o que se junten dos masas de agua distintas o ambos casos a la vez como el estrecho de Gibraltar, donde por el momento es en el único lugar de España donde se están haciendo proyectos y estudios para la colocación de estos dispositivos que funcionan con la velocidad de la corriente ya que se llegan alcanzar grandes velocidades.

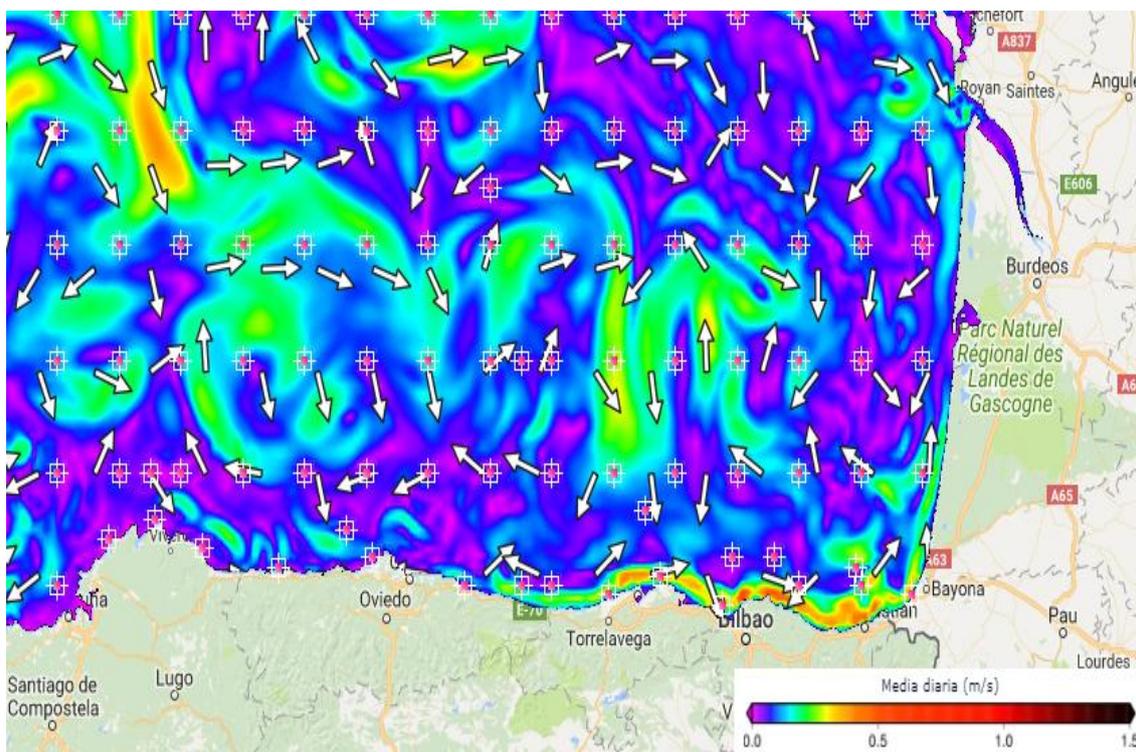


Ilustración 24. Velocidad y dirección de la corriente en el Mar Cantábrico 30/04/2018. Fuente: Puertos del estado.

Como observamos tanto en la ilustración 24, las velocidades más altas se alcanzan en la costa de Cantabria y el País Vasco (en color naranja rojizo) pero como vemos en la leyenda de la imagen estaríamos hablando de unos 0,6m/s que estaría muy por debajo de los 1-1,5m/s necesarios para la viabilidad de los generadores de corriente.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

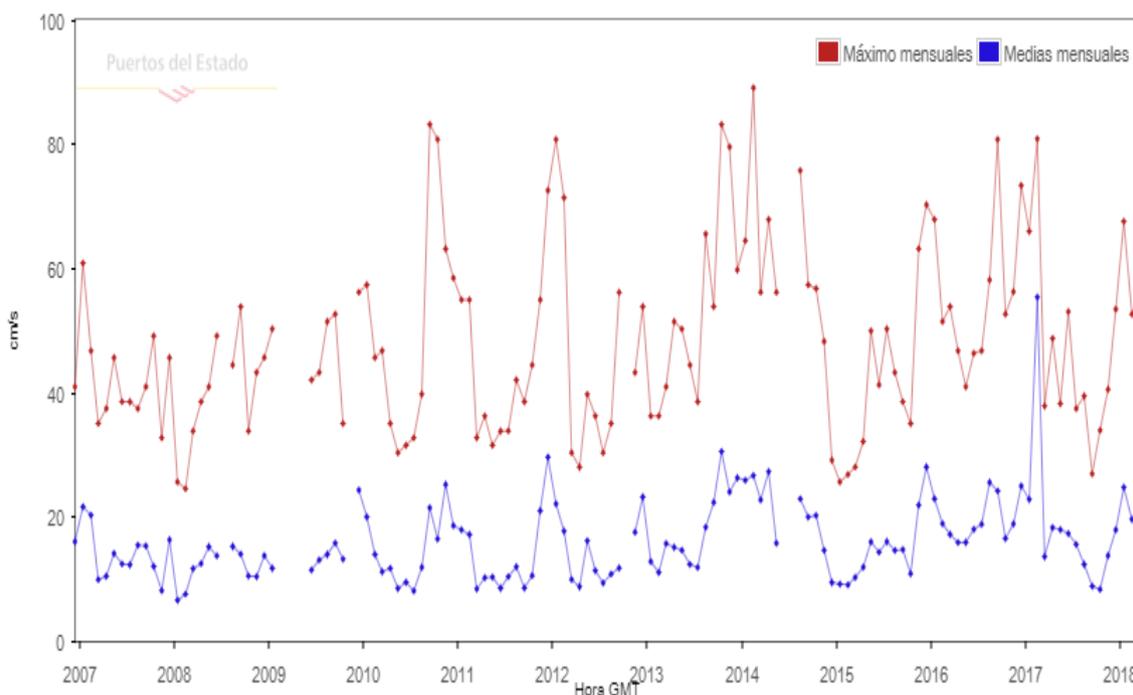


Ilustración 25. Medias y máximas mensuales de la velocidad (cm/s) en la boya de Santander 2007-2018. Fuente: Puertos del estado.

En la ilustración 25, tenemos la media y máxima mensual, color azul y rojo respectivamente, de la velocidad de corriente en la boya situada a unos kilómetros de la ciudad de Santander en Mar abierto, para tener datos fiables hemos ampliado la obtención de datos al máximo de años posibles desde 2007 hasta 2018 para constatar las velocidades medias y máximas mensuales en este periodo.

Como podemos observar las medias mensuales varían desde los 0,07 m/s de mínima hasta los 0,6 m/s de máxima, siendo la media de este gráfico unos 0,15 m/s mensuales lo que sería insuficiente ya que está muy por debajo de los límites de 1-1,5 m/s, incluso las máximas mensuales en este periodo de tiempo no llegan a 1m/s, llegando a ser la máxima velocidad registrada de 0,9 m/s en febrero de 2014.

Por lo tanto, descartaríamos la colocación de un generador de corriente de marea en mar abierto por la insuficiente velocidad de la corriente. En este caso tendríamos que estudiar los diferentes entrantes y salientes de agua distribuidos a lo largo de la costa cántabra para comprobar si tendríamos las condiciones adecuadas para la instalación de estos dispositivos.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

5.3.2 Área de estudio

El siguiente documento se fundamenta en el estudio de potenciales ubicaciones para la instalación de las mencionadas tecnologías de generación energética mareomotriz, para ello, se ha evaluado la totalidad de la costa de la comunidad autónoma de Cantabria.

En este apartado del estudio se busca describir las ubicaciones seleccionadas con total detalle, descartando así los lugares que no cumplan los requisitos establecidos, puesto que el conocimiento del terreno elegido como lugar de trabajo es una parte importante para la buena consecución de todo proyecto y/o estudio.

Analizaremos los diferentes tipos de entrantes y salientes en la costa cántabra, en esta costa encontramos 3 tipos de entrantes y salientes de agua:

- **Bahía**, es una entrada de un mar, océano o lago rodeada por tierra excepto por una apertura, que suele ser más ancha que el resto de la penetración en tierra adentro. Se trata de una concavidad en la línea costera formada generalmente por la erosión por los movimientos del mar.
- **Ría**, es un accidente geomorfológico que designa una de las formas que puede tomar el valle fluvial en torno a la desembocadura de un río, cuando un valle costero queda sumergido bajo el mar por la elevación del nivel de agua. Es un brazo de mar que se interna en la costa y que está sometido a la acción de las mareas.
- **Marisma**, es un ecosistema húmedo con plantas herbáceas que crecen en el agua. El agua de una marisma puede ser sólo de mar, aunque normalmente es una mezcla de agua marina y dulce. Las marismas suelen estar asociadas a estuarios, y se basan comúnmente en suelos con fondos arenosos.

La selección de las masas de aguas de transición en las que se han calculado los regímenes de caudales ecológicos se ha realizado con base en su representatividad y su importancia ecológica, pero, principalmente, en función de las posibles modificaciones del régimen hidrológicos a las que están sometidos los ríos que desembocan en estos estuarios. Los regímenes hidrológicos de los ríos Asón, Saja- Besaya y Pas están modificados respecto a su condición natural debido principalmente al abastecimiento de carácter urbano y/o industrial. Por otra parte, las aguas del río Nansa se utilizan para el aprovechamiento hidroeléctrico, lo que modifica significativamente su régimen natural de caudales.

Finalmente, la Bahía de Santander fue seleccionada debido a la singularidad de este estuario, siendo el más grande de la Comunidad Autónoma de Cantabria y el que está sometido a otras presiones particulares, como los dragados de los fondos para el mantenimiento de la canal de navegación.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Asimismo, la selección de estos estuarios también estuvo condicionada por la disponibilidad de datos, especialmente de las batimetrías de detalle de la zona de influencia mareal, una de las informaciones básicas para determinar la validez de la zona.

En la ilustración 26 podemos ver todas las cuencas hidrográficas de Cantabria, seleccionando de todas ellas las 5 principales, como podemos ver en la tabla 15 en color amarillo.

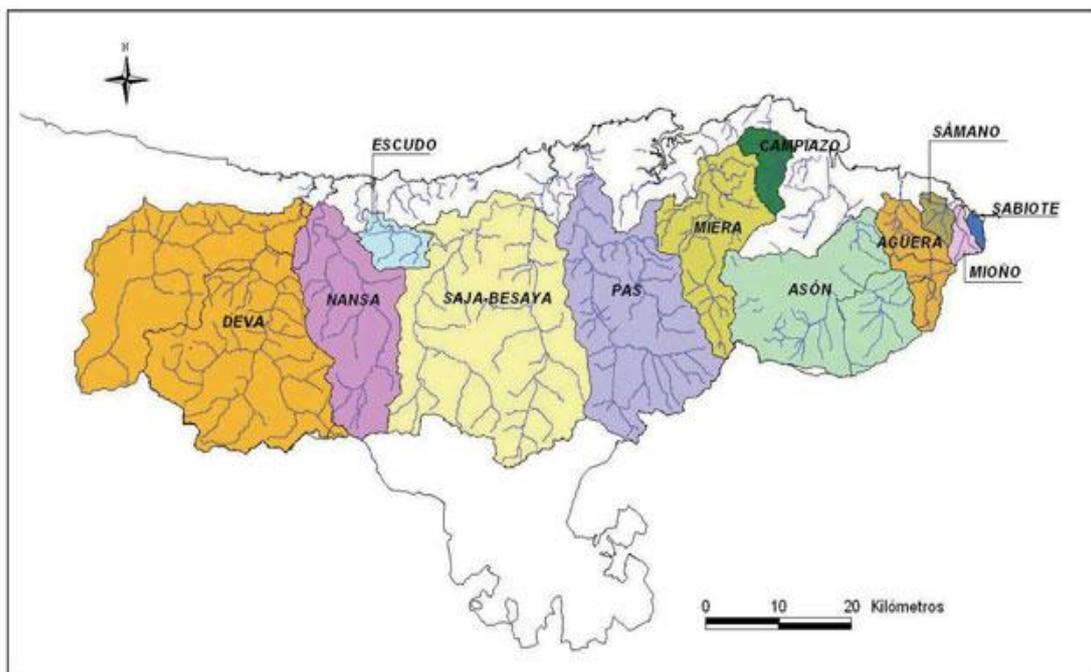


Ilustración 26. Principales cuencas hidrográficas de Cantabria. Fuente:

Tabla 15. Principales cuencas hidrográficas de Cantabria. EP:

Cuenca	Superficie (Km2)	Precipitación total (Hm3)	Aportación total (Hm3)
Agüera	136,48	197,60	93,85
Campiazo-Costa oriental	395,51	566,75	255,07
Asón	551,45	818,80	528,46
Miera	294,92	472,62	280,54
Costa central	234,92	295,19	151,37
Pas	647,17	940,13	489,46
Saja-Besaya	1049,69	1478,41	799,50
Sierra del Escudo de Cabuérniga-Costa occidental	240,41	281,53	146,61
Nansa	429,72	639,35	381,73

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Para la correcta selección entre las ubicaciones propuestas a continuación, elaboraremos una serie de matrices de valores asignando diferentes pesos a cada una de las ubicaciones, que compare los resultados de cada una de ellas a fin de obtener la mejor ubicación para analizarla más detenidamente.

Para su realización hemos realizado una matriz de doble entrada que relaciona la lista de características más importantes para la instalación de una planta o parque mareomotriz y las distintas ubicaciones seleccionadas para ser analizadas.

A continuación, se muestran las posibles ubicaciones para la instalación de la planta mareomotriz:

- Ubicación 1: Marismas de Santoña.
- Ubicación 2: Ría de Tina Menor.
- Ubicación 3: Ría de Suances.
- Ubicación 4: Bahía de Santander.
- Ubicación 5: Ría de Mogro.

Para valorar estas ubicaciones, se van a analizar los siguientes factores:

- Batimetría.
- Caudal medio anual.
- Espacio disponible.
- Tráfico marítimo.
- Impacto ambiental.
- Limite bajamar.

Para todos los criterios se va a considerar un peso igual a 1, excepto para el criterio de impacto ambiental, que se penalizará con un coeficiente mayor en este caso de 2, ya que se trata de la característica más restrictiva a la hora de la implantación de una planta mareomotriz, quedándonos con las dos opciones que menos puntuación obtengan.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

La velocidad de corriente no la incluimos ya que es un dato muy difícil de predecir y de valorar se estudiará más adelante cuando tengamos la ubicación adecuada para comprobar si sería viable la instalación de un parque mareomotriz.

En cuanto a la amplitud de marea no la incluimos ya que tendría la misma nota para una ubicación que para otra ya que como dijimos anteriormente no varía apenas nada en una distancia tan pequeña como la costa cántabra.

Teniendo en cuenta los factores a analizar utilizaremos para la elaboración de las matrices el método de ordenación simple en el que se asignarán puntuaciones que irán del 1 al 5, siendo 1 la puntuación más óptima y 5 la peor (como podemos observar en la tabla 16), por lo tanto, nos quedaremos con la opción que tenga la puntuación más baja entre todas las estudiadas.

Estas puntuaciones se otorgarán con una valoración propia, con los datos analizados y obtenidos en cada ubicación.

Tabla 16. Puntuación según el comportamiento por el método de ordenación simple. EP.

Puntuación	Comportamiento
1	Excelente
2	Bueno
3	Regular
4	Malo
5	Muy malo

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

5.3.2.1 Ubicación 1: Marismas de Santoña

Las marismas de Santoña representan, tras la Bahía de Santander, el estuario más extenso de Cantabria, siendo su superficie total de 1902 ha y su perímetro de 84 Km, se sitúa en la zona oriental de la costa de Cantabria, como vemos en la ilustración 27.

Estas marismas incluyen las conocidas rías de Boo, Escalante, Argoños, Rada y Limpias. Presenta amplias zonas intermareales equivalentes al 67% de su extensión, con un área de 1573 ha situada entre las localidades de Santoña y Laredo.

Su principal aporte de agua dulce es el del río Asón, que tiene un caudal medio anual de 16 m³/s. En él desembocan otros ríos de menor entidad como el río Clarín.

Dentro de estas marismas hay dos puertos deportivos el puerto de Santoña y el puerto de Colindres.

Las Marismas de Santoña están protegidas dentro de la “Reserva Natural de las Marismas de Santoña, Victoria y Joyel”, de la ZEPA “Marismas de Santoña, Victoria, Joyel y Ría de Ajo” y del LIC “Marismas de Santoña, Victoria y Joyel”.

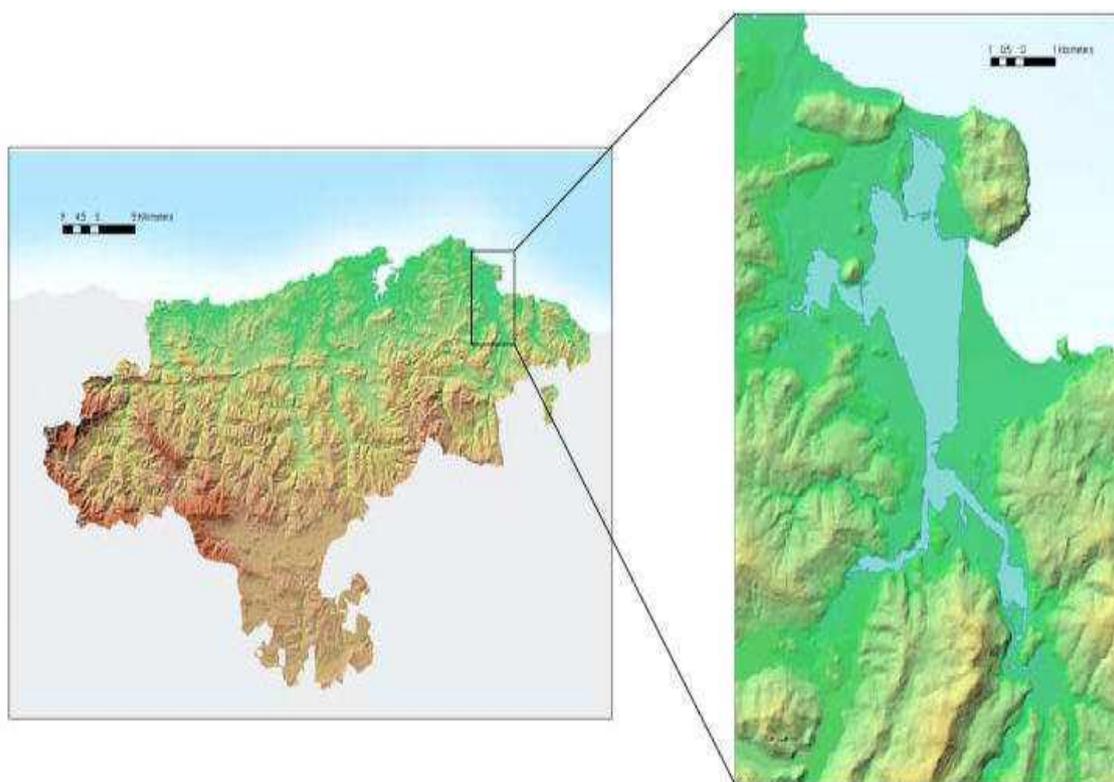


Ilustración 27. Localización de las Marismas de Santoña. Fuente: Plan Hidrológico - Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental (PHD).

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

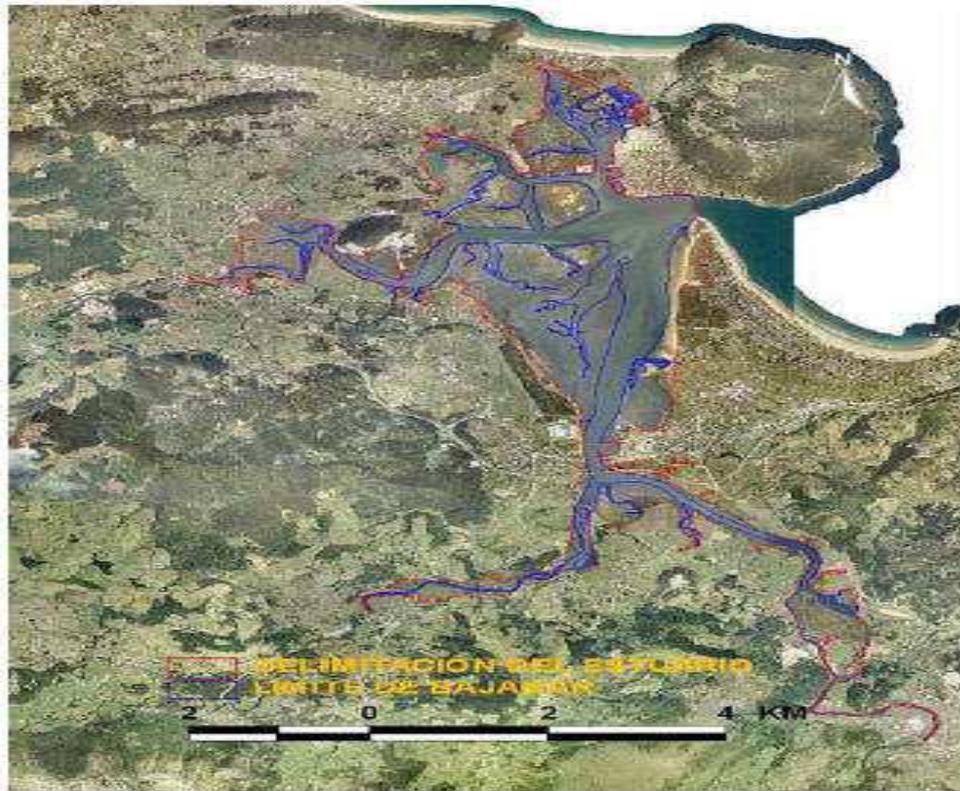


Ilustración 28. Delimitación de las Marismas de Santoña en rojo y límite de bajamar en azul. Fuente: PHD.

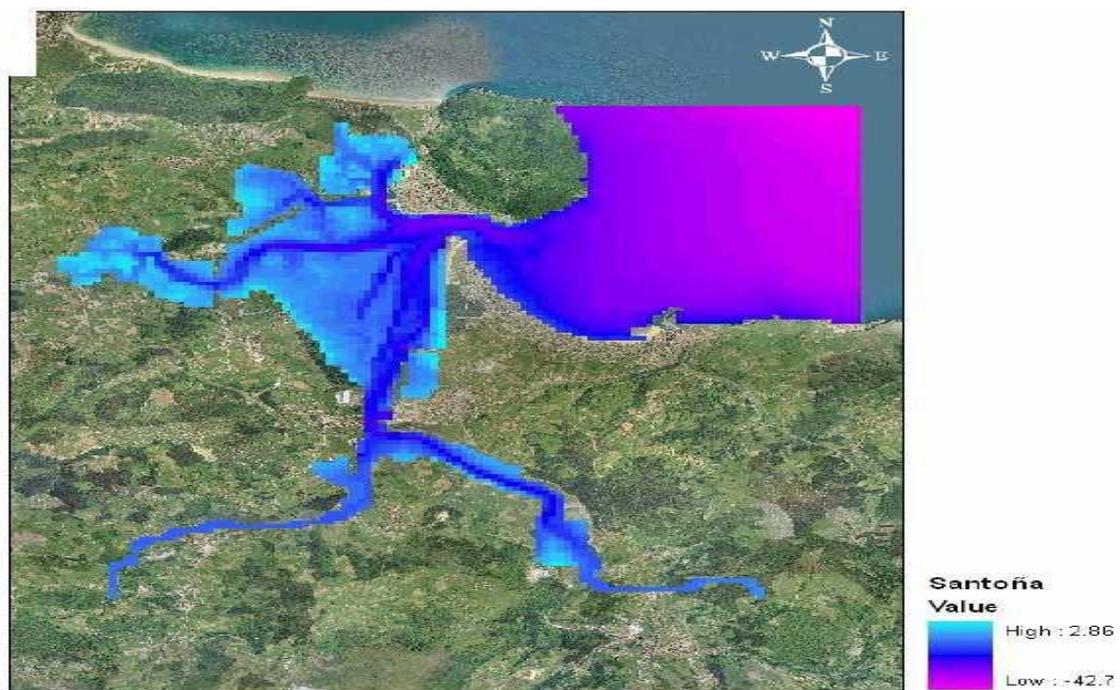


Ilustración 29. Batimetría Marismas de Santoña. Fuente: PHD.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

En la ilustración 29 observamos la batimetría de las Marismas de Santoña, se obtuvo a partir de las cartas náuticas publicadas en el Instituto Hidrográfico de la Marina números 940 y 941. En su zona exterior presenta profundidades en torno a los 35 m, mientras que en el interior de las marismas las profundidades registradas se encuentran en su gran mayoría entre 0 y 5 m. En ella podemos diferenciar claramente el canal principal de la marisma en azul oscuro y en azul claro la zona intermareal, en cuanto a la zona con color rosado se trata de las zonas más profundas que se dan en la conexión de la marisma con el mar y en el mar abierto como es lógico.

En la ilustración 28 podemos observar la delimitación mínima que queda en la marisma en color azul que sería cuando se produce la bajamar y en rojo podemos ver el límite superior del estuario en pleamar.

Estas marismas constituyen el conjunto de zonas húmedas más importantes para las aves acuáticas del norte de la península Ibérica, siendo fundamentales para la invernada y la migración de numerosas especies. La Reserva natural incluye también encinares, matorrales, praderías, pastizales, playas y dunas.

Además, en el estuario del Asón crían especies pesqueras de gran interés comercial como lubinas, salmonetes, dorada, lenguado y anguila, además del salmón atlántico, siendo también un importante lugar de marisqueo. Destaca asimismo el desarrollo de la industria conservera, especialmente del bocarte y el bonito, que ha determinado la actividad pesquera y económica de esta zona.

Puntuación

Tabla 17. Puntuación de la ubicación 1. EP.

Factores	Puntuación
Batimetría	3
Caudal medio anual	3
Espacio disponible	1
Tráfico marítimo	4
Impacto ambiental	5x2=10
Límite bajamar	2
Puntuación Total	23

Como podemos observar en la tabla 17, el gran problema de la ubicación 1 sería el impacto ambiental causado con una valoración de 5 (la peor), esto es una gran penalización ya que tiene un peso mayor que los demás factores, como vimos anteriormente este lugar es un espacio natural protegido con mucha variedad de especies, por lo que cualquier cambio podría provocar un gran impacto en la zona. Otro de los inconvenientes es el tráfico marítimo ya que hay dos puertos en sus aguas y podría complicar la instalación de un dispositivo mareomotriz y es una zona de pesca habitual.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.2.2 Ubicación 2: Ría de Tina Menor

La ría de Tina Menor se encuentra en la zona occidental de Cantabria, como podemos observar en la ilustración 30. Dentro de los estuarios cántabros puede considerarse de tamaño medio, con una superficie de 155 ha y un perímetro de 17 Km. Del total de su extensión, el 60% está representado por ambientes intermareales, concentrados, fundamentalmente, en su tramo medio.

El aporte más importante de agua dulce es el del río Nansa, que tiene un caudal medio anual de 11.3 m³/s.

Prácticamente la totalidad del estuario se incluye en el Lugar de Importancia Comunitaria “Rías Occidentales y Dunas de Oyambre”.

El fondo de la ría es estrecho, dominado por la influencia fluvial. Según se avanza hacia el mar se encuentran páramos intermareales cada vez más amplios con vegetación perimetral típica de las marismas. La ría se abre al mar entre dos montes escarpados. También al este aparece una zona limitada por diques que regulan el paso de la marea a unas lagunas utilizadas por una piscifactoría.

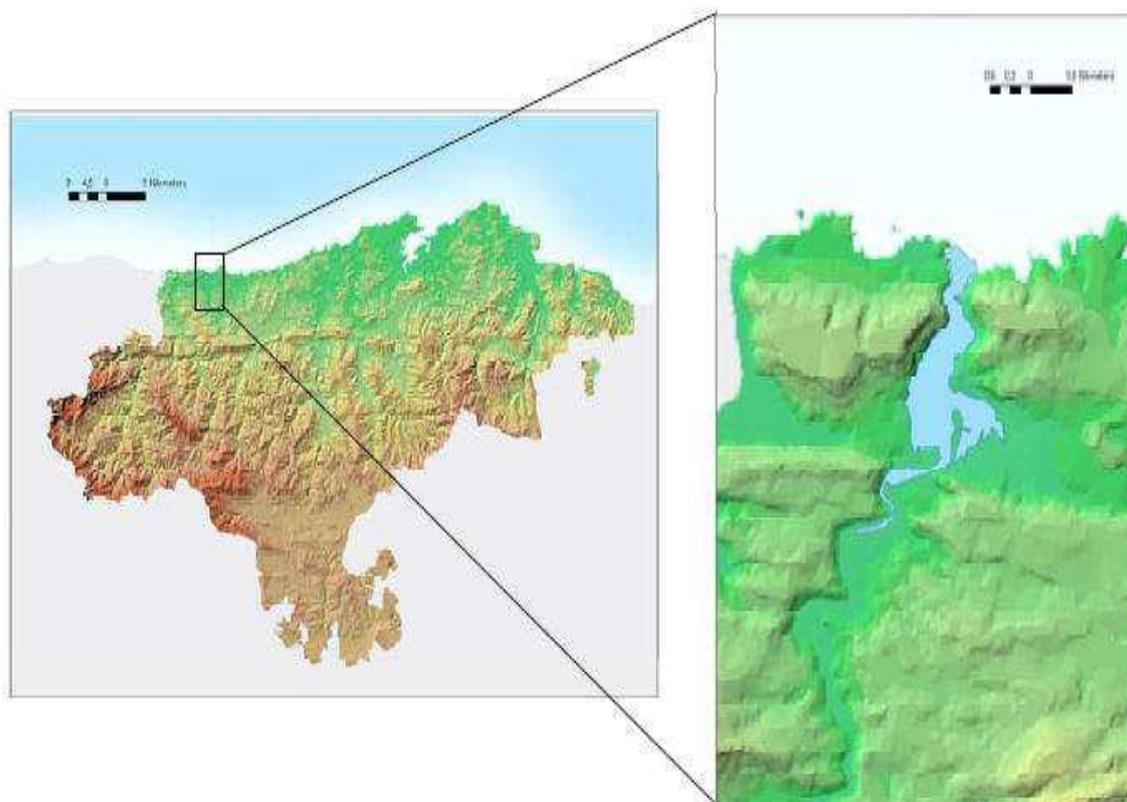


Ilustración 30. Localización de la Ría de Tina Menor. Fuente: PHD.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

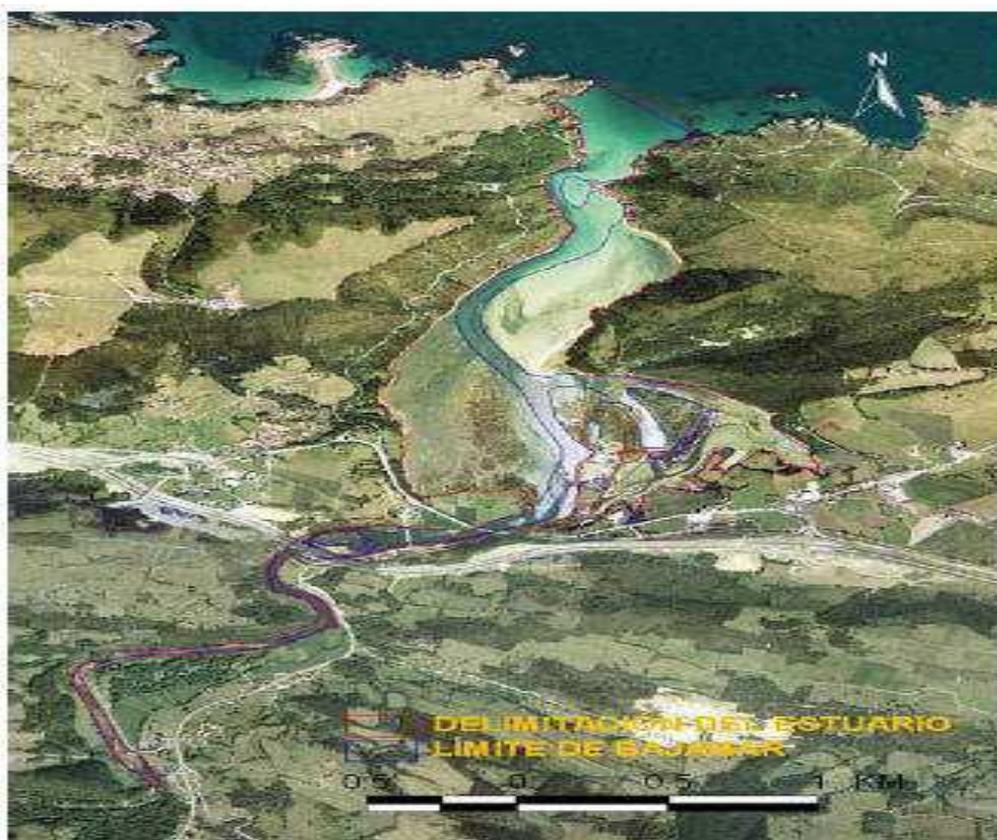


Ilustración 31. Delimitación de la Ría de Tina Menor en rojo y límite de bajamar en azul. Fuente: PHD.

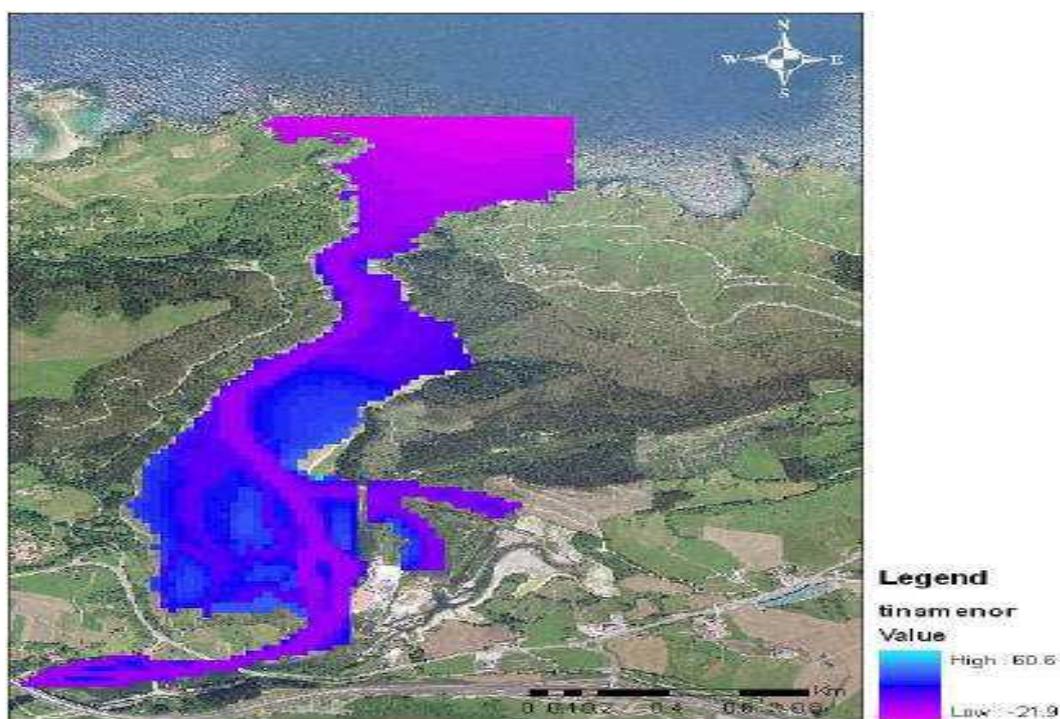


Ilustración 32. Batimetría Ría de Tina Menor. Fuente: PHD.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

En la ilustración 32 podemos observar la batimetría de la Ría de Tina Menor, se ha generado a partir de la carta náutica nº 938 desarrollada por el Instituto Hidrográfico de la Marina. La zona exterior alcanza profundidades de hasta 20 metros. En cuanto a la región interior de la ría, se registran valores 1 metro de profundidad en las zonas intermareales y en torno a 4 metros en la canal. En ella podemos diferenciar claramente el canal principal de la ría en un tono morado y en azul oscuro la zona intermareal, en cuanto a la zona con color rosa se trata de las zonas más profundas que se dan en la conexión de la ría con el mar.

En la ilustración 31 podemos ver el límite de la ría en bajamar en color azul y en rojo el límite de pleamar, el canal central que queda en bajamar es muy estrecho siendo de los escenarios escogidos el más pequeño por extensión además de el que menos caudal lleva hasta el mar.

Puntuación

Tabla 18. Puntuación de la ubicación 2. EP.

Factores	Puntuación
Batimetría	4
Caudal medio anual	4
Espacio disponible	4
Tráfico marítimo	1
Impacto ambiental	4x2=8
Limite bajamar	4
Puntuación Total	25

Como podemos observar en la tabla 18, esta ubicación tiene valores muy bajos para casi todos los factores excepto para el tráfico marítimo ya que no dispone de puertos en la zona.

Como pasa en la ubicación 1 el gran problema es que la ría también es un espacio natural protegido, y por lo tanto también podría causar un gran impacto cualquier alteración en la zona. También es una zona bastante estrecha y poco profunda quedando en régimen de bajamar solo un pequeño canal central, por lo que obtiene malas puntuaciones en el resto de factores.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.2.3 Ubicación 3: Ría de Suances

La ría de Suances o Ría de San Martín de la Arena, está situada en la zona central de la costa de Cantabria como podemos observar en la ilustración 33, se extiende en una superficie de 389 ha y tiene un perímetro de 34 km. Los páramos intermareales ocupan 291 ha, lo que representa un 75% del total del estuario. Su morfología y funcionalidad está condicionada por las estructuras artificiales que delimitan la canal de navegación que da acceso al puerto de Requejada.

Tiene importantes aportes de agua dulce, ya que constituye la desembocadura de la cuenca del Saja-Besaya, con un caudal medio anual de 24.2 m³/s, en régimen natural.

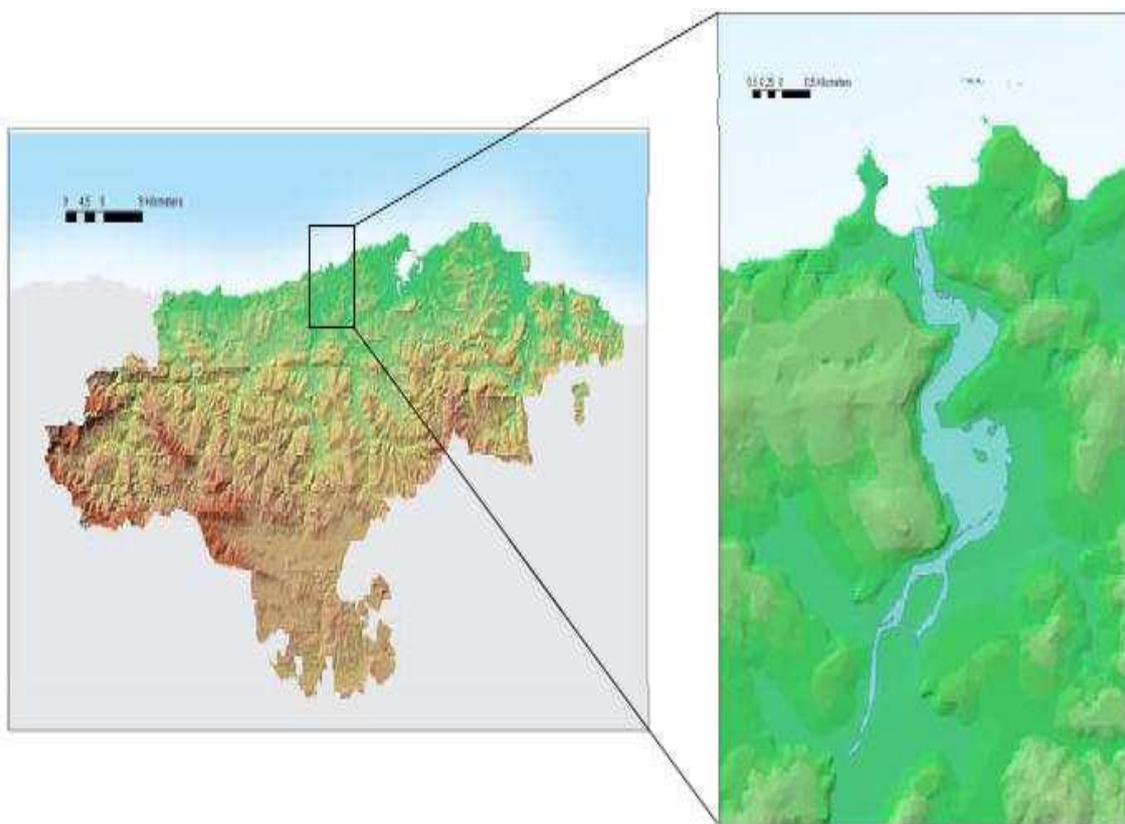


Ilustración 33. Localización de la Ría de Suances. Fuente: PHD.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

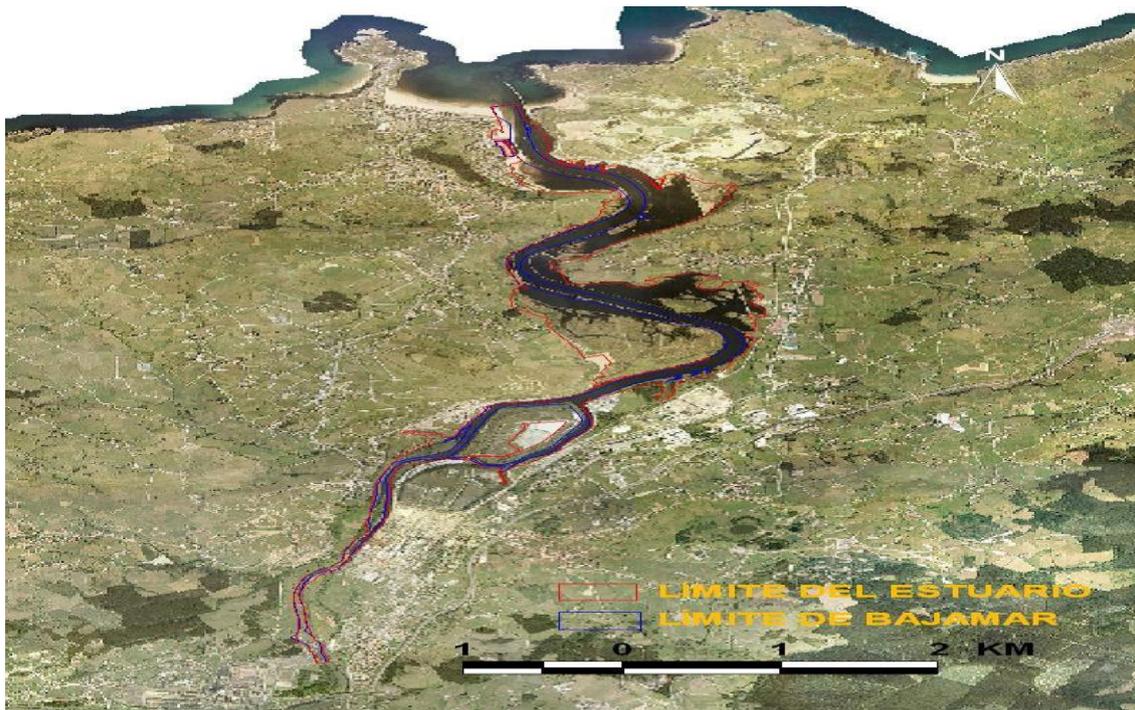


Ilustración 34. Ría de Suances y límite de bajamar en azul. Fuente: PHD.

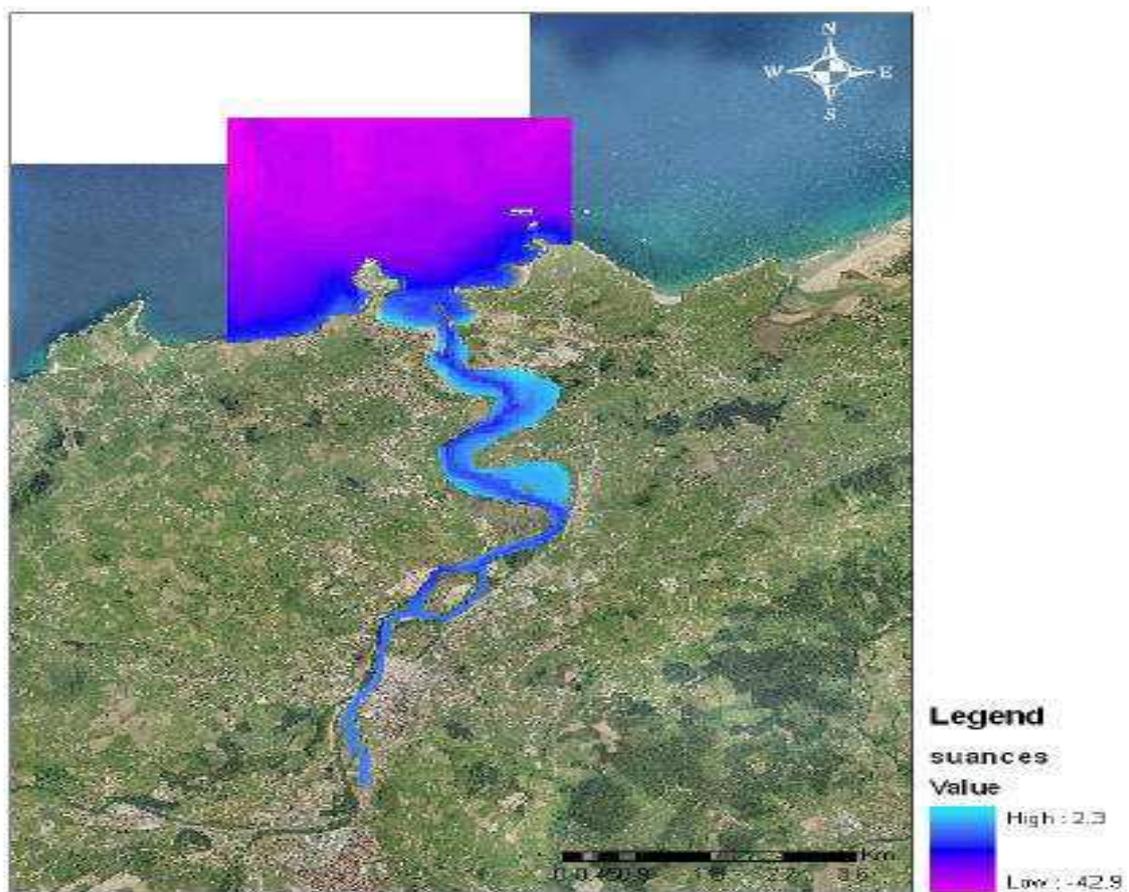


Ilustración 35. Batimetría Ría de Suances. Fuente: PHD.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

En la ilustración 35 podemos observar la batimetría de la Ría de Suances, se obtuvo a partir de las cartas náuticas nº939. En su zona exterior presenta profundidades en torno a los 45 m, mientras que en el interior de la ría las profundidades registradas se encuentran en su gran mayoría entre 0 y 5. En ella podemos diferenciar claramente este canal central en un color azul oscuro, mientras que las zonas intermareales están en un azul claro y en un tono morado estaría el mar abierto que lógicamente, es la parte más profunda de la batimetría.

En la ilustración 34 podemos observar el límite de bajamar en azul y el límite de la pleamar en rojo, el canal principal donde se alcanzan hasta 7m de profundidad este hecho artificialmente en mucho de su recorrido por diques, ya que en esta ría se encuentran el puerto de Requejada en su parte interna y cerca de la unión de la ría con el mar el puerto de Suances.

Se trata de un estuario con grandes superficies intermareales además de ser el que más agua dulce recibe de los ríos Saja y Besaya, que son muy caudalosos, por eso depende bastante de la aportación de estos dos ríos, por lo tanto, en verano su caudal disminuye y el estuario tendría menos agua.

Puntuación

Tabla 19. Puntuación de la ubicación 3. EP.

Factores	Puntuación
Batimetría	2
Caudal medio anual	1
Espacio disponible	3
Tráfico marítimo	3
Impacto ambiental	2x2=4
Limite bajamar	3
Puntuación Total	16

Como podemos observar en la tabla 19, esta ubicación obtiene buenas puntuaciones final esto es debido principalmente a que el impacto ambiental producido en la zona es bastante mínimo, ya que no se trata de una zona protegida y la zona está bastante perjudicada por la industria.

En la ubicación hay situados dos puertos, el puerto deportivo de Suances y el puerto de Requejada actualmente en desuso. En la batimetría y caudal obtiene una buena nota debido principalmente a que los dos ríos que lo forman son bastante caudalosos y profundos.

En cuanto al espacio y el límite de bajamar queda el canal central, pero es bastante amplio y tiene a los laterales varias zonas intermareales.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.2.4 Ubicación 4: Bahía de Santander

La Bahía de Santander es el mayor estuario de Cantabria y del norte de España, como observamos en la ilustración 36 está situado en la zona central de la costa cántabra, con una superficie de 2346 ha y un perímetro de 90 Km. Su morfología y funcionalidad están condicionadas por los rellenos en la margen oeste de la ciudad y los dragados que se efectúan periódicamente para mantener la canal de navegación. Su espacio intermareal representa el 67% del área total de la bahía (1573 ha) y se concentra principalmente en los páramos de la margen derecha.

El principal aporte de agua dulce procede del río Miera, que desemboca en la margen derecha de la Bahía, en lo que se conoce como la ría de Cubas. Este río tiene un caudal medio anual de 8.2 m³/s. La Bahía de Santander recibe también los aportes de otros ríos de menor entidad, a través de las rías de Boo, Solía y Tijero, localizadas en su zona más interna.

La zona de la bahía correspondiente a la ría de Cubas está protegida al formar parte del “Lugar de Importancia Comunitaria Dunas del Puntal y Estuario del Miera”.

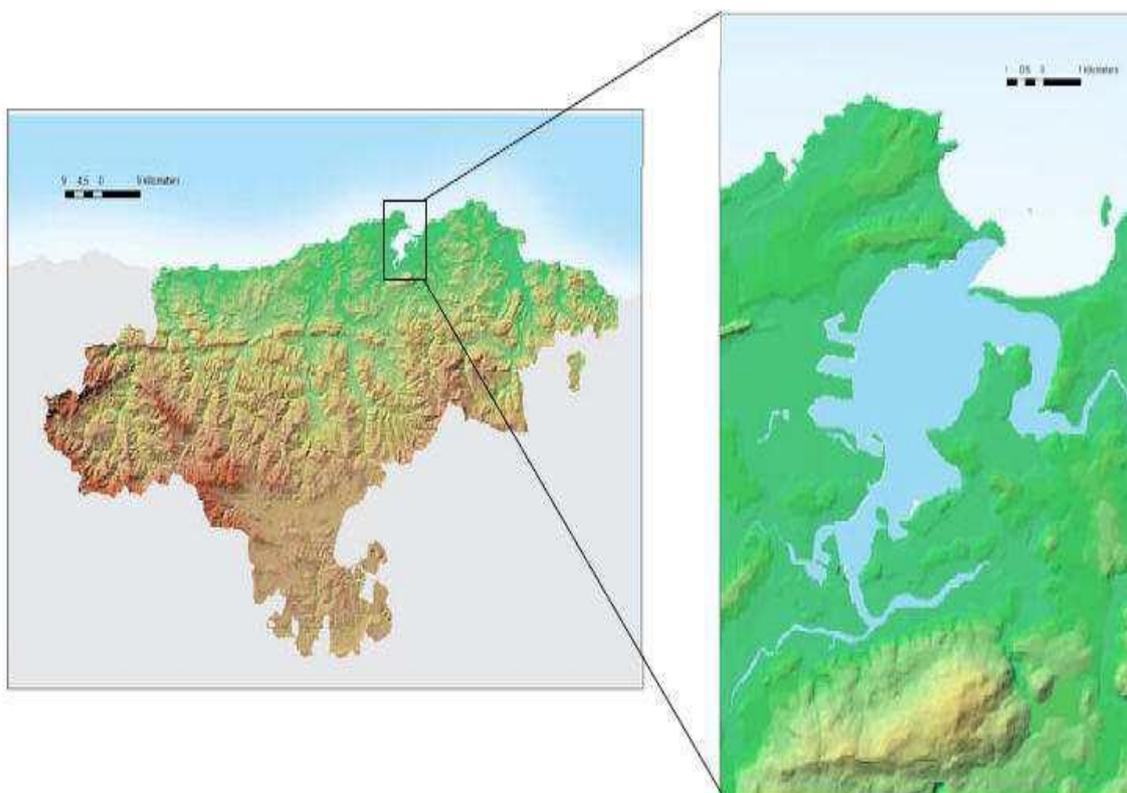


Ilustración 36. Localización Bahía de Santander. Fuente: PHD.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA



Ilustración 37. Delimitación de la Bahía de Santander en rojo y límite de bajamar en azul. Fuente: PHD.

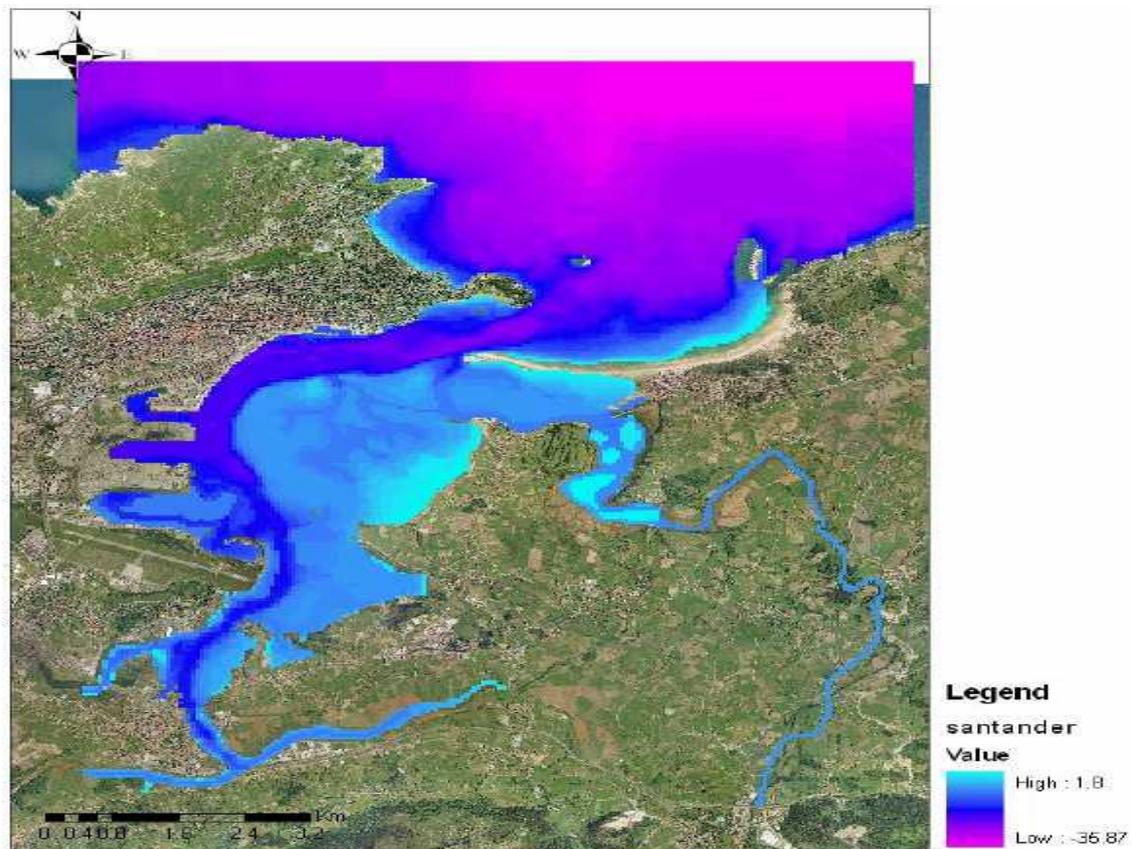


Ilustración 38. Batimetría Bahía de Santander. Fuente: PHD.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

En la ilustración 38 podemos observar la batimetría de la Bahía de Santander, se obtiene a partir de las cartas náuticas número 660, 663 A y 940 del Instituto Hidrográfico de la Marina. El interior de la Bahía se caracteriza por una margen derecha muy somera con profundidades menores a los 5 metros, la podemos ver en color azul claro, estos puntos serían las zonas intermareales. Sin embargo, en la margen izquierda, donde se ubican la canal de navegación y las dársenas portuarias en color azul oscuro, las profundidades son más elevadas, debido a que se realizan dragados periódicamente por la acumulación de sedimentos, aproximadamente entre 10 y 15 metros. En la zona exterior no se superan los 35 metros de profundidad en color morado.

Como vemos en la ilustración 37, en azul tendríamos los regímenes en bajamar y en color rojo en pleamar, vemos todo lo que queda fuera del canal principal sería la zona intermareal que es bastante amplia, el canal es amplio en su unión con el mar, pero se va estrechando hasta el interior de la bahía.

Puntuación

Tabla 20. Puntuación de la ubicación 4. EP.

Factores	Puntuación
Batimetría	1
Caudal medio anual	2
Espacio disponible	1
Tráfico marítimo	5
Impacto ambiental	3x2=6
Limite bajamar	1
Puntuación Total	16

Como observamos en la tabla 20, el gran problema de esta ubicación sería el tráfico marítimo ya que tiene varios puertos deportivos como de transporte, también tiene el problema de impacto ambiental, aunque en menor medida que otras ubicaciones, se trata de la zona de la desembocadura del río cubas en la parte derecha de la bahía, pero al tratarse de una zona muy amplia podemos estudiar varias ubicaciones dentro de la propia bahía.

En cuanto a la batimetría tiene zonas muy profundas en la zona del canal central ya que lo dragan periódicamente para la entrada de grandes barcos quedando un canal muy amplio en toda la ubicación.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.2.5 Ubicación 5: Ría de Mogro

La ría de Mogro o estuario del Pas está situado en la zona central de la costa de Cantabria, como observamos en la ilustración 39, con 25 Km de perímetro tiene una superficie de 228 ha. Su área intermareal representa aproximadamente el 62% del estuario, localizándose la mayor parte de su ambiente intermareal en la zona más externa de su margen izquierda.

El río Pas es su principal aporte de agua dulce, presentando un caudal anual medio de 16 m³/s.

El estuario del Pas forma parte del Lugar de Importancia Comunitaria denominado “Dunas de Lienres y Estuario del Pas”. Asimismo, parte de su margen Este pertenece también al “Parque Natural Dunas de Lienres”.

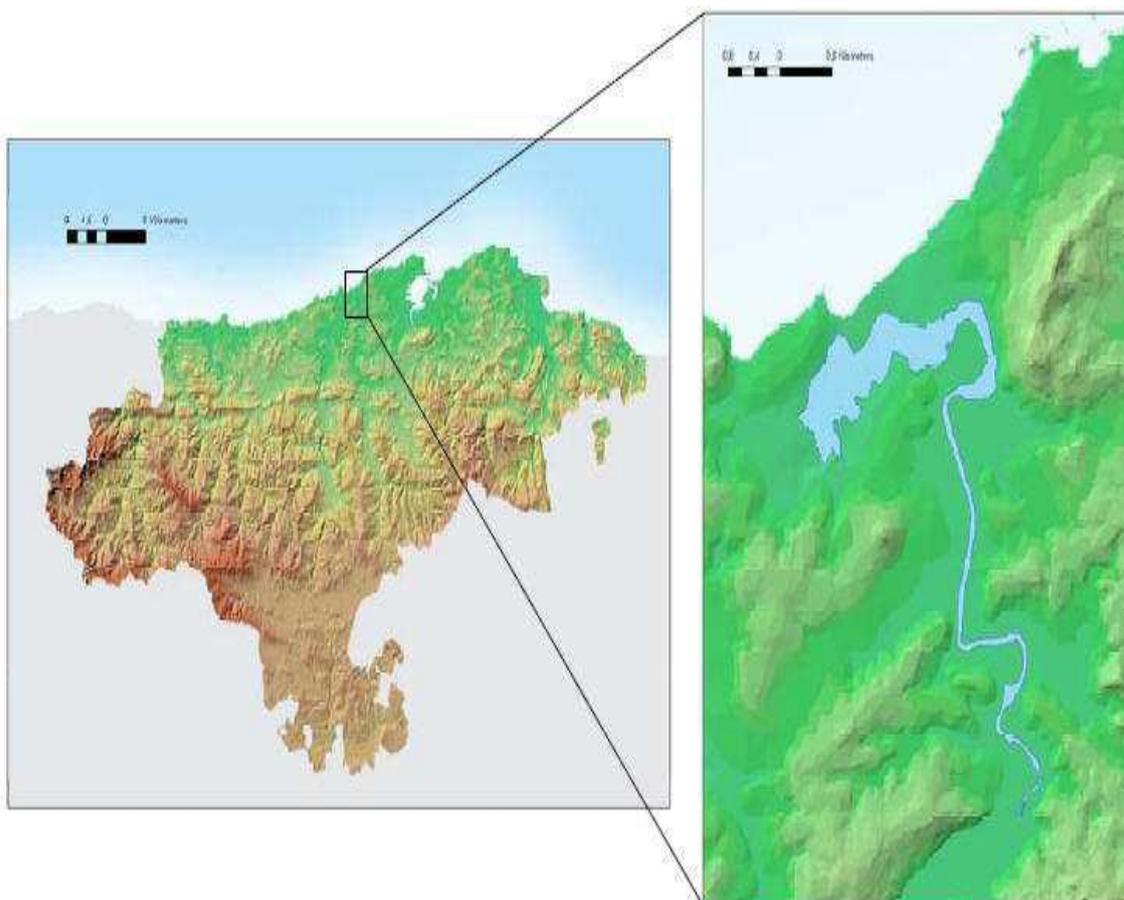


Ilustración 39. Localización Ría de Mogro. Fuente: PHD.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

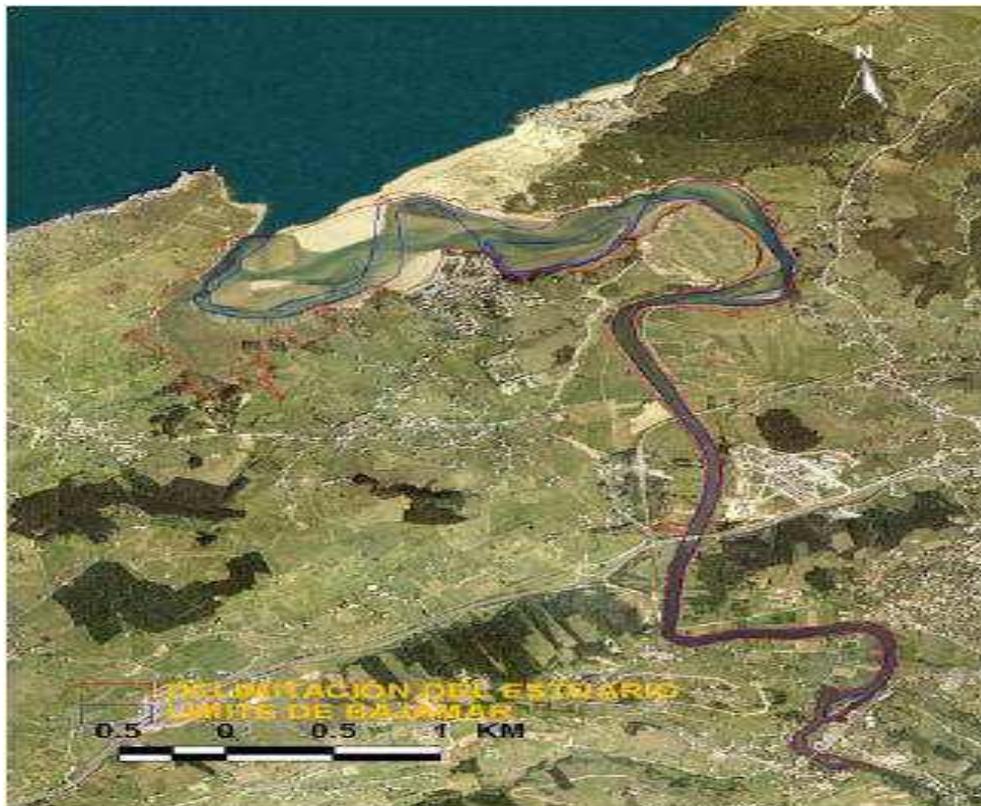


Ilustración 40. Delimitación de la Ría de Mogro en rojo y límite de bajamar en azul. Fuente: PHD.

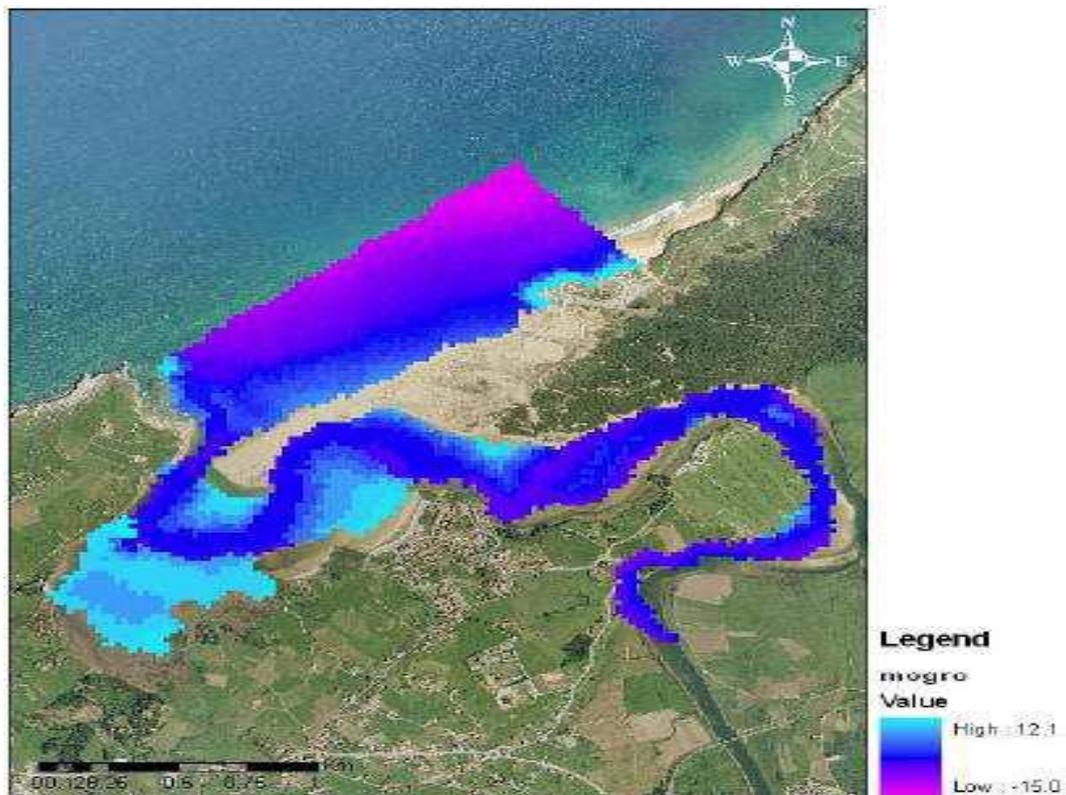


Ilustración 41. Batimetría Ría de Mogro. Fuente: PHD.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

En la figura 41 podemos observar la batimetría de Ría Mogro, se ha generado a partir de la carta náutica desarrollada por el Instituto Hidrográfico de la Marina nº939. Las profundidades máximas en la zona exterior llegan a 15 metros en color morado, mientras que la canal interna tiene una profundidad media de 3 metros como podemos apreciar en color azul oscuro, mientras que en azul claro podemos observar la zona intermareal en el margen izquierdo.

En la figura 40 podemos ver los límites en bajamar en color azul y en rojo los límites cuando se da la pleamar, como podemos observar salvo la parte final del estuario la línea de bajamar y pleamar coinciden, ya que se trata del estuario con menos zonas intermareales de los estudiados.

Puntuación

Tabla 21. Puntuación de la ubicación 5. EP.

Factores	Puntuación
Batimetría	5
Caudal medio anual	3
Espacio disponible	4
Tráfico marítimo	1
Impacto ambiental	4x2=8
Límite bajamar	4
Puntuación Total	25

Como observamos en la tabla 21, esta ubicación tiene varios problemas como es el impacto ambiental ya que es un espacio natural protegido, como son la batimetría espacio disponible y límite de bajamar, ya que se trata de una ría poco profunda y pequeña para la instalación de un dispositivo mareomotriz. En cuanto al tráfico marítimo es muy bueno ya que esta ubicación no tiene puertos.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

5.3.2.6 Conclusión

Tabla 22. Puntuación de todas las ubicaciones. EP.

Criterios	Ubicación 1	Ubicación 2	Ubicación 3	Ubicación 4	Ubicación 5
Batimetría	3	4	2	1	5
Caudal medio anual	3	4	1	2	3
Espacio disponible	1	4	3	1	4
Tráfico marítimo	4	1	3	5	1
Impacto ambiental	5x2=10	4x2=8	2x2=4	3x2=6	4x2=8
Limite bajamar	2	4	3	1	4
Puntuación Final	23	25	16	16	25

Como podemos observar en la tabla 22, tenemos las puntuaciones totales de las 5 ubicaciones estudiadas según el método de ordenación simple, seleccionaremos la ubicación con la nota más baja, en este caso tenemos dos opciones empatadas con 16 puntos como las más idóneas para la instalación de una planta o un parque mareomotriz según los parámetros estudiados, se trata de la ubicación 3 (ría de Suances) y la ubicación 4 (Bahía de Santander).

El resto de ubicaciones se quedan lejos de estas puntuaciones, por lo que quedarían descartadas, debido principalmente por pertenecer a espacios naturales protegidos que como dijimos anteriormente el impacto ambiental producido tiene más penalización que las demás características analizadas, y por lo tanto la colocación de uno de estos dispositivos mareomotrices supondría una gran alteración en el estuario y sus alrededores, sobretodo en el caso de la presa de marea ya que su principal inconveniente es su gran impacto ambiental.

Por lo que analizaremos más detenidamente las características de interés de las ubicaciones seleccionadas, como velocidades de corriente, batimetrías más exhaustivas, impactos ambientales, niveles de agua en bajamar, tráfico marítimo etc., todo ello constatado con documentación más exhaustiva y precisa.

Una vez comparemos los resultados de ambos lugares, seleccionaremos las ubicaciones más adecuadas dentro de los dos lugares escogidos, analizando la tecnología más adecuada en cada caso y por ultimo seleccionando un lugar definitivo donde diseñaremos nuestra planta o parque mareomotriz.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.3 Descripción y análisis ubicaciones seleccionadas

A continuación, describiremos detenidamente las dos ubicaciones seleccionados en la costa de Cantabria, sus ventajas e inconvenientes, lugares más adecuados para la instalación de un dispositivo de energética mareomotriz dentro del propio terreno de estudio, estudiando cada una de las características de interés en el terreno en general, y después nos quedaremos con los lugares más propicios para cada una de las tecnologías, tanto de presa de marea como de generadores de corriente.



Ilustración 42. Ubicación Ría de Suances y Bahía de Santander. Fuente: Mapas Cantabria.

En la ilustración 42, podemos observar la ubicación de las dos zonas a estudiar, a la izquierda Ría de Suances y a la derecha Bahía de Santander, se sitúan en la zona central de la costa de Cantabria y distan entre sí apenas unos 17 Km de distancia, esto es normal ya que la comunidad autónoma de Cantabria es bastante pequeña y apenas tiene 100 Km de una punta de la costa a otra y los estuarios están bastante cercanos entre sí.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.3.1 Ría de Suances

5.3.3.1.1 Introducción

La Ría de San Martín de la Arena o ría de Suances, es un estuario somero meso mareal (mareas entre 2 m y 5 m), ubicado en el norte de España, como vemos en la ilustración 43. Tiene 5.5 km de largo, 150 m de anchura media, se extiende en una superficie de 389 ha y tiene un perímetro de 34 km. Los páramos intermareales ocupan 291 ha, lo que representa un 75% del total del estuario.

La ría está formada por el río Saja y Besaya dos de los ríos más caudalosos de Cantabria llegando a ser la cuenca hidrográfica más extensa (1050Km²), con la mayor cuenca de aportación (800Hm³), y por lo tanto la que más caudal medio anual de agua dulce recibe 24,2 m³/s.

Estos dos grandes ríos convergen en la ciudad de Torrelavega realizando juntos un recorrido de 13Km hasta la desembocadura en el mar Cantábrico. La parte que es considerada ría, es decir, que está afectada por las mareas está situada entre varias poblaciones en su parte final o desembocadura como Suances y Cuchia, la parte central entre las poblaciones de Cortiguera y Cudón, y su parte inicial está entre las poblaciones de Hinojedo y Requejada.

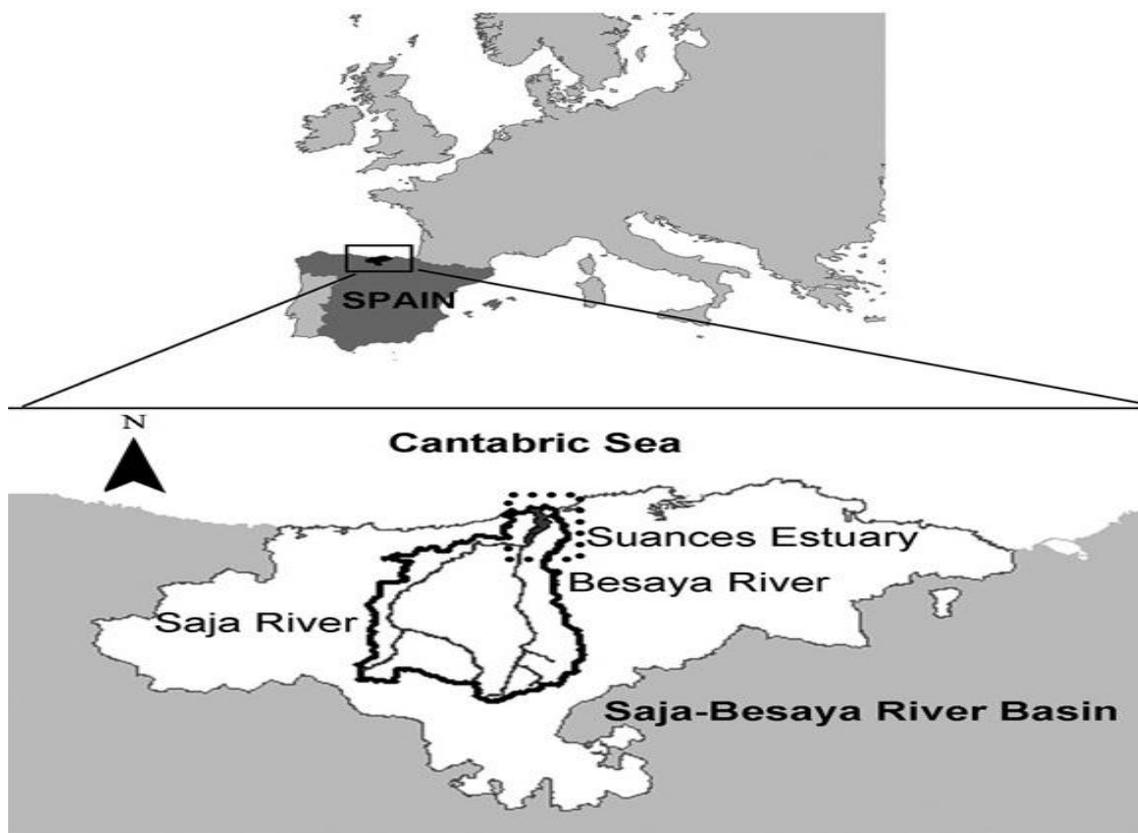


Ilustración 43. Localización Ría de Suances. Fuente: Scopus.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

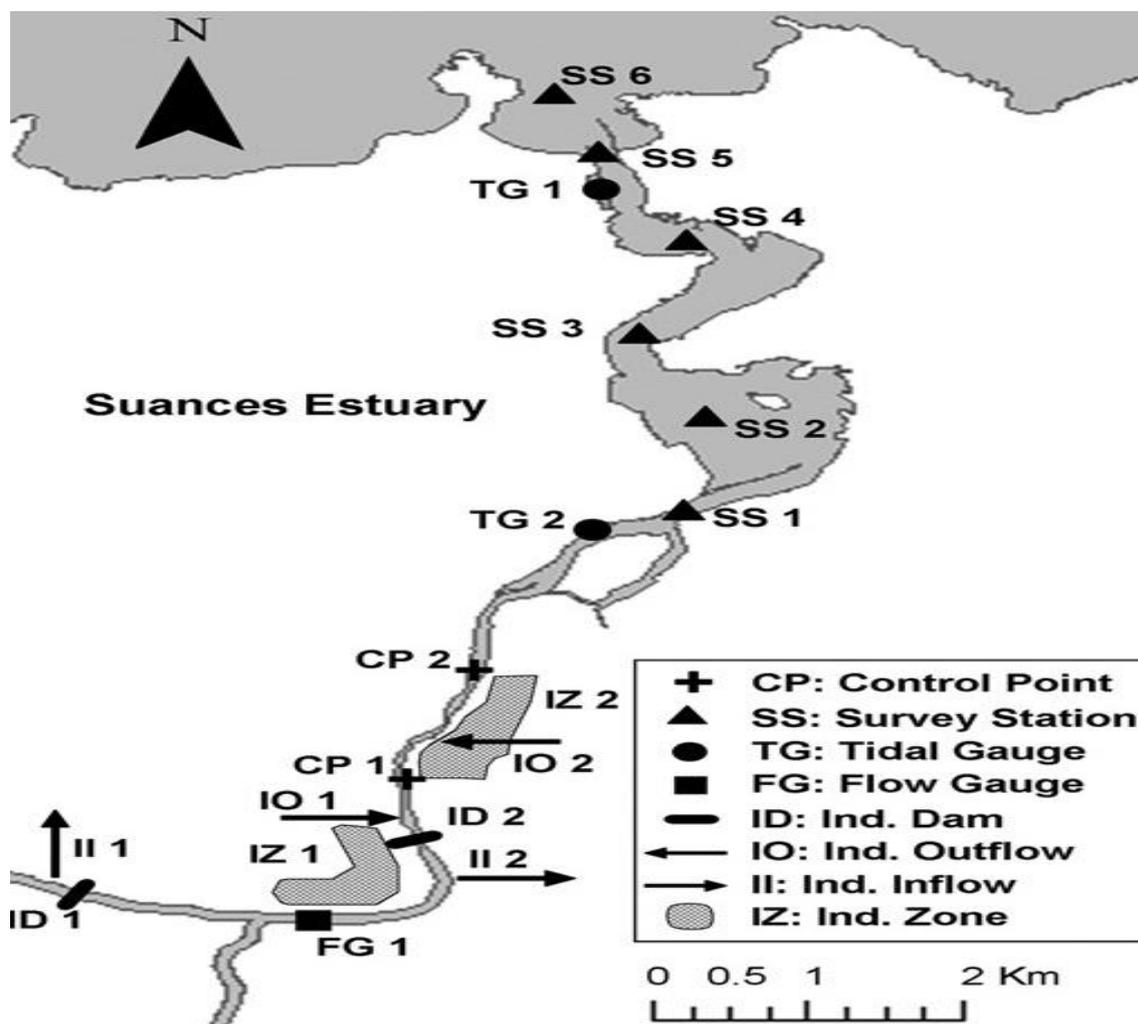


Ilustración 44. Estuario de Suances con diferentes datos de interés. Fuente: Scopus.

En la ilustración 44 vemos una imagen muy interesante sobre los diferentes puntos de control y de seguimiento del estuario de Suances, que utilizaremos para datar algunas de las características más importantes de nuestro estudio sobre esta ubicación.

Podemos observar las principales zonas industriales (IZ1, IZ2) de la zona y donde cogen el flujo de agua (II1, II2), así como el lugar donde son devueltas (IO1, IO2), también tenemos las principales presas que es de donde dichas industrias cogen el agua (ID1, ID2), medidor de flujo o caudal de agua (FG1), medidor de la amplitud de marea (TG1, TG2), estaciones de estudio que proporcionan multitud de datos (SS1, SS2, SS3, SS4, SS5, SS6), y por último puntos de control (CP1, CP2).

El estudio del estuario y de las características más importantes lo acotaremos desde la Estación de Estudio 1 (SS1) hasta la desembocadura en el mar (SS6), ya que aguas arriba de SS1 tenemos el problema de la industria y el caudal del río se verá afectado, además de que cuanto más nos alejemos de la desembocadura tendremos una menor influencia de las mareas.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.3.1.2 Batimetría

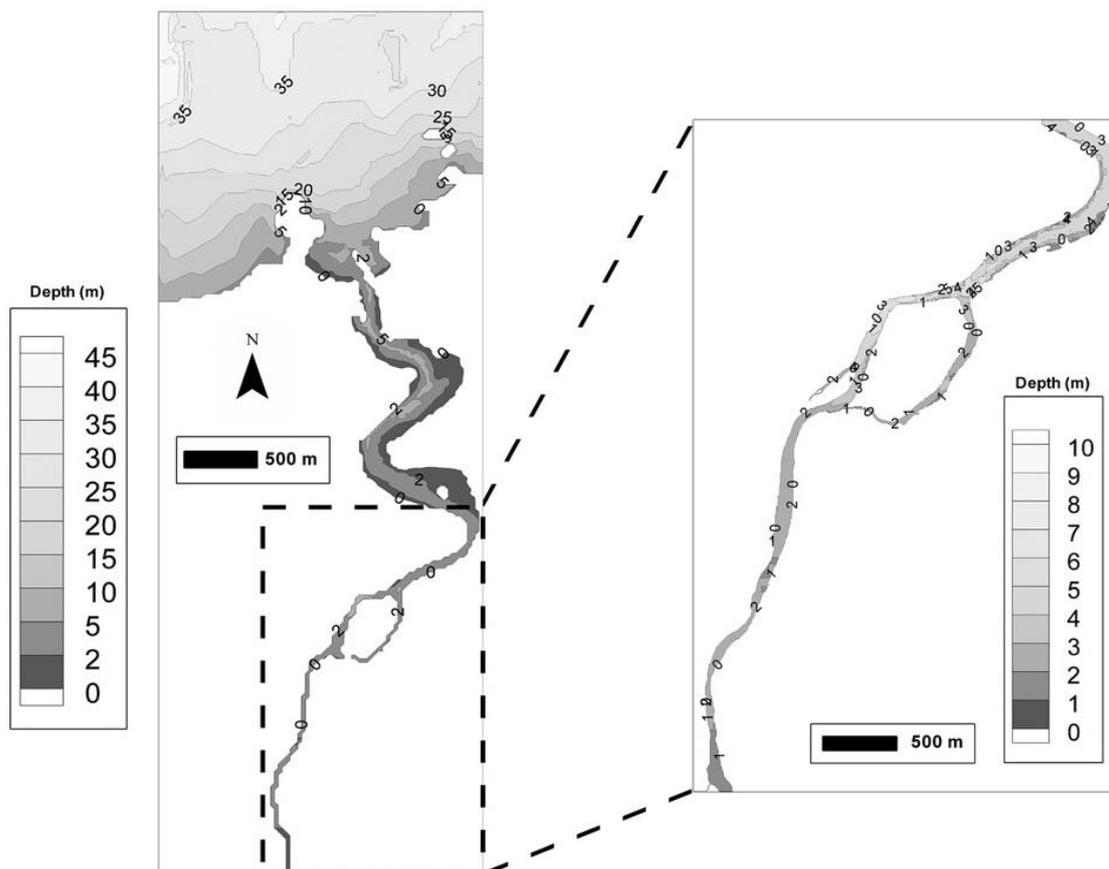


Ilustración 45. Batimetría Ría de Suances. Fuente: Scopus.

En la ilustración 45, tenemos la batimetría de la Ría de Suances, como podemos ver las profundidades más grandes se encuentran en el canal principal y son mayores cuanto más nos acercamos a la desembocadura, variando entre 1 m (cabeza) y 8 m (boca), siendo mínima en las zonas intermareales como vemos en un color más oscuro.

Por otra parte, la profundidad más profunda dentro de la malla fina es de 7 m (debajo del mar medio) en un muelle industrial situado en la estación de estudio SS1 (Puerto de Requejada) y la profundidad más superficial es de 2,8 m (por encima del nivel medio del mar) situado aguas arriba del TG2 a la izquierda, como dijimos anteriormente arriba de SS1 la profundidad es demasiado escasa.

Uno de los problemas de la batimetría es que en verano y con la marea baja solo transportaría agua el canal central, como vemos en la ilustración 47, la profundidad oscilaría más o menos sobre unos 3 metros.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

5.3.3.1.3 Caudal medio anual

La entrada principal de agua dulce al sistema proviene de dos ríos similares que drenan cuencas relativamente pequeñas, el Saja y el Besaya, que ocupa una zona de captación de 966,67 km² con un perímetro de 166,27 km. El flujo de agua dulce, en condiciones naturales, varía de aproximadamente 1 a 600 m³/s, con flujos típicos en el rango de 7-24 m³/s.

Estas cuencas convergen en el pueblo de Torrelavega (56,000 habitantes). Después la confluencia del río Saja y el río Besaya, un pequeño río tramo (1890 m) fluye hasta la presa industrial 2 (ID2), que delimita el final de la influencia de las mareas en la cuenca del río.

La superficie relativamente pequeña, corta y empinada de estos dos ríos hace conducir a una respuesta hidrológica rápida a la lluvia entre 15.91 y 20.76 h y, en consecuencia, una alta variabilidad en el caudal del río.

Durante el siglo pasado, esta zona se ha visto afectada por grandes desarrollos industriales, esto se muestra en la ilustración 44 las zonas industriales 1 (IZ1) y 2 (IZ2). Ambas industrias modifican la cuenca hidrología del río debido a su agua de refrigeración, agua procesada y requisitos de aguas residuales. Extraen agua en Entrada Industrial 1 (II1) y 2 (II2) y descarga las aguas residuales en Salida Industrial 1 (IO1) y 2 (IO2). II1, II2, IO1 e IO2 son 1.15, 1, 0.9 y 0.35 m³/s respectivamente. Además, vale la pena señalar que el depósito de Alsa-Torina descarga alrededor de 10 millones de cubos metros para equilibrar los retiros industriales durante el verano y períodos de sequía, ya que sino en verano con las bajas precipitaciones, las altas temperaturas y la salida de agua para la industria su caudal se vería gravemente afectado.

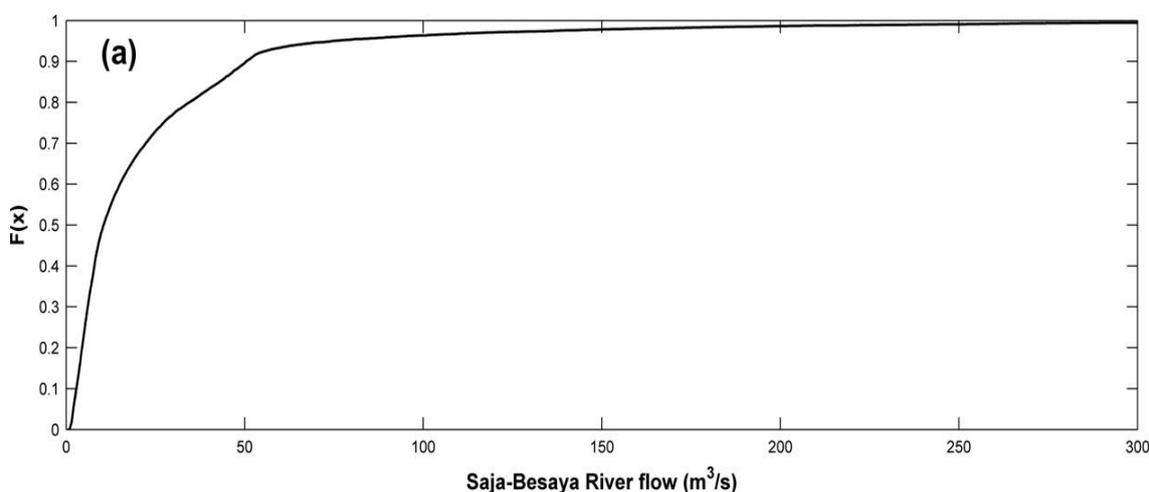


Ilustración 46. Percentiles de los caudales del río Saja-Besaya. Fuente: Google Imágenes.

Como observamos en la ilustración 46, los percentiles 25, 50, 75 y 90 son 5.5, 11, 26 y 50 m³/s, respectivamente. Como resultado, concluimos que el flujo mediano del río es de 11 m³/s y los flujos más típicos del río varían entre los rangos 5.5 y 26 m³/s. Además, es importante señalar que el caudal del río es prácticamente cero 3% de tiempo debido a los problemas mencionados anteriormente, y también debido a que el caudal en verano es menor.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.3.1.4 Espacio disponible

Se trata de una ría bastante grande en extensión, ya que abarca 389 ha, la gran mayoría de su extensión está compuesta por zonas intermareales un 75% del total unas 291 ha.

A lo largo de su recorrido desde la estación SS1 (ilustración 44) hasta la desembocadura el canal central tiene unos 150 m de ancho cuando la marea está baja, cuando la marea sube e inunda las zonas intermareales puede haber hasta 800m de ancho de una orilla a otra.



Ilustración 47. Límites Ría de Suances. Fuente: Mapas Cantabria.

En la ilustración 47, vemos el transcurso de la ría, que como podemos apreciar es solo el canal central por lo tanto estaríamos en marea baja o bajamar, en color azul observamos las zonas máximas inundables de forma natural, que como podemos observar son bastante amplias alcanzando en la zona máxima en la parte de abajo hasta 1500m de anchura.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.3.1.5 Tráfico marítimo



Ilustración 48. Puertos situados en la Ría de Suances. Fuente: Mapas Cantabria.

En la ilustración 48 podemos observar muy claramente el canal central de las zonas intermareales de la ría ya que el canal está hecho de forma artificial por diques de escollera y muros, para tener suficiente calado y que los barcos pudieran navegar a través de toda la ría sin problemas de quedar encallados.

Los cuadros amarillos nos marcan la situación de los dos puertos que se encuentran en la ría, el de abajo se trata del Puerto de Requejada, está situado a unos 6Km de la desembocadura. El puerto no opera desde el año dos mil ocho, cuando la Capitanía Marítima de Cantabria dejó de sellar despachos, por considerar a este puerto poco seguro, debido a la acumulación de arena y piedras en el fondo, en 2007 se quedó callado un buque de 4,2m de calado en la desembocadura de la ría, en la actualidad hay dos dragas situadas en dicho lugar, ya que partían buques de tamaño medio con material proveniente de las empresas de la zona.

Y es que este es uno de los principales problemas de la ría, dado que las cuencas del Saja y Besaya presentan fuertes desniveles que imprimen a los cursos un marcado carácter torrencial y una gran capacidad de modelado: muy erosivos en sus cursos altos, estos ríos acarrearán durante las crecidas un gran volumen de sedimentos que abandonan al llegar a la desembocadura y perder capacidad de transporte.

El cuadro de arriba nos sitúa el puerto deportivo de Suances situado muy cerca de la desembocadura, en este puerto hay embarcaciones pequeñas tanto recreativas como de pescadores de la zona.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

5.3.3.1.6 Impacto ambiental

En la zona de estudio, no existen espacios naturales protegidos o de Importancia Comunitaria (LIC) ni Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), así como tampoco espacios naturales protegidos de carácter nacional o autonómico. Hay algunos hábitats de interés comunitario a lo largo de la zona intermareal de la ría, tratándose en su mayoría de zonas cuyo grado de conservación no es el óptimo como consecuencia de las diferentes alteraciones originadas por la actividad humana que han sufrido.

Algunas de estas alteraciones son causadas por la recuperación de tierra, ya que ha reducido el área estuarina original en un 30%, mientras 50% del estuario está bordeado por diques (más de 13,000 m), lo que dramáticamente ha hecho modificar sus condiciones hidrodinámicas, especialmente desde 1878 con la construcción de un embarcadero en la desembocadura del estuario para instalaciones de transporte (Gobierno de Cantabria, 2005). Y también en gran medida la gran carga residual que soporta dicha ría de la gran cantidad de empresas que se sitúan aguas arriba, como vimos en la ilustración 44.

En cuanto a la vegetación, en la zona predominan principalmente la vegetación típica de las zonas intermareales el carrizal y el juncal. Y en cuanto a la fauna se ha visto bastante disminuida como dijimos anteriormente por las alteraciones ocasionadas por la mano del hombre, esto ha provocado que las especies que habitaban esta zona hayan migrado a otros lugares.

Estas especies podrían verse todavía más afectadas con la construcción de un dispositivo mareomotriz, ya sea un parque mareomotriz o una planta mareomotriz que como ya sabemos causa un mayor impacto.

Uno de los impactos más grandes que podrían darse en la zona es la instalación de una planta mareomotriz, causando el soterramiento del río e inundando zonas intermareales de la propia ría.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

5.3.3.1.7 Velocidades de la corriente

Como observamos en la ilustración 49, tenemos datos de las diferentes velocidades de la corriente que se dan en las estaciones de estudio (SS) que teníamos en la ilustración 44, para ellos se ha analizado la velocidad de corriente de 6 días, desde el 23 al 29 de enero de 1998. Aunque ya sabemos que dicha velocidad puede variar de unas épocas del año a otras, dependiendo de factores como el caudal que transporta la ría.

Para colocar un generador de corriente debemos tener una velocidad de corriente entre 1 y 1,5 m/s o superior como dijimos anteriormente, ya que, sino su colocación no resultara eficiente, vamos analizar cada una de las velocidades de las estaciones para ver cuál es el lugar más óptimo dentro de la ría.

Estaciones de estudio (SS):

- **SS1:** Es la estación más alejada de la desembocadura, situada en la cabeza de la ría, sus velocidades máximas no alcanzan 0,5 m/s.
- **SS2:** Esta estación está situada en la parte intermedia de la ría como podemos observar sus velocidades apenas alcanzan 0,5 m/s.
- **SS3:** Esta estación está situada en la parte intermedia de la ría, en uno de los estrechamientos, obtenemos velocidades de unos 0,5 m/s.
- **SS4:** Esta estación está situada en la parte final de la ría, tiene una velocidad de corriente un poco superior a SS3, pero bastante similar.
- **SS5:** Esta estación está situada en la boca de la ría, en la conexión de la ría con el mar, sus velocidades varían entre 0,5 y 1,5 m/s.
- **SS6:** Es la última estación se encuentre ya en el mar, aunque muy cerca de la desembocadura, sus velocidades son muy bajas entre 0,1 y 0,2 m/s.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

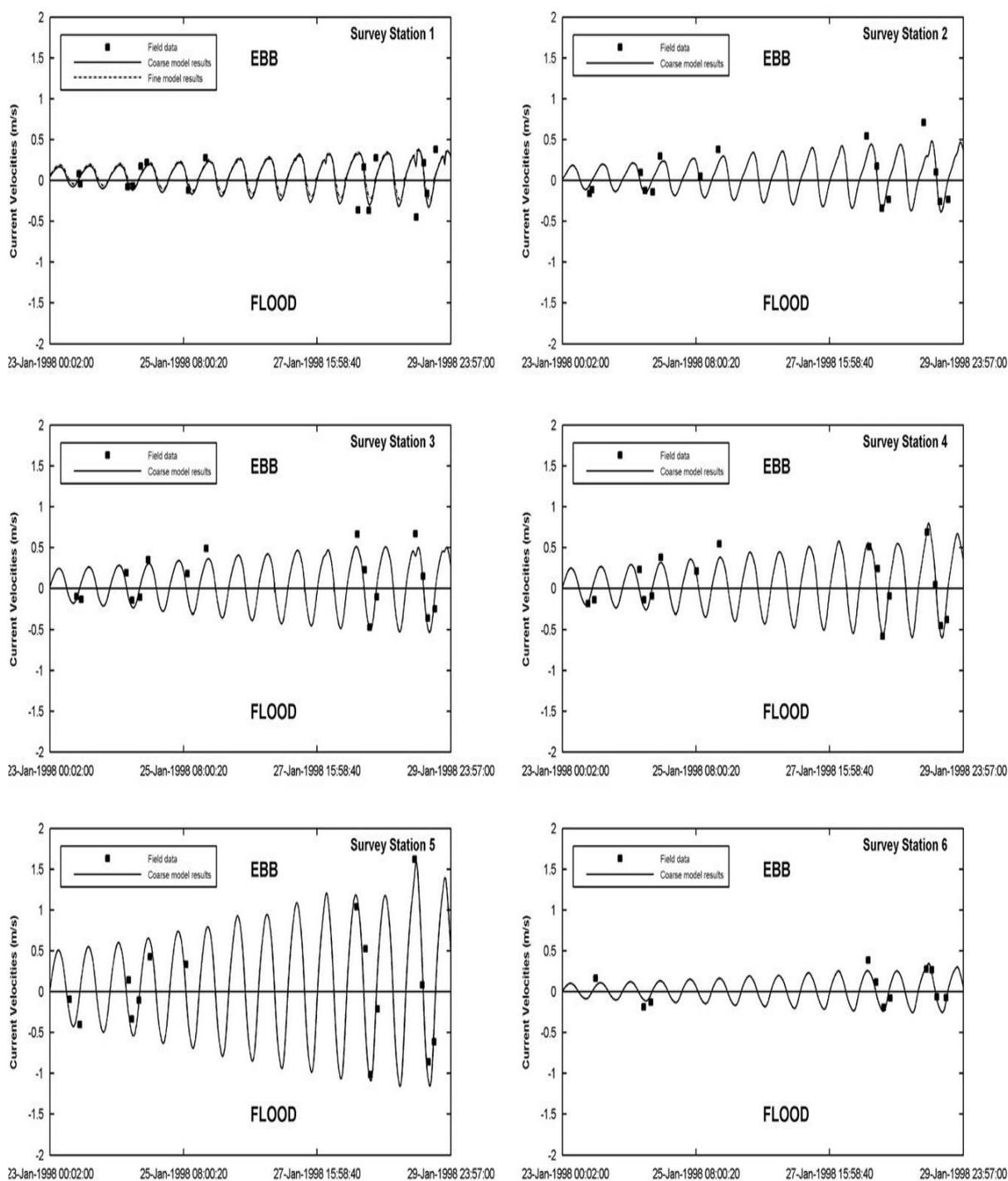


Ilustración 49. Diferentes velocidades de la corriente, ría de Suances. Fuente: Scopus.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.3.2 Bahía de Santander

5.3.3.2.1 Introducción

La zona de estudio es la Bahía de Santander, la cual es una importante área económica, recreacional y natural situada en la Comunidad Autónoma de Cantabria, España, como observamos en la ilustración 50.

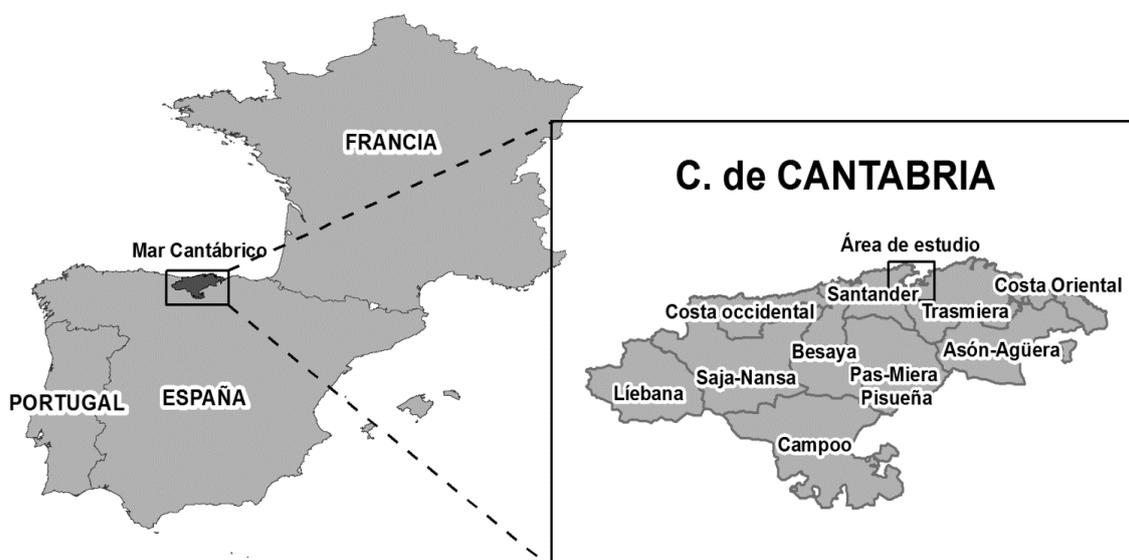


Ilustración 50. Localización bahía de Santander. Fuente: UCrea.

La Bahía está formada por la unión de diversas rías menores, tales como las de Solía, San Salvador y Cubas. Este estuario es el mayor de Cantabria y del norte de España con una extensión de 22,42 Km², una longitud de 9 Km, una anchura de 5 Km, con una superficie total de 2346 ha y un perímetro de 90 Km. Su espacio intermareal representa el 67% del área total de la bahía (1573 ha) y se concentra principalmente en los páramos de la margen derecha.

Su morfología y funcionalidad están condicionadas por los rellenos en la margen oeste de la ciudad, donde se encuentran los puertos deportivos de Puertochico y Marina del Cantábrico, el puerto pesquero y comercial de Santander, además de todo el frente urbano de la ciudad. Esto se traduce en que prácticamente la totalidad de los márgenes naturales del frente urbano han sido sustituidos por estructuras de fijación.

La zona más interna de la Bahía, que engloba las rías de Astillero, Boo, Solía y Tijero, no tiene alteraciones físicas tan severas como la zona portuaria, aunque tiene alrededor del 30% de sus márgenes fijados y el canal de navegación está sometido a dragados periódicos.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**



Ilustración 51. Bahía de Santander. Fuente: Google Imágenes. Fuente: UCrea.

La entrada a la Bahía está precedida por la ensenada de El Sardinero, donde se localiza la Isla de Mouro. El acceso a su interior se realiza por un estrecho paso de mar situado entre la Península de la Magdalena, en cuyas proximidades se sitúan los islotes de la Torre y la Horadada, y el arenal del Puntal, una larga barra longitudinal de playas y dunas que protege las tranquilas aguas internas de la Bahía.

El principal aporte de agua dulce procede del río Miera, que desemboca en la margen derecha de la Bahía, en lo que se conoce como la ría de Cubas, como vemos en la ilustración 51. La Bahía de Santander recibe también los aportes de otros ríos de menor entidad, a través de las rías de Boo, Solía y Tijero, localizadas en su zona más interna.

Debido a la influencia de Santander y su área metropolitana, a su alrededor se concentra casi la mitad de la población de la región unas 235.000 personas, con ciudades como Astillero, Somo, Pedreña, Maliaño, por lo que impacto causado en estas aguas es elevado.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.3.2 Batimetría

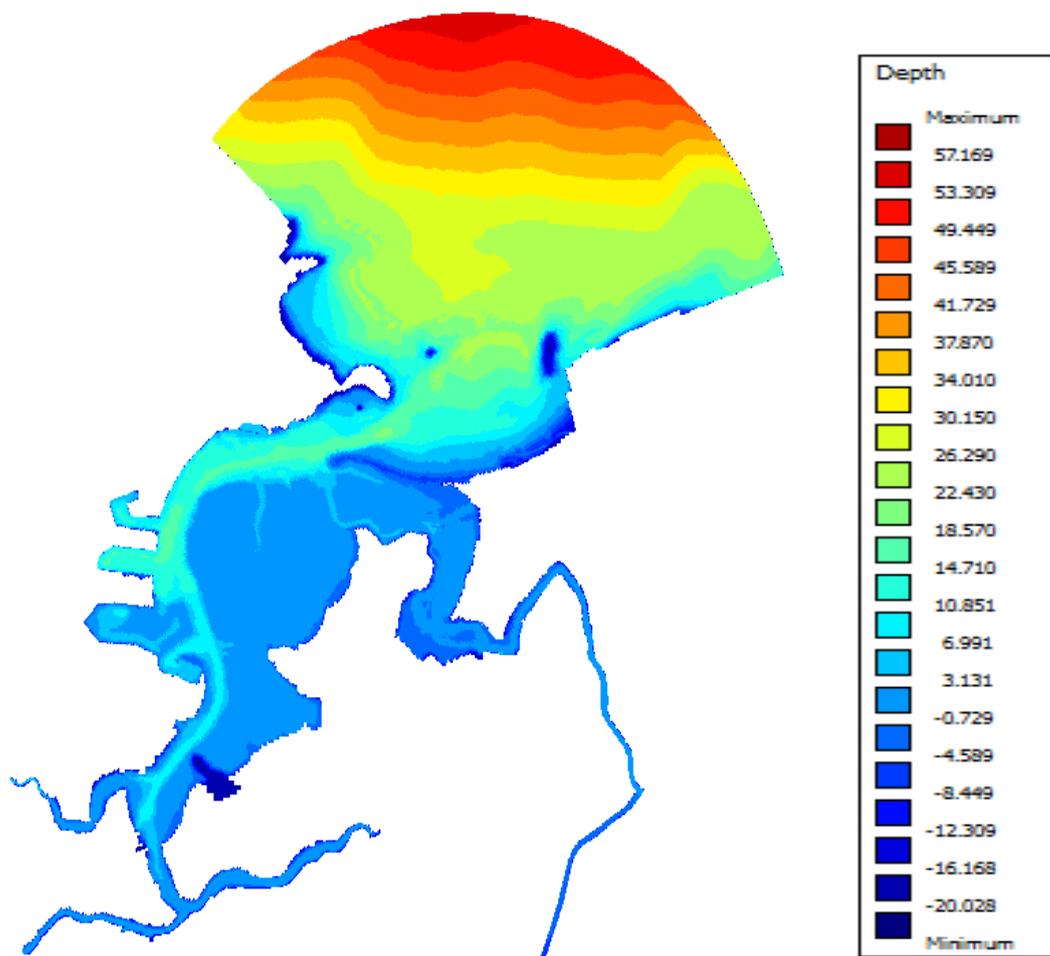


Ilustración 52. Batimetría Bahía de Santander. Fuente: Ucrea.

En la ilustración 52, tenemos la batimetría de la Bahía de Santander, podemos diferenciar claramente el canal central, que es el que tiene mayor profundidad y donde se realizan dragados periódicos para el paso de grandes buques a los distintos puertos, donde se pueden alcanzar entre 10 y 20 m de profundidad, color azul verdoso.

En el margen derecho tenemos las zonas submareales que están dominadas por aguas poco profundas entre 3 y 6 m de profundidad quedando zonas descubiertas cuando hay bajamar, color azul claro.

En el resto de zonas como son las rías de Cubas, la de Boo, Solía, Tijero (que podemos ver situadas en la figura 50), las profundidades varían entre 3 y 7 m.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.3.2.3 Caudal medio anual

La Bahía de Santander recibe agua dulce de varios ríos, debido a su gran tamaño. El principal procede del río Miera que desemboca en la ría de Cubas, pero también tiene varias desembocaduras de ríos en su parte interior. El río Collado desemboca en la ría de Boo, después están el río Mina que desemboca en la ría de Solía, que junto con la ría de Tijero, donde desemboca un pequeño arroyo llamado “arroyo de Romanillo”, forman la llamada ría de Astillero.

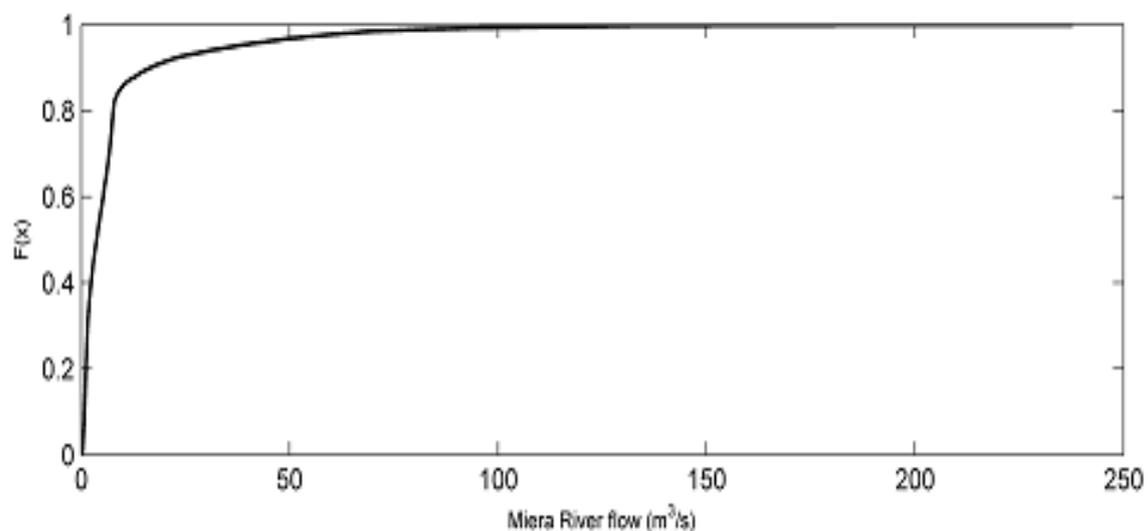


Ilustración 53. Percentiles de los caudales del río Miera. Fuente: Google Imágenes.

Todos estos aportes de agua dulce no son de gran importancia ya que entre todos apenas llegan 280 Hm³ de aportación de la Bahía de Santander, ya que para las dimensiones de agua que hay en la Bahía esto es prácticamente insignificante, ya que, al tratarse de una bahía, que es una entrada de un mar rodeado por tierra excepto por una apertura, está formada por grandes extensiones de agua del mar por lo tanto no importa demasiado el caudal que aporten los ríos que en ella desembocan.

En la ilustración 53, podemos observar el caudal que aporta el río Miera a la Bahía de Santander siendo el percentil 50 de 8,5 m³/s solamente, con lo cual estamos hablando de un río de poco caudal.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.3.2.4 Espacio disponible

Como hemos hablado anteriormente se trata del mayor estuario de Cantabria y del norte de España con una extensión de 22,42 Km², una longitud de 9 Km, una anchura de 5 Km, con una superficie total de 2346 ha. Su espacio intermareal representa el 67% del área total de la bahía (1573 ha) y se concentra principalmente en los páramos de la margen derecha, ilustración 54.



Ilustración 54. Límites Bahía de Santander. Fuente: Mapas Cantabria.

Originariamente, la Bahía de Santander contaba con una superficie de 44,47 Km², actualmente su extensión se ha reducido a la mitad. La mayor parte del espacio perdido es consecuencia de las labores de desecación, relleno y cerramiento efectuadas por el hombre desde finales del siglo XIX, cuando se expansionan las actividades mineras, industriales y urbanas que se asientan en la Bahía y su entorno.

Este hecho hizo que su morfología y funcionalidad estén condicionadas por estos rellenos en la margen oeste de la ciudad, donde se encuentran los puertos deportivos de Puertochico y Marina del Cantábrico, el puerto pesquero y comercial de Santander, además de todo el frente urbanos de la ciudad. Esto se traduce en que prácticamente la totalidad de los márgenes naturales del frente urbano han sido sustituidos por estructuras de fijación.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

5.3.3.2.5 Tráfico marítimo

La amplitud de la Bahía de Santander, sus calados, su disposición resguardada de los vientos dominantes del norte, y su entrada, protegida de los temporales por la península de la Magdalena, hacen de este estuario el mejor puerto natural de toda la Cornisa Cantábrica.



Ilustración 55. Puertos situados en la Bahía de Santander. Fuente: Mapas Cantabria.

Como habrás podido comprobar, las principales instalaciones portuarias de Santander están situadas en las riberas norte y oeste de la Bahía, bordeando la Canal, donde se encuentra el puerto de Santander como vemos en la ilustración 55, que abarcaría todo el borde de color amarillo. Llegando a ser uno de los puertos más importantes del norte de España.

Por estos hechos llegan hasta este puerto buques de gran calado, con lo que esto implica la necesidad de efectuar dragados periódicos para el mantenimiento de la canal de navegación y que estos buques no queden atascados.

En la parte de abajo en el cuadro amarillo tenemos más puertos de menor entidad, tanto puertos deportivos como puertos de mercancías de grandes empresas como por ejemplo Equipos nucleares.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.3.2.6 Impacto ambiental

La única zona protegida en la Bahía de Santander sería correspondiente a la ría de Cubas, en el margen derecho de la ilustración 56 en la desembocadura del Miera, forma parte del “Lugar de Importancia Comunitaria Dunas del Puntal y Estuario del Miera”.

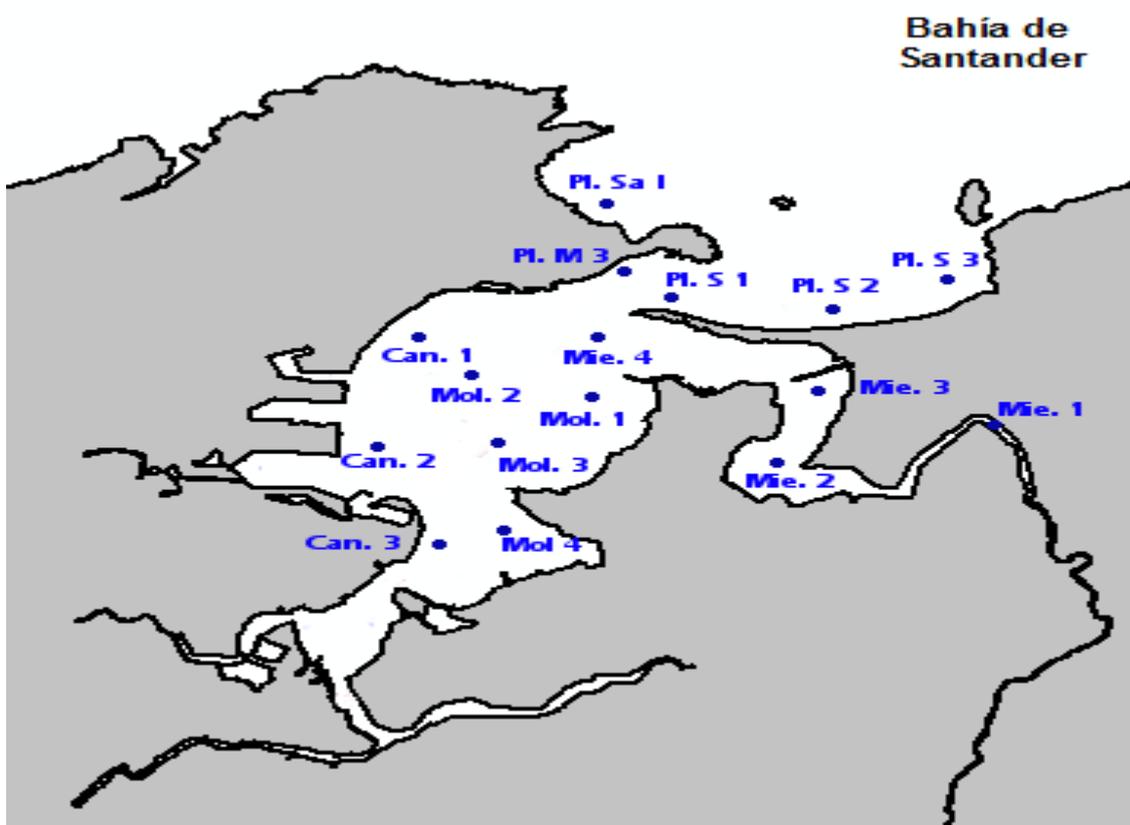


Ilustración 56. Puertos situados en la Bahía de Santander. Fuente: Ucrea.

Como podemos observar en la ilustración 56 tenemos varios puntos de control que corresponden a las siguientes zonas:

- LIC Dunas del Puntal y Estuario del Miera zonas medioambientales protegidas, puntos de observación Mie. 1, Mie. 2, Mie. 3 y Mie. 4.
- Zona de producción de moluscos por los pescadores de la zona, puntos de observación Mol. 1, Mol. 2, Mol. 3, y Mol. 4.
- Zonas de baño, puntos de observación Pl. M 3, Pl. S 1, Pl. S 2, Pl. S 3 y Pl. Sa I.
- Canal de navegación, donde se han establecido puntos para comprobar su posible influencia en el transporte de aguas fecales y la evolución de éstas en el resto del estuario, puntos de observación Can. 1, Can. 2 y Can. 3.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

5.3.3.2.7 Velocidades de la corriente

En cuanto a las velocidades de la corriente en la Bahía las mayores velocidades se dan como es obvio en la canal de navegación.

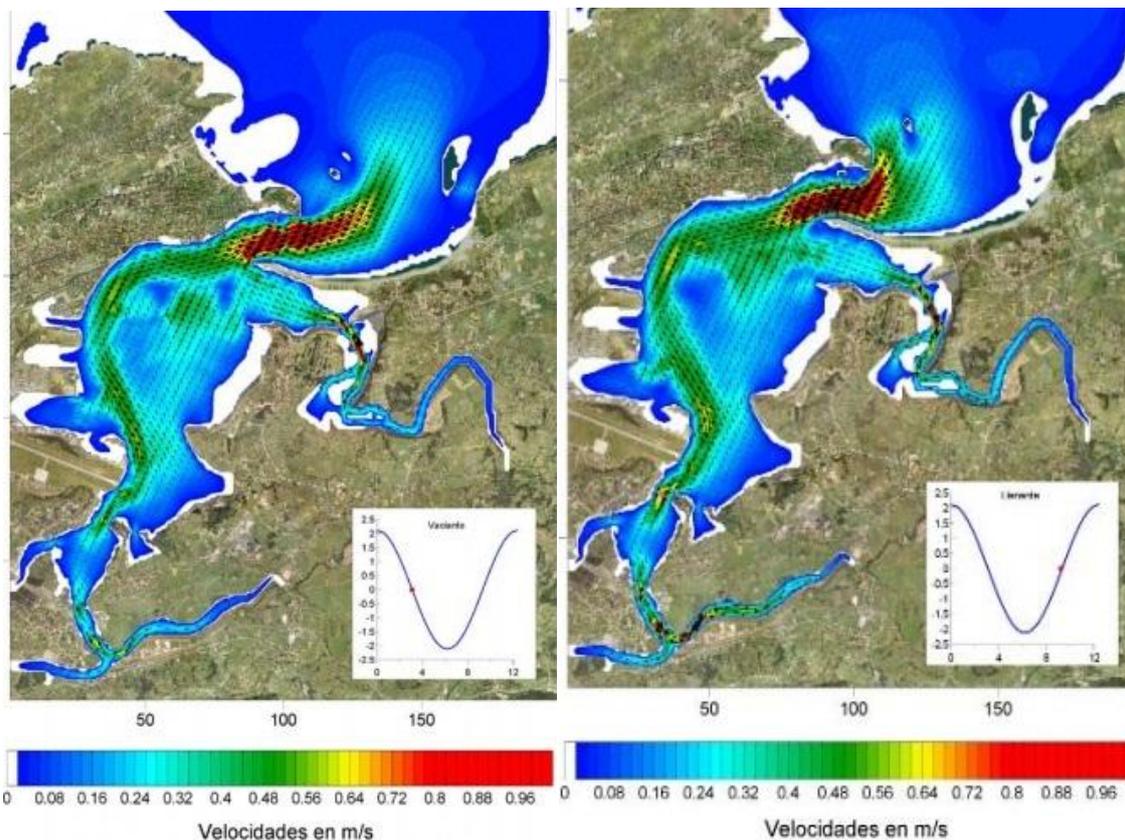


Ilustración 57. Velocidades de la corriente vaciante y llenante, Bahía de Santander. Fuente: Ucrea.

Como puede observarse en la ilustración 57, las velocidades máximas se producen en la zona de la bocana, tanto cuando la marea es llenante como vaciante, al ser esta la zona más estrecha del estuario y cuya sección debe ser atravesada por el prisma de marea cada ciclo mareal, pudiendo llegar hasta rangos de incluso 0,9m/s. También puede verse la influencia que tiene el canal de navegación en las corrientes, al provocar mayores corrientes a través de él como podemos ver marcado completamente en un color verde.

En el margen derecha también observamos un color rojo de mayores velocidades en lo que sería la desembocadura del río Miera.

En cuanto a la parte de abajo de la Bahía, en la ría de Tijero, observamos que aumenta la velocidad sobre todo cuando se trata de la corriente llenante, como podemos ver en rojo.

Comparando los valores máximos entre las dos imágenes, vemos que cuanto mayor es el rango mareal, mayores velocidades se producirán. Por lo tanto, como era de esperar, a mayor rango mareal mayores corrientes.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

5.3.4 Situación óptima instalaciones

Este apartado del estudio se centra en focalizar de forma definitiva las distintas ubicaciones, dentro de las dos opciones acatadas en apartados anteriores (ría de Suances y Bahía de Santander), para ello tendremos en cuenta los requerimientos de cada tecnología a implantar (presa de marea y generadores corriente de marea).

Cada tipo de tecnología tiene unos requerimientos situacionales específicos, dentro de que se haya elegido una o varias zonas para su implementación de acuerdo a unos criterios generales, harán que la ubicación final sea una u otra.

En el caso de la presa de marea requiere principalmente de la amplitud de marea que como vimos es igual para todo el Cantábrico y no cambia apenas de un lugar a otro, varía entre 3 y 5 m para la costa Cántabra. Otros de los factores importantes a tener en cuenta es el espacio disponible para embalsar agua, ya que a mayor espacio más agua podremos hacer pasar por nuestras turbinas y por lo tanto obtendremos más energía. También es importante la longitud de la presa, ya que cuanto más grande sea esta, mas turbinas podremos instalar. Otro factor a tener en cuenta es la batimetría de la zona, ya que cuanto más profundidad más agua almacenada y podremos instalar unas turbinas con un diámetro mayor.

Y, por el contrario, el mayor impedimento de esta tecnología que como dijimos anteriormente es el impacto ambiental ocasionado en la zona ya que causa grandes variaciones en el ecosistema, así que tendríamos que buscar un lugar que causara el menor impacto posible.

Por otro lado, tenemos los generadores de corriente de marea, aunque hay una amplia gama de productos, las velocidades mínimas de la velocidad de corriente están en torno a 1m/s que es el principal requerimiento de esta tecnología. Otro de los factores a tener en cuenta es la profundidad, ya que la mayoría son bastante grandes y operan a grandes profundidades, aunque hay algún prototipo que puede funcionar a entre 5 y 7 m de profundidad. El espacio es otro factor a tener en cuenta, ya que cuantas más turbinas podemos instalar más energía obtendremos.

Teniendo en cuenta dichos factores específicos de cada tecnología, procederemos a la selección y justificación de las ubicaciones específicas definitivas dentro de las dos áreas seleccionadas, sobre las que se desarrollará el resto del estudio.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.4.1 Presa de marea

5.3.4.1.1 Ría de Suances

Después de todas las características estudiadas en la ubicación de la ría de Suances y los requerimientos necesarios mencionados anteriormente para la instalación de una presa de marea, creemos que este lugar sería el más idóneo dentro del área estudiada para la instalación de una presa de marea.



Ilustración 58. Situación óptima presa de marea, ría de Suances. Fuente: Mapas Cantabria.

En la ilustración 58 podemos ver el lugar que hemos considerado más propicio, según los datos de que disponemos, para la instalación de una presa de marea (con una raya naranja) por los siguientes motivos:

- En la zona de instalación de la presa disponemos de una longitud de unos 400m, a partir de esta longitud sube la pendiente, por lo tanto, podríamos encajar la presa perfectamente.
- Tenemos una amplia zona inundable en la derecha e izquierda de la imagen ya que son zonas intermareales y por lo tanto inundables fácilmente, teniendo unos 4Km² de superficie inundable.
- En la zona de ubicación de la presa tenemos unos 5 m de profundidad en el canal central.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Por el contrario, tendríamos varios problemas:

- Soterramiento del río, y por lo tanto variación de la vida tanto animal como humana de la zona lo que sería un gran impacto ambiental, ya que hay vegetación en la zona y quizás en el margen de la derecha habría que inundar alguna vivienda.
- El puerto de Requejada aunque está cerrado quedaría inutilizado, en el puerto de Suances podría darse el problema que cuando baje la marea y las compuertas de la presa se cierren disminuya bastante el caudal que llegue hasta la bocana de la ría.
- Otro problema es que en verano cuando el caudal del río sea menor quizás no llegue a la presa suficiente agua para que sea eficiente.



Ilustración 59. Situación óptima presa de marea, ría de Suances. Fuente: Google Maps.

En la ilustración 59 vemos el dónde iría situada la presa de marea, la imagen esta sacada desde el punto rojo de la figura 58. Como podemos observar en el margen de la derecha el terreno sube rápidamente y hay bastantes árboles. En la parte de la izquierda hay bastante terreno hasta llegar al margen, donde iría el otro extremo de la presa.

Coordenadas específicas:

- Latitud: 43° 24' 51.4" N
- Longitud: 4° 01' 58.6" O
- Coordenada X: 416.374,64m
- Coordenada Y: 4.807.339,74 m

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

5.3.4.1.2 Bahía de Santander

Después de todas las características estudiadas en la ubicación de la Bahía de Santander y los requerimientos necesarios mencionados anteriormente para la instalación de una presa de marea, creemos que este lugar sería el más idóneo dentro del área estudiada para la instalación de una presa de marea.



Ilustración 60. Situación óptima presa de marea, Bahía de Santander. Fuente: Mapas Cantabria.

En la ilustración 60 observamos el lugar (con una línea roja) que creemos más propicio para la instalación de una presa de marea, se trata de la zona sur de la bahía en la ría de Tijero, hemos escogido este lugar por los siguientes motivos:

- Principalmente por causar el menor impacto posible, ya que es el mayor impedimento de este tipo de tecnología, no se produciría un soterramiento de ningún río y las zonas a inundar serían solamente campos, por lo tanto, el impacto ambiental sería mínimo.
- No causaríamos ningún problema al gran tráfico marítimo que soporta el puerto de Santander ya que en esta zona no hay ningún puerto ni tráfico marítimo.
- Estaríamos hablando de una zona entre 5 y 7 m de profundidad, con unos 280 m de longitud de la presa y unos 2,5 Km² de área embalsada.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

- Es una zona sin grandes pendientes por lo tanto podríamos inundarlo con facilidad para abarcar la mayor área posible.
- No habrá problema de falta de agua, ya que al tratarse de una bahía el agua es proveniente del mar en su mayoría.

Por el contrario, tendríamos el siguiente problema:

- El área de agua embalsada no será muy grande, ya que hay cerca un polígono industrial en el margen izquierdo, por lo tanto, este sería nuestro límite de altura.



Ilustración 61. Situación óptima presa de marea, Bahía de Santander. Fuente: Propia.

En la ilustración 61, tomada desde el punto amarillo de la ilustración 60, podemos observar el supuesto lugar donde iría la presa de marea que sería un poco más adelante de los pilares que observamos. Como vemos en el margen izquierdo hay más desnivel que en el margen derecho que está a poca altura del agua, ya que es una zona ganada a la bahía.

Coordenadas específicas:

- Latitud: 43° 23' 44.4" N
- Longitud: 3° 48' 26.9" O
- Coordenada X: 434.608,70m
- Coordenada Y: 4.805.072,10 m

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

5.3.4.2 Generadores de corriente de marea

5.3.4.2.1 Ría de Suances

Para encontrar una ubicación adecuada para este tipo de tecnología necesitaremos un lugar con las mayores velocidades de corriente posibles y con la mayor profundidad posible, buscaremos en la ría de Suances, el lugar que mejor pueda encajar con estas características.



Ilustración 62. Situación óptima generadores de corriente, ría de Suances. Fuente: Mapas Cantabria.

Como podemos observar en la ilustración 62, con una raya amarilla, estaría la zona idónea para la colocación de los generadores de corriente. Se trata de la desembocadura de la ría de Suances en el mar, consideramos este lugar como el más propicio de la zona estudiada por los siguientes motivos:

- Principalmente porque se trata de la zona con mayor batimetría de la ría con unos 8m y con mayores velocidades entre 0,5 y 1,5 m/s.
- Esta tecnología no tiene demasiado impacto ambiental, ya que si tiene suficiente batimetría habría una gran capa de agua hasta la superficie.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Por el contrario, tendríamos los siguientes problemas:

- No tendríamos mucho espacio, ya que de lado a lado tendríamos unos 175 m de longitud.
- Cuando hay marea baja y estamos en la época de verano en la parte izquierda del canal tendremos menor profundidad, vemos como está más claro en la figura 59.
- En la zona de la desembocadura se acumulan bastantes sedimentos que son arrastrados por los ríos Saja y Besaya.

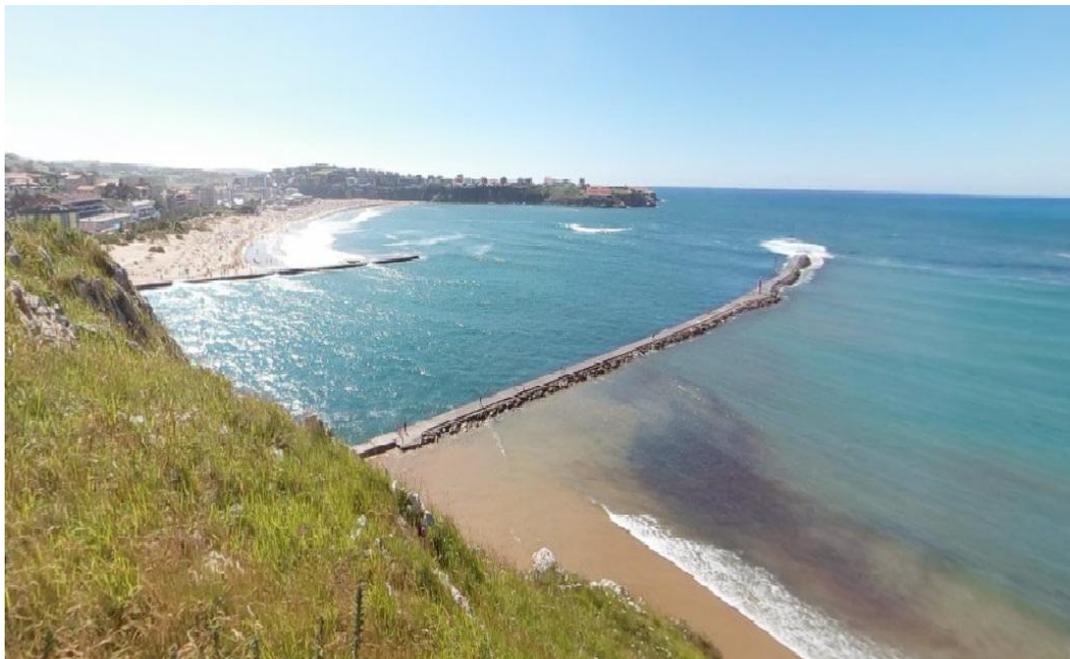


Ilustración 63. Situación óptima generadores de corriente, ría de Suances. Fuente: Google Maps.

En la ilustración 63, tomada desde el punto rojo de la ilustración 62, podemos observar la desembocadura de la ría de Suances y la posible ubicación de los generadores de corriente de marea, como vemos hay diques en ambos márgenes que separan la ría de la playa de Cuchía a la derecha y de la playa de La Concha a la izquierda.

Coordenadas específicas:

- Latitud: 43° 26' 07.8" N
- Longitud: 4° 02' 06.8" O
- Coordenada X: 416.218,71m
- Coordenada Y: 4.807.698,41 m

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

5.3.4.2.2 Bahía de Santander

Para encontrar una ubicación adecuada para este tipo de tecnología necesitaremos un lugar con las mayores velocidades de corriente posibles y con la mayor profundidad posible, la ubicación que mejor pueda encajar con estas características.

El lugar perfecto sería en la bocana que une la bahía con el mar ya que es el lugar de la zona de estudio, de mayores profundidades y velocidades, además de tener un gran espacio para instalar los dispositivos, pero el problema es el calado de los grandes buques que entren en el puerto de Santander y también la acumulación de sedimentos, ya que se hacen dragados periódicamente. Con lo que buscaremos otra opción donde no tengamos estos problemas.



Ilustración 64. Situación óptima generadores de corriente, Bahía de Santander. Fuente: Mapas Cantabria.

En la ilustración 64 observamos, marcado con el aspa negra, el lugar más óptimo para la colocación de los generadores, se encuentra en la zona interior de la bahía en un puente que la cruza, hemos seleccionado este emplazamiento por los siguientes motivos:

- Tiene una profundidad aceptable entre 7 y 8 m.
- No hay problema de tráfico marítimo ya que del puente hacía el interior de la bahía no hay ningún puerto.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

- No hay problema de impacto ambiental.
- No habrá problema de falta de agua, ya que al tratarse de una bahía el agua es proveniente del mar en su mayoría.

Por el contrario, tendríamos los siguientes problemas:

- La velocidad de corriente es algo baja entre 0,5 y 1 m/s.
- No hay demasiado espacio para colocar varios dispositivos, unos 280m de una orilla a otra.

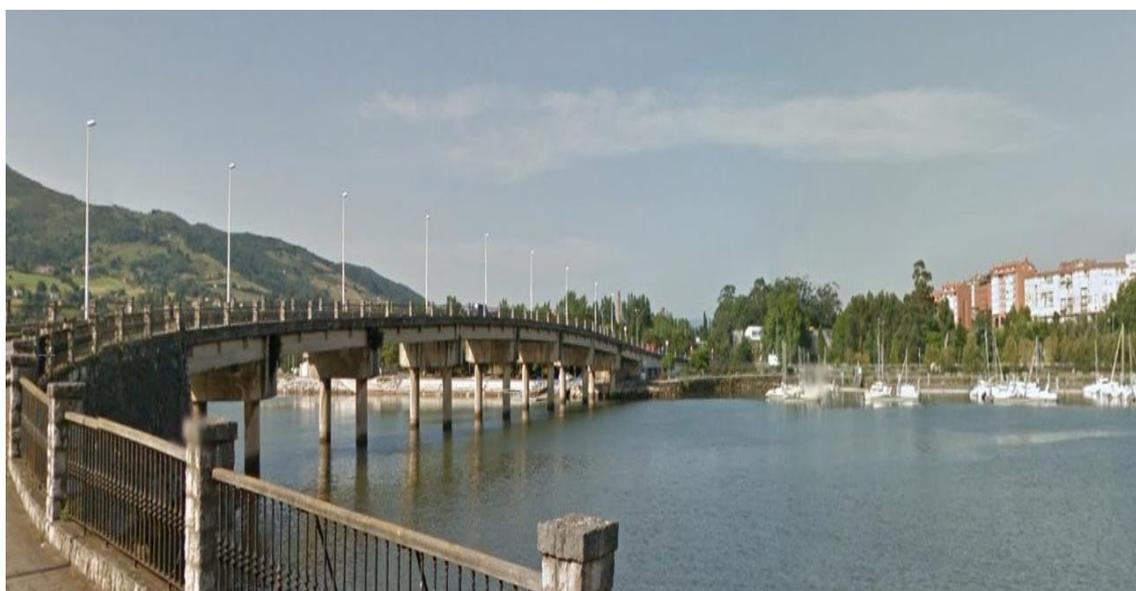


Ilustración 65. Situación óptima generadores de corriente, Bahía de Santander. Fuente: Google Maps.

En la ilustración 65, tomada desde el punto amarillo de la ilustración 64, podemos observar la zona donde instalaríamos los generadores y el puente que cruza la bahía mencionado anteriormente.

Coordenadas específicas:

- Latitud: 43° 23' 59.0" N
- Longitud: 3° 48' 46.8" O
- Coordenada X: 434.164,36m
- Coordenada Y: 4.805.526,41m

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

5.3.4.3 Conclusión

Como conclusión definitiva a este apartado de la búsqueda del lugar óptimo para la instalación de un dispositivo que funcione con energía mareomotriz, escogeremos la opción más propicia entre las 4 anteriores.

Para ello hemos propuesto 2 propuestas de presa de marea, cada una en el lugar más óptimo dentro de las dos zonas estudiadas (ría de Suances y Bahía de Santander) y otras 2 propuestas para instalar generadores de corriente de marea, también dentro de las dos zonas estudiadas.

En primer lugar, valoraremos las dos propuestas de generadores de marea, en ambos lados la profundidad sería aceptable y el impacto ambiental sería compatible, pero el gran problema de este tipo de tecnología tanto en una ubicación como en otra sería la velocidad de la corriente.

Hay varios dispositivos para esta opción, pero el que menos velocidad necesita para funcionar (velocidad de corte) sería de alrededor de 1 m/s, velocidad que apenas se da en los dos lugares estudiados, y para que la turbina funcione de una forma óptima son necesarios alrededor de 2 a 3 m/s, velocidad que no se da en ninguno de los dos lugares escogidos, por lo tanto, quedarían ambas descartadas. De hecho, como dijimos en las posibles ubicaciones mundiales en España solo sería viable este tipo de tecnología en el Estrecho de Gibraltar, ya que se dan las velocidades necesarias. Pero esta afirmación tenía que ser constatada mediante la realización de un estudio y con la información adecuada.

En cuanto a las dos propuestas de presa de marea, las dos tienen profundidades un poco escasas y el área embalsada no es demasiado grande, pero el parámetro más importante para la instalación de estas presas aparte de la amplitud de marea, que como hemos mencionado en varias ocasiones tiene el mismo coeficiente en toda la costa cántabra, sería el impacto ambiental causado en la zona que como vimos en otros proyectos mundiales es muy grande, incluso muchos no son ejecutados por este problema. Esta es la principal diferencia entre una propuesta y otra, puesto que en la ría Suances el impacto ambiental sería mucho mayor que en la Bahía de Santander, principalmente por el soterramiento del río y lo que esto supondría para la ría alterándola completamente.

Otra de las principales diferencias es que la ría está alimentada por los ríos Saja y Besaya, cuando estemos en bajamar y estemos en pleno verano el caudal que llegue a la presa será más escaso que el resto del año, este problema no se da en la Bahía de Santander ya que el embalse apenas está alimentado por un arroyo y casi la totalidad del agua provendrá del mar, por lo tanto, será la misma durante todo el año solo alterada por las subidas y bajadas de la marea.

Con lo cual nos quedaríamos con la elección de presa de marea en la Bahía de Santander, como la opción más óptima de las 4 alternativas propuestas.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Los principales municipios por los que esta bañado la ría de Tijero, por la parte de abajo son dos pequeños municipios San salvador, que da uno de los nombres a esta ría, y Bitoña. Estos municipios están separados de la ría por la autovía S-10 y varias líneas de ferrocarril, aunque primero a pocos metros de la ría estaría el polígono industrial de Heras.

Por la parte de la ría más alejada de la presa tendríamos una pequeña granja y un instituto, además de la población llamada El Puente.

Por la parte de arriba de la ría, que es una zona más plana que la de abajo, tenemos justo pegados varios campos dedicados al cultivo más alejada se encuentra la población de Pontejos, aunque tiene varias urbanizaciones separadas de la población principal más cercanas a la ría.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

6.2 Volumen de agua embalsada

En este apartado calcularemos el volumen de agua que somos capaces de almacenar en la presa.

Para ello utilizaremos el cálculo mediante el método de las aéreas o de las curvas de nivel, primero calcularemos diferentes áreas según la batimetría que tengamos, sumando dos áreas contiguas y dividiéndolas entre dos para hallar la sección media entre los dos áreas, a continuación lo multiplicaríamos por la altura de agua que tengamos entre un sector y otro, dividiremos el embalse en cuatro sectores o niveles.

$$V = \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \times H$$

V= volumen del embalse en

A_i = área encerrada por la curva de nivel en km^2

H= altura entre dos curvas de nivel en m

- El Primer sector corresponde a las líneas de puntos azules de la ilustración 67, le asignaremos una altura de 3 m, corresponden a las aguas más profundas ya que estarán a menor cota. Por último calcularemos el área encerrada por las líneas, dividiendo el sector en triángulos.

$$A=0.33 \text{ km}^2$$

$$H= 3 \text{ m}$$

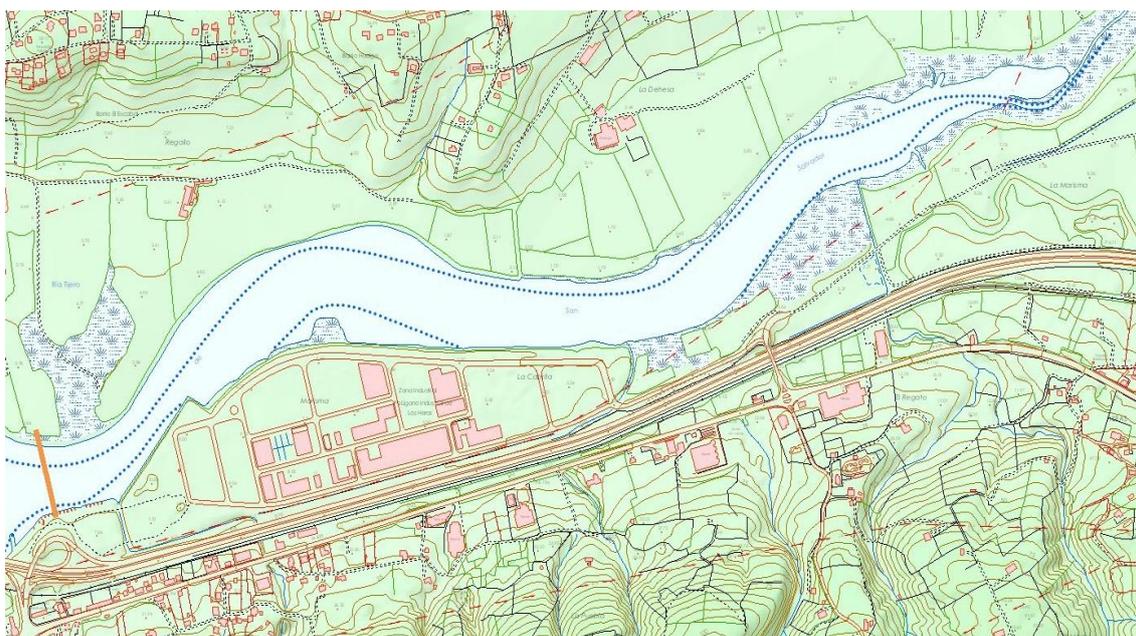


Ilustración 67. Primer sector embalse. Fuente: Mapas Cantabria.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

- El segundo sector corresponde a las líneas azules oscuras de la ilustración 68, le asignaremos una altura de 6 m, se trata del sector intermedio como es obvio ocupa más área que el primer sector ya que se encuentra en una curva de nivel superior.

$$A=0.57 \text{ km}^2$$

$$H=6 \text{ m}$$

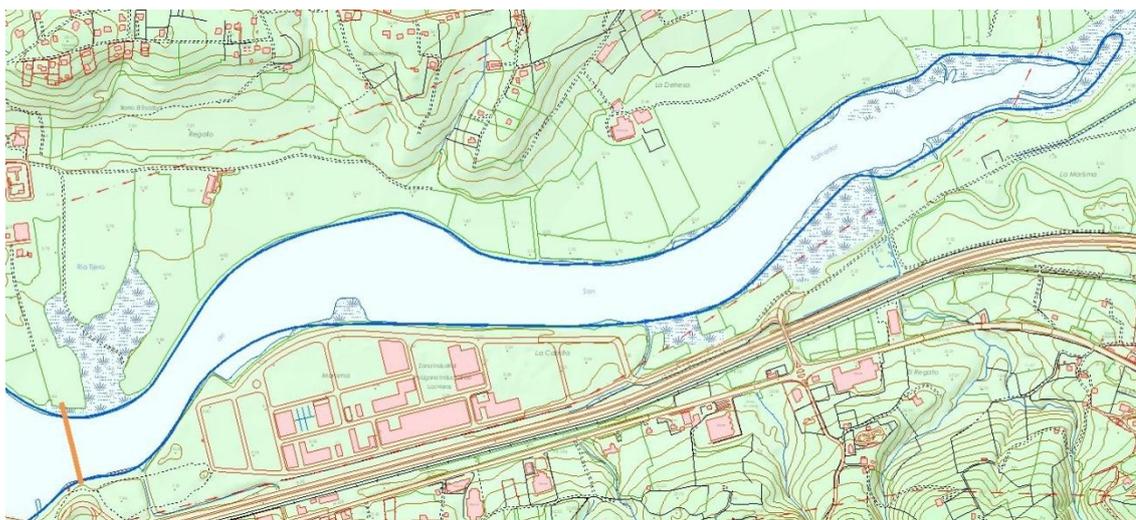


Ilustración 68. Segundo sector embalse. Fuente: Mapas Cantabria.

- El tercer sector corresponde a las líneas rojas de la ilustración 69, le asignaremos una altura de 9 m, ya que es la máxima que puede alcanzar el embalse y la que tiene mayor cota por lo tanto ocupa la que más área.

$$A=1.5 \text{ km}^2$$

$$H=9 \text{ m}$$

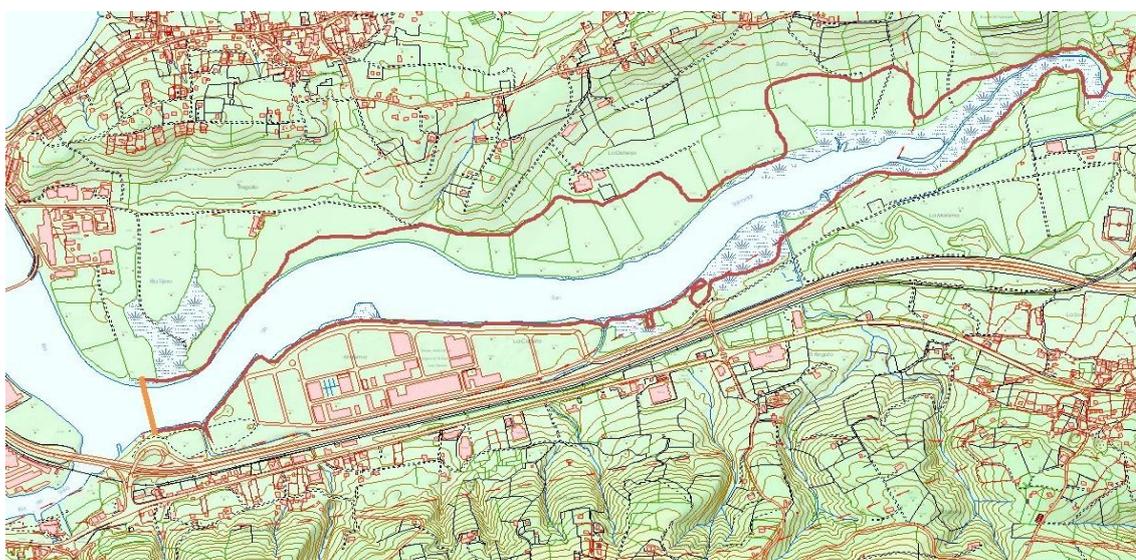


Ilustración 69. Segundo sector embalse. Fuente: Mapas Cantabria.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

A continuación realizaríamos las cuentas utilizando la ecuación anteriormente vista y nos quedaría de la siguiente manera:

Entre el sector 0 y 1:

$$V = \left(\frac{(0 + 330.000)}{2} \right) \times 3$$

Entre el sector 1 y 2:

$$V = \left(\frac{(330.000 + 570.000)}{2} \right) \times 3$$

Entre el sector 2 y 3:

$$V = \left(\frac{(570.000 + 1.500.000)}{2} \right) \times 3$$

Tabla 23. Áreas y volúmenes del embalse. EP.

Sector	Altura	Área (m2)	Volumen(m3)
0	0	0	
			495.000
1	3	330.000	
			1.350.000
2	6	570.000	
			3.105.000
3	9	1.500.000	
			4.950.000

El sector 0 no tiene área, y es que le introducimos para calcular el volumen de agua que tiene el embalse desde el fondo marino hasta el primer sector de 3 metros.

Las cifras que nos dan son muy altas así que trabajaremos en Km² para las áreas y Hm³ para los volúmenes. Por lo tanto como vemos en la tabla 23, tendríamos un volumen total de agua embalsada de 4,95 Hm³, con un área total de 1,5 Km², que sería el área correspondiente al último sector.

Comparado con las centrales que hay mundialmente el área del embalse es bastante bajo, por ejemplo La Rance o Sihwa tienen mucha más superficie, con lo que podríamos decir que es una central mareomotriz pequeña.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

6.3 Modos de operación

Existen distintos modos de operación de estas centrales mareomotrices, y varias combinaciones de estos modos. El tipo de operación de estas centrales determina la cantidad de energía generada por la central, por lo tanto, también el costo de ella.

Ciclo de simple efecto

Posee un solo embalse, como observamos en la ilustración 70, hay dos formas de generar energía o en el refluo (bajamar) o en el flujo (pleamar). En consecuencia, generan sólo durante la bajamar, vaciándose el embalse, o sólo durante la pleamar, llenándose el embalse; solo generan en una dirección de la marea, estas operaciones requieren de una turbina hélice de flujo axial y alta velocidad específica.

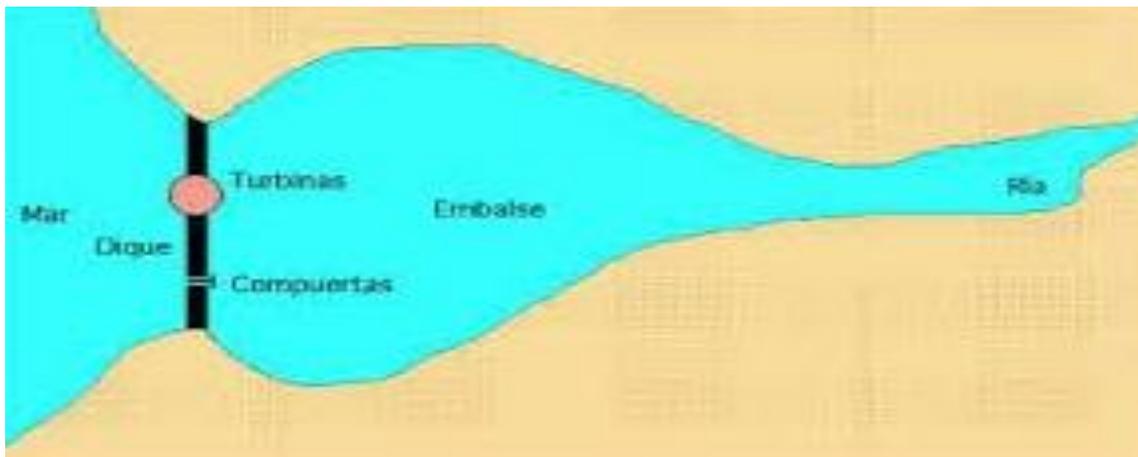


Ilustración 70. Disposición central mareomotriz ciclo de simple efecto. Fuente: Google imágenes.

Lo más normal en este modo de operación es generar durante el refluo o el vaciado del embalse, que durante el flujo o llenado del embalse, esto se debe a que generas más energía del primero modo.

El modo de funcionamiento es el siguiente (ilustración 71):

- Cuando sube la marea se abren las compuertas y el embalse se llena.
- Cuando comienza a bajar la marea se cierran las compuertas y se espera un tiempo, del orden de 3 horas, para alcanzar una diferencia de nivel adecuada entre el mar y el embalse.
- A continuación, durante 5 o 6 horas, se hace pasar el agua por las turbinas generando energía eléctrica.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

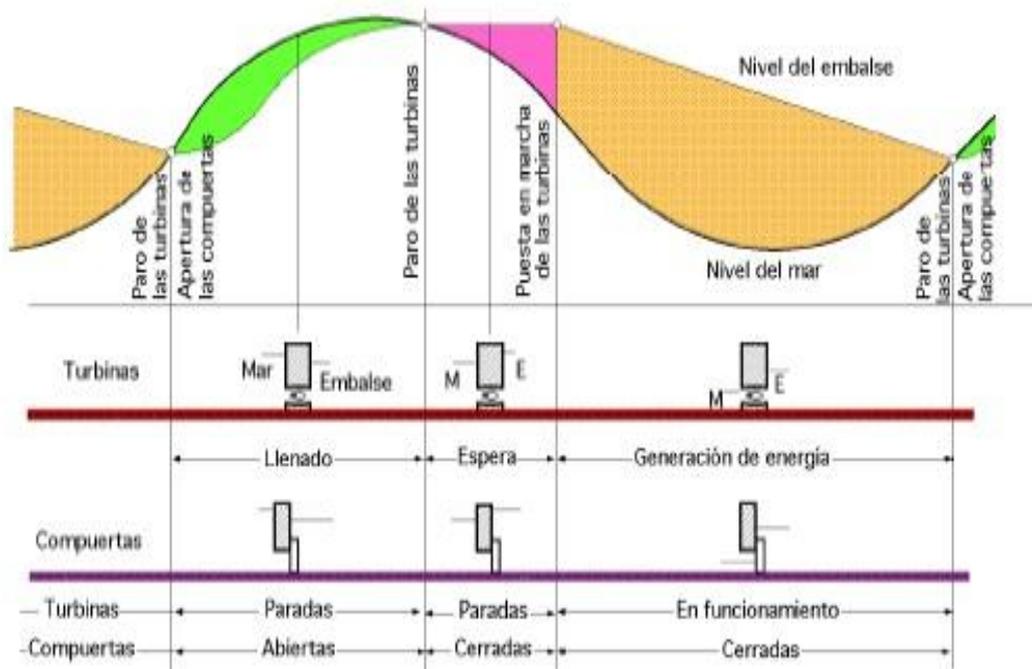


Ilustración 71. Funcionamiento ciclo simple efecto en un día. Fuente: Google imágenes.

En los ciclos de simple efecto que funcionasen con vaciado del embalse sólo se generaría energía, cada día, durante dos períodos de 5 a 6 horas, con un total de unas 10 a 12 horas diarias, como podemos ver en la ilustración 71, que además se irían produciendo en horas diferentes cada día.

Si el turbinaje se realizase durante el llenado del embalse, los tiempos de generación serían menores, del orden de 4 a 5 horas, con tiempos de espera o de bombeo de 3 horas; en total funcionarían entre 8 y 10 horas diarias.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Ciclo de doble efecto

También posee un solo embalse, con la diferencia del anterior de que funciona con ambas mareas, lo que exige que las turbinas operen eficazmente con un determinado caudal de agua en cualquier dirección, como podemos ver en la ilustración 72, funcionando tanto durante el llenado, como durante el vaciado del embalse.

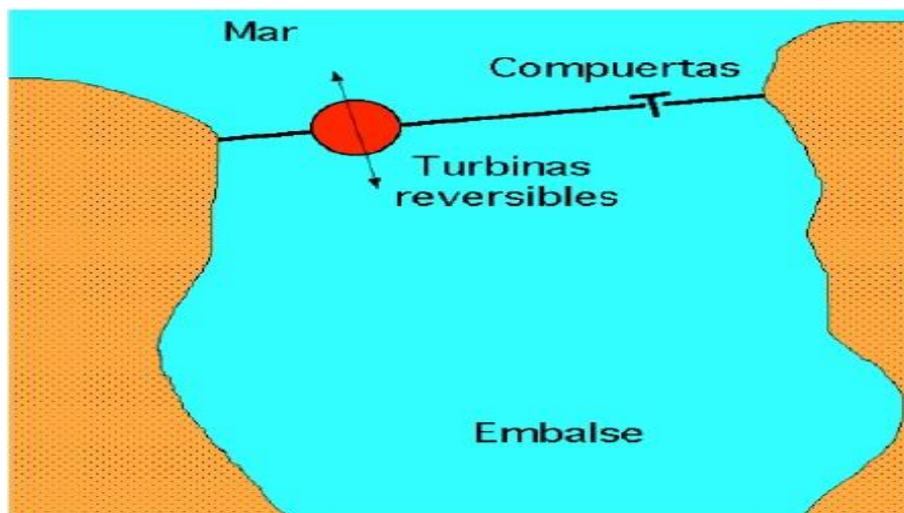


Ilustración 72. Disposición central mareomotriz ciclo de doble efecto. Fuente: Google imágenes.

En este método de operación, la energía utilizable 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 también el rendimiento al no ser posible optimizar las turbinas y el caudal, pero aun así 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 del orden 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.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

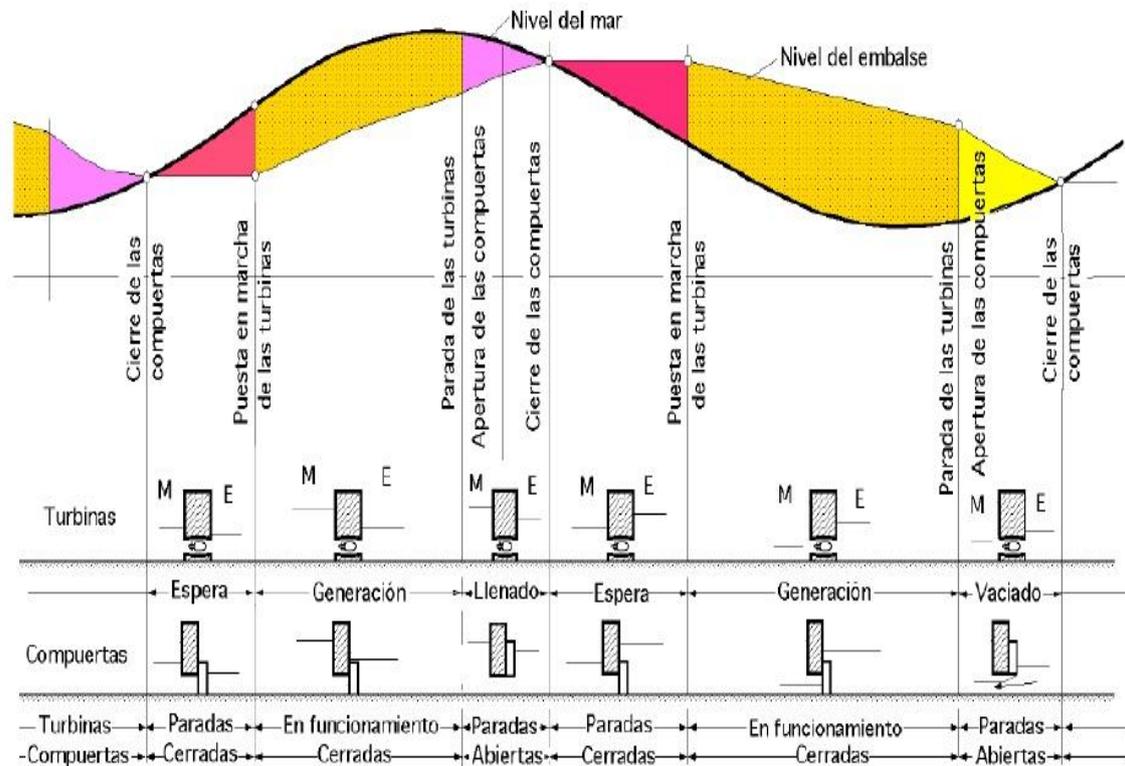


Ilustración 73. Funcionamiento ciclo de doble efecto en un día. Fuente: Google imágenes.

En la ilustración 73 podemos ver el régimen de funcionamiento del ciclo de doble efecto que es el siguiente:

- Al principio cuando la marea comienza a subir mantenemos las compuertas cerradas.
- Cuando la marea alcanza un punto considerable comienza el funcionamiento de las turbinas, generando energía.
- A continuación cuando la marea llega al punto de llenado se paran las turbinas y se abren las compuertas para que el embalse se siga llenando.
- Después, cuando la marea comienza a bajar, se cierran de nuevo las compuertas.
- Cuando se ha creado el desnivel suficiente entre el embalse y el mar se pone en funcionamiento las turbinas.
- Por último se abren las compuertas y se repite el mismo procedimiento de nuevo.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Ciclos de acumulación por bombeo

Este modo de operación genera energía con ambas mareas la diferencia es que almacenan más agua en el embalse debido al bombeo, lo que obliga a utilizar turbinas que sean capaces de funcionar no sólo como tales, sino también como bombas. La central La Rance es la primera y única central de potencia en el mundo de este tipo.

El nivel de generación y la flexibilidad operativa se mejoran, lo que proporciona una mayor eficiencia económica, es decir, permiten un aprovechamiento más racional y rentable de la central, pudiendo llegar el aumento en la generación al 10%.

El mayor inconveniente es que las turbinas tienen un coste mayor, y sería necesario incluir, a veces, un equipo para el arranque de la bomba, ya que en algunas situaciones no arrancarían por si solas.

La experiencia confirma que es más económico y ambientalmente aceptable limitar la generación a la fase de refluo, bajar, ya que la carrera de marea en el embalse estaría entonces dentro de la mitad superior de la que existía previamente.

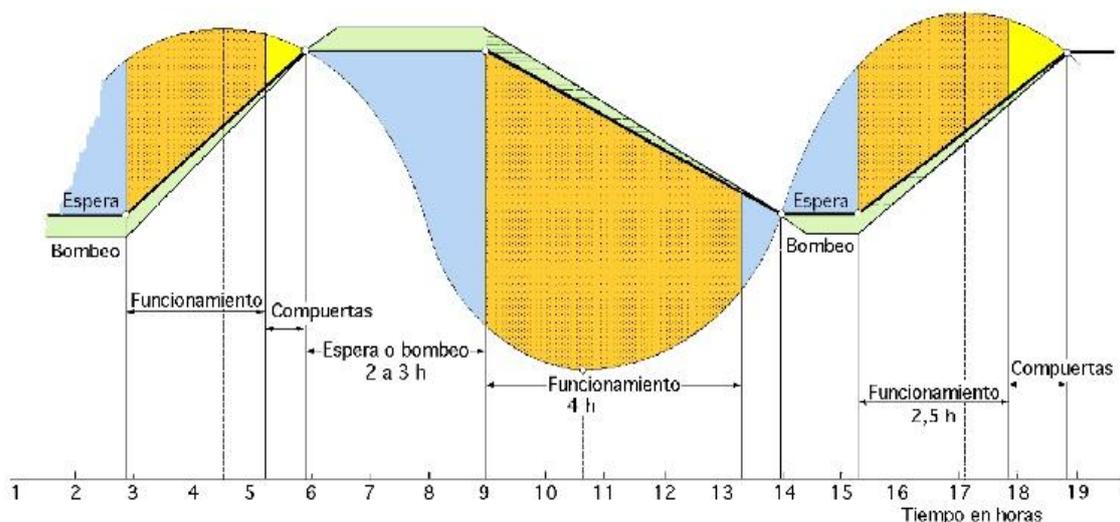


Ilustración 74. Funcionamiento ciclo de doble efecto con bombeo. Fuente: Google imágenes.

Como podemos ver en la ilustración 74, el funcionamiento sería igual que el ciclo de doble efecto, la única diferencia estaría marcada en color verde en la imagen, esto permite aumentar la generación en función de las necesidades de la red eléctrica, ya que como bomba pueden impulsar al embalse entre 1 y 2 metros por encima del nivel de la pleamar, altura que en el turbinaje directo se transforma en 6 ó más metros, con la consiguiente ganancia de energía, hecho que no sucede en las centrales hidroeléctricas con bombeo.

Para aumentar el tiempo de explotación de la central, las turbinas Bulbo reversible 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 el que las turbinas puedan funcionar durante el refluo con mayor carga y más tiempo.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

Ciclos múltiples

Este modo de operación utilizaría varios embalses, con lo que se podría generar energía de una forma más continua a lo largo del día; serían más caros, pues exigirían una obra civil muy costosa, lo que les ha hecho prácticamente inviables.

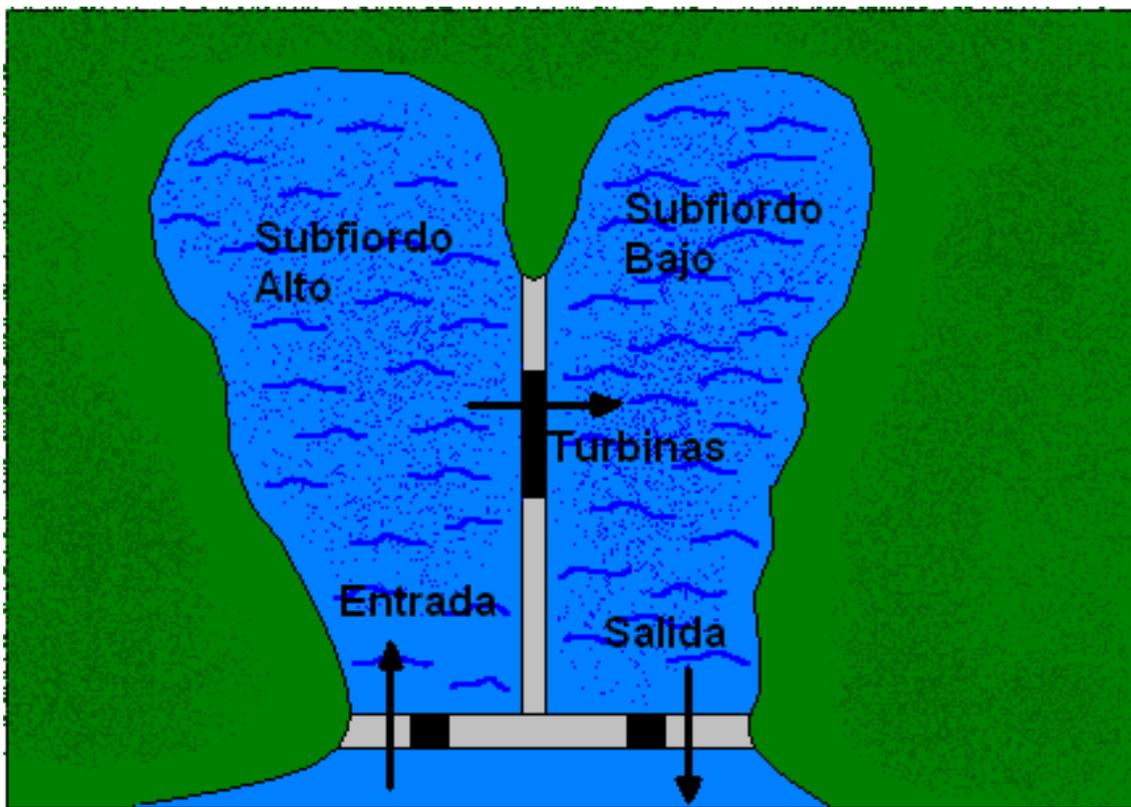


Ilustración 75. Disposición central mareomotriz ciclo múltiple. Fuente: Google imágenes.

En la ilustración 75 vemos la disposición del ciclo múltiple, el modo de operación es parecido al ciclo simple, con la diferencia que tendríamos dos embalses en vez de uno, de esta manera podemos generar energía durante más horas y de una manera más continua.

El embalse de la izquierda sería el que tendría más profundidad, mientras que en de la derecha tendría menos para crear una diferencia de altura entre uno y otro, y como vemos las turbinas se situarían entre medio de los dos embalses en la ilustración 75 vemos la circulación que haría el agua.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

6.3.1 Elección modo de operación

Por último elegiremos el modo de operación más adecuado para nuestro estudio, según la información expuesta anteriormente.

El caso de ciclos múltiples quedaría descartado directamente, ya que aparte que requiere una gran obra civil y un gran desembolso inicial, disponemos de un espacio reducido como para hacer dos embalses diferentes.

En cuanto a las demás opciones me parecen más interesantes en nuestro caso la de doble efecto y la de acumulación por bombeo, ya que son más eficientes que la de simple efecto que solo genera en una dirección.

En definitiva, y con la eficiencia de los dos modos de operación que nos quedan, me parece más interesante el de doble efecto, ya que aunque generes menos energía que con el de acumulación por bombeo la inversión inicial en las turbinas es menor, ya que te hace falta una turbina que también funcione como bomba, además habría que instalar un equipo de arranque para la bomba.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

6.4 Elección de la turbina

Una vez que hemos elegido el modo de operación de doble efecto, y saber que nos hace falta una turbina bidireccional (que funcione en ambos sentido), elegiremos la turbina más adecuada para nuestro caso. Se estudiara tanto el tamaño, la disposición, etc.

Es importante hacer una buena elección ya que junto a la obra civil las turbinas son el gran desembolso de este tipo de centrales.

Se necesitan turbinas que tengas las siguientes características:

- Que funcione con pequeños saltos de agua y un gran caudal.
- Que tengan gran variabilidad de altura de caída como en caudal.
- Que funcionen de forma intermitente.
- Que generen de manera bidireccional.

Las turbinas que más se acercan a estas necesidades son las turbinas de reacción como son las Hélice, Kaplan, y las de tipo Bulbo, el problema de las dos primeras es que sólo funcionan en un sentido.

Estas turbinas se pueden disponer en eje vertical, y mediante el diseño de un sistema de válvulas se podrían utilizar para que la central opere en ambas direcciones, las turbinas dispuestas en eje vertical tienen grandes pérdidas de carga, lo que hace que este sistema no sea factible. Además implica un aumento considerable en las dimensiones de la planta, por lo tanto por estas características las turbinas que más se adaptarían serían las de tipo bulbo, ya que opera de forma axial en ambas direcciones sin necesidad de añadir ningún cambio.

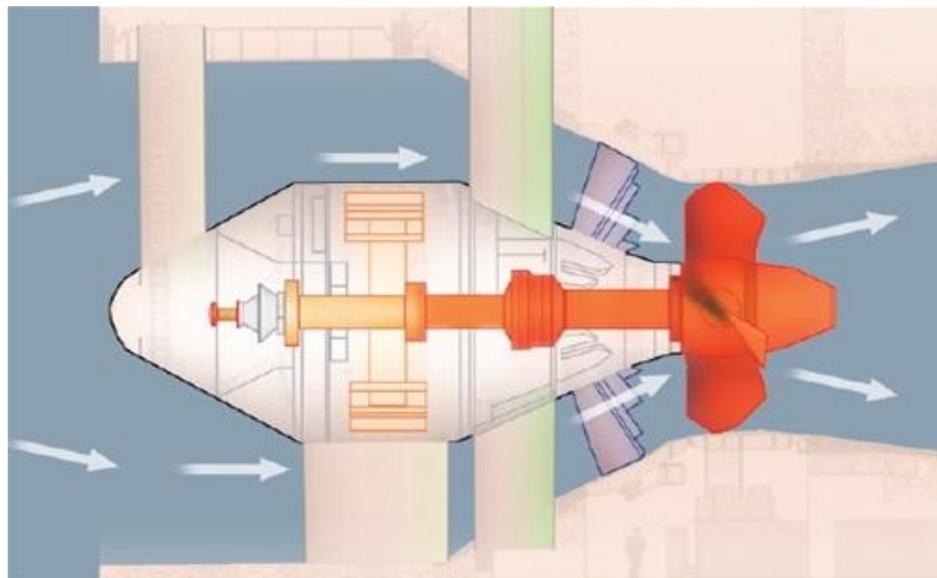


Ilustración 76. Turbina tipo bulbo. Fuente: Google imágenes.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

En la ilustración 76 podemos observar una turbina tipo bulbo como las que instalaríamos en nuestra central mareomotriz, son las turbinas usadas típicamente en las centrales mareomotrices de doble efecto ya que son las más eficientes, en La Rance por ejemplo.

Se las llama así, por su cámara en forma de bulbo o pera, en esta cámara blindada es donde puede colocarse un sistema de transmisión por engranajes para transmitir el movimiento del eje del rotor al generador. En los modelos actuales, el generador se encuentra instalado dentro del mismo bulbo, ya que es la forma más eficiente de instalarlo. Estas turbinas pueden ser instaladas tanto con el eje dispuesto horizontalmente como inclinado.

Las ventajas de estas turbinas frente a otras son las siguientes:

- Una mejor distribución de velocidades del agua sobre las palas, lo que permite un aumento del caudal específico y de la potencia específica, es decir que para obtener la misma potencia se requiere un diámetro del rotor más reducido. Esta reducción es tal que para generar cierta potencia, una turbina de flujo axial requiere un diámetro D y una turbina de eje vertical para producir la misma potencia requiere $1,15 \cdot D$.
- Se disminuyen las pérdidas de carga tanto a la entrada como a la salida, obteniéndose así un mejor rendimiento. Esto además mejora las condiciones a la cavitación, lo que implica una disminución de costo de la obra civil y un generador más económico.

Estas turbinas pueden operar entre los siguientes límites:

Tabla 24. Características turbina tipo bulbo. EP.

Salto, $H(m)$	0,5	15
Caudal, $Q(m^3/s)$	1	250
Velocidad específica, $N_s(rpm)$	600	1150
Diámetro rodete, $D(m)$	0,5	8

En la tabla 24, observamos los entre los límites que puede funcionar una turbina tipo bulbo.

Al tener una altura máxima de agua de unos 9,5 m (en pleamar) y mínimo habrá una altura de 3,5 m (en bajamar), y contando que las turbinas deben de estar totalmente cubiertas de agua podremos disponer de un diámetro máximo de rodete de unos 2,5 m, pero en el conjunto del bulbo tendremos 3,5 m, ya que es más grande que el rodete.

Gracias a diversos estudios, se ha demostrado que las pérdidas de carga más importantes se producen en la entrada y en la salida, cuando las potencias específicas son elevadas. Mediante conductos hidráulicos simples, los grupos Bulbo obtienen pérdidas de carga menores, aumentando así la velocidad específica N_s , y por lo tanto se consigue una potencia específica mayor con un salto dado. Debido a este aumento de la potencia específica se requiere un menor diámetro que las turbinas Kaplan para la misma potencia.

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS
MAREOMOTRICES EN CANTABRIA**

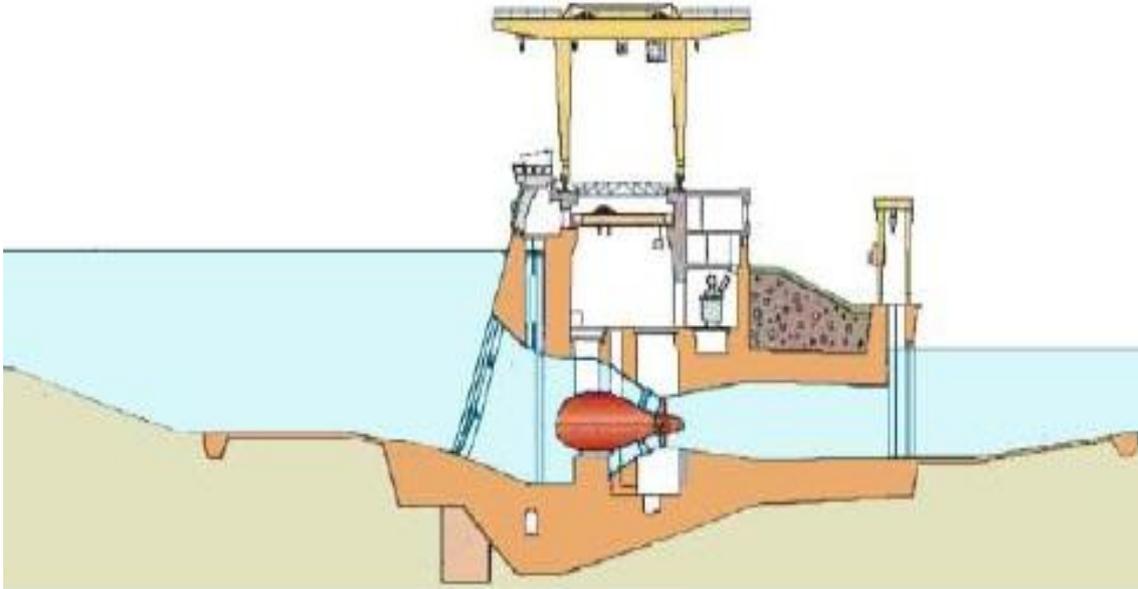


Ilustración 77. Disposición presa y turbina bulbo con conducto simple. Fuente: Google imágenes.

En la ilustración 77, vemos la disposición de la turbina en la presa con la utilización de cámara cerrada y conducto simple, ya que aparte de ser la forma más sencilla, se trata también de la más económica, ya que la central estará situada dentro de la propia presa.

Otro de los datos importantes a tener en cuenta se trata de los conductos ya que hay que tener en cuenta la pérdida de carga que se produce en ellos. Los conductos deberán tener más o menos una relación de diámetro de 0,9 con el diámetro del rodete en este caso serían uno 2,2 m de diámetro de conducto ensanchándose hasta los 3,5 m en el grupo bulbo, dispuesto de compuertas tanto en la entrada como en la salida para que las turbinas funcionen cuando nos interese.

El número de turbinas lo que podemos instalar lo calcularemos más adelante, ya que necesitamos saber de qué espacio disponemos en la presa y la potencia que podemos generar.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

6.5 Dimensiones de la presa

En este apartado hablaremos del lugar exacto de colocación de la presa así como de sus dimensiones (altura, longitud y grosor), sus componentes etc. Para ello estudiaremos el terreno y las condiciones que se podrían dar para que no haya ningún problema después de su instalación, como bien sabemos esta construcción es esencial para este tipo de centrales ya que la presa es la que retiene el agua contiene las turbinas etc.

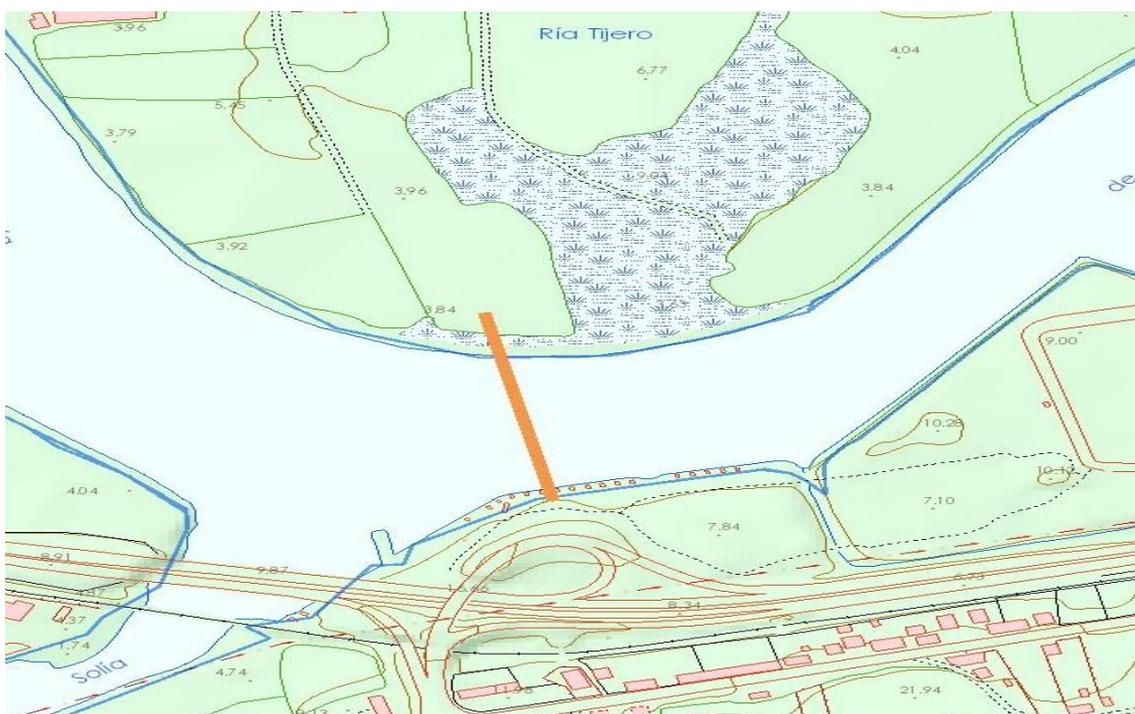


Ilustración 78. Mapa ubicación exacta presa de marea. Fuente: Mapas Cantabria.

Primero dispondremos la colocación exacta, escogeremos la que está marcada en naranja en la ilustración 78, teniendo una longitud total de 210 m, hemos escogido este lugar porque hay grandes corrientes como ya vimos en la ilustración 57, esto nos ayudara a generar más energía al paso del agua por las turbinas. Otro de los factores por lo que hemos escogido este lugar, es porque en el margen de arriba hay una mayor pendiente que en los lugares de alrededor, con lo cual nos permite encajar mejor la presa, problema que no tenemos en el margen de abajo, donde tenemos una mayor pendiente y por lo tanto la presa es más corta.

En cuanto a la altura deberemos tener en cuenta las siguientes consideraciones, en la zona de colocación tenemos unos 6 m de máxima de profundidad, si a esto le sumamos los 3 m de subida que tendríamos de pleamar máxima como vimos anteriormente tenemos 9 m. Pero también debemos tener en cuenta la llamada marea meteorológica provocada por los vientos y lluvias que puede tener unos valores máximos de 0,5 m, con lo cual con una presa de 11 m de altura en el centro del canal debería ser suficiente.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Por otro lado tenemos el grosor como bien sabemos una estructura de estas dimensiones tiene que ser fuerte y resistente, ya que tiene que soportar la fuerza del mar continuamente, por lo tanto viendo ejemplos de otras presas de marea (como La Rance) utilizaremos una proporción similar de altura/grosor, estimamos que una presa de 9 m de grosor sería suficiente.

Una presa de marea debe disponer en su longitud un espacio tanto para las turbinas, como es obvio, como para una serie de compuertas que se utilizan para dejar pasar el agua cuando no estamos generando energía y las turbinas están sin funcionar, como para liberar agua cuando sea necesario. Estas compuertas las dispondremos en el margen izquierda de la presa (parte de arriba), ya que en el margen derecho irán las turbinas donde hay mayor profundidad, dispondremos de 3 compuertas dispuestas en 40 m de longitud. Estas compuertas tendrán unas dimensiones de 9 metros de largo por 5 metros de alto, teniendo la capacidad de transportar un caudal de hasta $675 \text{ m}^3/\text{s}$ con una diferencia de 1 m entre el mar y el embalse. Las compuertas tienen el peligro de corroerse, ya que el agua del mar es muy corrosiva, por lo tanto deberemos aplicar empleados pinturas anticorrosivas y tratamientos galvánicos.

La presa estará construida de hormigón y llevara una capa impermeable en su exterior para impedir las filtraciones de agua, con el fin de que haya las menos pérdidas posibles.

La sala de máquinas de las turbinas se situara en un espacio encima de estas. Para la distribución de las turbinas tenemos unos 140 metros restantes para saber el número máximo de turbinas que podemos encajar, teniendo en cuenta que en lo que es el bulbo (es lo que más diámetro tiene) hay 3,5 m y dejaremos un espacio entre turbina y turbina de unos 3,5 m nos ocuparía cada una unos 7 m por lo tanto si lo dividimos entre 140 m de espacio podremos instalar como máximo 20 grupos bulbo en nuestra presa, por el espacio disponible, pero lo calcularemos según el caudal máximo permitido para cada turbina.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

6.6 Energía generada

En este apartado estimaremos la energía que nos puede proporcionar esta central mareomotriz anualmente, para ello utilizaremos la siguiente fórmula.

$$E = P \times t$$

E= energía anual (MWh)

P=potencia instalada (MW)

t= horas anuales de funcionamiento (h)

Los datos de partida son para calcular la energía son:

- Salto entre el embalse y el estuario(H) = 6 m
- Rendimiento total turbina (η_T) = 0,9
- Volumen agua turbinada (V)= 1.350.000 + 3.105.000 = 4.455.000 m³
- Horas de funcionamiento totales diarias(t)= 13 h
- Diámetro rodete turbina (D)= 2,5 m
- Densidad agua del mar (ρ)= 1025 kg/m³
- Fuerza de la gravedad (g)= 9,81 m/s²

Tendremos un salto de unos 6 m, y tendremos un rendimiento total de unos 0,9 que es el que suelen tener estas turbinas, calcularemos primero el caudal total que tiene que pasar de un lado a otro del embalse por las turbinas, en cada turbinaje con el volumen de agua que tenemos que tenemos en el embalse, que será el comprendido entre los sectores 1 y 3, ya que entre el 0 y el 1 será el límite de bajamar, dividido entre el tiempo que tarda en pasar de un lado a otro.

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{(4.455.000)}{(4 \times 60 \times 60)} = 309,37 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ahora vamos a calcular la potencia total que tendremos en nuestra central:

$$P = \eta_T \times \rho \times g \times H \times Q = 0,9 \times 1025 \times 9,81 \times 6 \times 309,37 = 16798280,54 \text{ W} \sim 16,8 \text{ MW}$$

Como vimos anteriormente el modo de operación escogido de doble efecto, está en funcionamiento de unas 12 a 14 horas diarias, unas 6 o 7 horas por marea (cogeremos un término medio de 13 horas). Por lo tanto el número de horas anuales de funcionamiento serán:

$$t = 13 \text{ h} / \text{día} \times 365 \text{ días} / \text{año} = 4745 \text{ h/año}$$

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Ahora vamos a calcular el factor de planta de la central, que sería la energía real generada entre la energía a plena carga, es uno de los problemas de estas centrales que el factor de potencia es bajo comparado con otras tecnologías.

$$\text{Factor de planta} = \frac{E.\text{real}}{E.\text{plena carga}} = \frac{4745}{8760} = \mathbf{0,54\%}$$

Por último calcularíamos energía con la fórmula del principio, multiplicando la potencia total por las horas de funcionamiento anuales:

$$E = P \times t = 16,8 \times 4745 = 79.716 \text{ MWh} \sim \mathbf{79,72 \text{ GWh}}$$
 energía generada anualmente.

De media un hogar español consume unos 10000 KWh anuales, con esta central podríamos cubrir un total de 7972 hogares españoles.

Estas turbinas con este diámetro de 2,5 m pueden transportar un caudal máximo de 20 m³/s, por lo tanto con un caudal total de 309,37 m³/s, la instalación tendrá un número total de turbinas de:

$$\text{Número de turbinas} = \frac{309,37}{20} = 15,47 \sim \mathbf{16 \text{ turbinas totales.}}$$

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

6.7 Viabilidad económica

En este apartado estudiaremos todo lo relacionado con los costes y la viabilidad económica del estudio. Esta parte del estudio ha resultado bastante complicado de elaborar, ya que apenas hay datos de los costes de estas centrales y estos dependen mucho del lugar del planeta donde se elaboren. De las centrales en funcionamiento como La Rance, o Sihwa, no hay prácticamente datos económicos publicados, estos datos se llevan con un sorprendente secretismo.

Uno de los grandes problemas de esta tecnología es el elevado coste del KW instalado, ya que como hemos citado en este estudio la inversión inicial es muy alta. El principal factor que incide negativamente en este alto coste es la obra civil de construcción del dique, que supone más de la mitad del coste de la planta. A esto hay que añadir la larga duración del proceso constructivo de la central, entre 3 y 10 años, dependiendo de la magnitud de la presa en este caso no es muy grande, con lo cual estimamos que su construcción llevara unos 3 años, y a su bajo coeficiente de factor de planta debido a las variaciones de la amplitud de la marea, (mareas vivas y muertas).

Entre los factores que inciden positivamente hay que citar el bajo coste de operación y mantenimiento, inferior al 0,5% y la alta disponibilidad, superior al 95%, que está relacionada con el elevado número de grupos, y también que tiene buenas propiedades de reembolso ya que, estas centrales pueden llegar a tener vidas útiles de hasta 120 años, aunque se suele tardar de media unos 40 años en recibir beneficios en este tipo de centrales.

Por la falta de documentación, como hemos dicho anteriormente, hallaremos de forma generalizada los costes, en este tipo de centrales el coste por KW instalado suele rondar los 3500 €, tanto de la inversión inicial como del mantenimiento como los costes operativos de la instalación.

A continuación hallaremos la inversión inicial para la construcción de la central:

$$\text{Inversión inicial} = 3.500\text{€/KW} \times 16.800\text{KW} = \mathbf{58.800.000 \text{ €}}$$

Los costes de mantenimientos y operativos se estiman que son de unos 40€ por KW instalado y por año que este la central operativa, por lo tanto estos costes serán los siguientes:

$$\text{Costes operativos} = 40\text{€/KW} \times 16.800\text{KW} = \mathbf{672.000 \text{ €/año}}$$

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

En cuanto al precio del KWh generado es de unos 0,04 € para las presas de marea, muy similar al de la energía hidroeléctrica, por lo tanto se considera que la presa de marea tiene unos precios muy competitivos.

A continuación hallaremos los ingresos generados para cada año:

$$\text{Ingresos generados} = 0,04\text{€/KWh} \times 79.720.000\text{KWh} = \mathbf{3.188.800 \text{ €/año}}$$

Con estos datos de la inversión inicial, el coste operativo y los ingresos generados valoraremos la viabilidad económica de la central mareomotriz. Para ellos es necesario comparar estos datos, a fin de establecer una conclusión final.

Analizaremos esta viabilidad mediante el método del Periodo de Retorno (PR). Para conocer el Periodo de Retorno de la inversión de la instalación mareomotriz es necesario apoyarse en la inversión inicial, los costes de operación y los ingresos anuales, los podemos observar en la siguiente tabla:

Tabla 25. Tabla de costes e ingresos. EP.

Criterios	Precio	Unidad
Inversión inicial	58.800.000	€
Costes	672.000	€/año
Ingresos	3.188.800	€/año
Ganancias	2.516.800	€/año

De la tabla 25, se pueden extraer principalmente los siguientes datos, necesarios para conocer el Periodo de Retorno:

- Desembolso inicial: 58.800.000 €
- Ganancias anuales: 3.188.800 € – 672.000 € = **2.516.800 €/año**

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Con todo esto se puede ver la evolución de los ahorros a lo largo de los años necesarios para recuperar la inversión inicial. Para calcular el flujo de caja de cada periodo se aplica la siguiente fórmula:

$$Q_j = C_j - P_j$$

Dónde:

- Q_j es el flujo de caja para el periodo J.
- C_j es el cobro para el periodo J.
- P_j son los pagos para el periodo J.

Tabla 26. Tabla Periodo de Retorno inversión. EP.

Periodo	Gastos/Ingresos	Flujo de caja
Q1	-58800000	-49105000
Q2	2516800	-46588200
Q3	2516800	-44071400
Q4	2516800	-41554600
Q5	2516800	-39037800
Q6	2516800	-36521000
Q7	2516800	-34004200
Q8	2516800	-31487400
Q9	2516800	-28970600
Q10	2516800	-26453800
Q11	2516800	-23937000
Q12	2516800	-21420200
Q13	2516800	-18903400
Q14	2516800	-16386600
Q15	2516800	-13869800
Q16	2516800	-11353000
Q17	2516800	-8836200
Q18	2516800	-6319400
Q19	2516800	-3802600
Q20	2516800	-1285800
Q21	2516800	1231000

Como podemos observar en la tabla 26, se tardaría 21 años en recibir un flujo de caja positivo, aunque para cualquier proyecto es mucho tiempo, pero en las centrales mareomotrices se tarda bastante tiempo en percibir un flujo de caja positivo.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Veamos cuantas ganancias tendrá el proyecto en su vida útil, vamos a poner 100 años:

$$\text{Ganancias totales} = -58.800.000 \text{ €} + (100 \text{ años} \times 2.516.800\text{€/año}) = \mathbf{310.480.000 \text{ €}}$$

Tendría el proyecto, unas ganancias totales de unos 310 millones de euros, eso sí para un tiempo de 100 años, que a primera vista se antoja un tiempo demasiado largo.

Como finalización de la viabilidad económica, se resumen la siguiente tabla los aspectos globales de producción e ingresos principales de la central mareomotriz resultante.

Tabla 27. Tabla costes, ingresos y ganancias totales. EP.

Criterios	Precio	Unidad
Inversión inicial	58.800.000	€
Costes	672.000	€/año
Ingresos	3.188.800	€/año
Ganancias	2.516.800	€/año
Ganancias Totales	310.480.000	€

La conclusión que se extrae del análisis de la viabilidad económica es que el Periodo de Retorno de esta central mareomotriz es de aproximadamente 21 años. La instalación de central se considera que tiene una vida útil de unos 100 a 120 años, por lo que supondría entre 80 y 100 años de ganancias.

En cuanto, a la expropiación de tierras utilizadas para almacenar agua en el embalse propondremos al ayuntamiento de Marina de Cudeyo, que es el municipio donde se sitúa la presa como vimos anteriormente, la venta de la electricidad generada por la presa de marea un 25% más barata, es decir, a 0,03 €/KWh durante los primero 20 años.

$$\text{Ahorro} = 0,01 \text{ €/KWh} \times 79.720.000 \text{ KWh} = 797.200 \text{ €} \times 20 \text{ años} = \mathbf{15.944.000 \text{ €} \text{ totales}}$$

Con lo que los vecinos de Marina de Cudeyo se ahorrarían un total de 16 millones de euros en total en los 20 años que duraría la rebaja.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

7. Conclusión final

Dentro de este último apartado del presente estudio, se expondrán los puntos o conclusiones a las que se pueden llegar a la vista de los distintos resultados y factores analizados.

Primero se confirma que España tiene un gran potencial en lo que a energía oceánica se refiere, debido a que tiene muchos kilómetros de costa y bañadas por diferentes mares y océanos. En cuanto a energía mareomotriz hemos visto que España tiene en el Estrecho de Gibraltar un gran potencial para instalar generadores de corriente. Por otro lado en lo que a la presa de marea se refiere, quizás la amplitud de marea (parámetro más importante de esta tecnología), sea un poco justo para que esta tecnología sea rentable en nuestro país, como hemos ido demostrando en este estudio.

Globalmente la energía mareomotriz de presa de marea está bastante asentada, en la actualidad hay varios proyectos realizados, que no se acaban de realizar debido a que esta tecnología genera alguna duda, principalmente debido a su gran inversión inicial, el bajo factor de planta, los grandes impactos ambientales que provoca y las grandes cantidades de terreno que necesita. También tiene puntos favorables como que es una energía limpia, renovable, infinita, produce energía independientemente de la época del año y de la meteorología, tienen una gran vida útil.

En cuanto a la energía mareomotriz de corriente de marea, está en pleno auge y se están realizando varias investigaciones y proyectos tanto nacionales como globales, ya que es una energía con un potencial enorme. En un futuro no muy lejano habrá varios parques de generadores de corriente alrededor de todo el mundo.

El presente estudio realizado, decir que es complicado encontrar una ubicación ideal para la instalación de una presa o parque mareomotriz ya que requieren una amplitud de marea y una velocidad de corriente, respectivamente, que se dan en pocos lugares del mundo, por lo tanto es muy complicado encontrar un emplazamiento adecuado, además como vemos en el presente estudio hacen falta más características, principalmente para la presa de marea.

Al realizar las cuentas del estudio, uno de los grandes problemas que presenta es que necesita mucha potencia instalada para generar suficiente energía, debido al bajo factor de potencia generado, debido a las mareas muertas y vivas principalmente, por lo tanto se debería hacer una central mareomotriz de grandes dimensiones para sacarla el mayor beneficio posible.

Otro de los grandes problemas para la elaboración del presente estudio es la falta de información sobre otras instalaciones mareomotrices realizadas en el mundo, por lo tanto el estudio se ha realizado con algo de información de otros trabajos, la central de La Rance es de lo poco que se encuentra algún dato, y con una búsqueda exhaustiva por internet. La información que hay principalmente en inglés, proveniente del Reino Unido, ya que estos países tienen un gran potencial en lo que a energía mareomotriz se refiere.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

La turbina es la misma que la de central de La Rance, llamada turbina bulbo. Ya que es la única que funciona axialmente en ambos sentidos, además de que requiere menos diámetro y son menos costosas.

En el aspecto económico creo que una central de presa de marea de estas dimensiones tan pequeñas, no merece la pena, a no ser que tengas una amplitud de marea muy grande (y no es el caso de Cantabria), porque con el bajo factor de planta para la inversión inicial que tienes que hacer generas poca energía y tardas bastantes años en reembolsarlo, en este caso 21 años, aunque tiene una gran vida útil. Este hecho es uno de los problemas por los que no se den apoyos para la construcción de centrales mareomotrices pequeñas.

En resumen, si bien es cierto que las tecnologías descritas en el estudio albergan todavía ciertos problemas, en gran medida económicos, además de ser tecnologías jóvenes (corriente de marea más que presa de marea), también se puede afirmar que se postulan como serias opciones de futuro energético de aquí en unos años, cuando su precio baje y sean más competitivas en el mercado. En cuanto se refiere a Cantabria, para finalizar, se ha demostrado en el estudio que no tendría potencial para la instalación de dispositivos de corrientes de marea ni en los estuarios ni en alta mar, debido a que no llegan a las velocidades de corriente mínimas para su viabilidad, y en lo referente a las presas de marea su amplitud debería ser algo más grande para su viabilidad, ya que en ubicaciones como Francia, Canadá o Reino Unido para un mismo embalse generaría más energía que en Cantabria, debido a tener una amplitud mayor.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

8- Bibliografía

- Introducción:

http://benasque.org/2009fronterasenergia/talks_contr/064ERP-Problema_Ener.pdf

- Estado del arte:

-“World Energy Resources Marine Energy | 2016” – World energy council.

https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_Marine_2016.pdf

-“Energía de las corrientes marinas: aplicación estrecho de Gibraltar” - Ángeles Barea Luna.

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5711/fichero/ENERG%C3%8DA+DE+LAS+CORRIENTES+MARINAS.pdf>.

-“Wave and Tidal Energy Market Deployment Strategy for Europe” – SI Ocean.

https://www.oceanenergy-europe.eu/wp-content/uploads/2017/10/SI_Ocean_Market_Deployment_Strategy_-_Web_version.pdf

-“Energías Mareomotriz y de Corrientes Marinas. Turbinas Submarinas de 1 MWe” - Ángel Fernández Álvarez.

<https://ainaval.wordpress.com/2012/02/07/la-energia-de-las-mareas-turbinas-submarinas-de-1-mwe/>

-<http://www.aquaret.com>

- Cuencas hidrográficas de Cantabria:

-Plan Hidrológico - Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental – Gobierno de España.

<https://www.chcantabrico.es/2009-2015/ph-dhc-occidental>

- Tablas de mareas:

-<http://www.tablademareas.com/es/cantabria/santander>

-<http://www.puertos.es/es-es>

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

- Ría de Suances:
 - “Surface analysis of free surface and velocity to changes in river flow and tidal amplitude on a shallow mesotidal estuary: An application in Suances Estuary (Northern Spain)” –Javier F. Barcena, Andres García, Javier García, Cesar Álvarez, Jose A. Revilla.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411009048>
 - Directiva marco del agua Cantabria
<http://dmacantabria.cantabria.es/visorWeb/pdf/ESTUARIOS/SanMartinDeLaArena.pdf>
 - <http://www.suances.es/>
 - <http://mapas.cantabria.es/>
- Bahía de Santander:
 - “Modelo hidrodinámico y de la calidad en la bahía de Santander” – Igor Granado Dominguez.
<https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/10073>
 - “Desarrollo de un modelo hidrodinámico tridimensional para el estudio de la propagación de ondas largas en estuarios y zonas someras” – Sonia Castanedo Bárcena.
<https://www.tdx.cat/handle/10803/10623>
 - <http://mapas.cantabria.es/>
- Dimensionamiento:
 - Elección turbina.
 - “Los grupos de paso axial, tipo bulbo, desarrollo actual y perspectivas futuras”
<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/8854/Capitulo8.pdf>
 - “Turbina tipo bulbo” – Fuentes de ahorro de energía.
<https://equipo2fae.wordpress.com/turbina-tipo-bulbo/>
 - Modos de operación.
 - “Centrales mareomotrices” – Pedro Fernández Díez.
<http://es.pfernandezdiez.es/libro/?id=5>

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

-Construcción presa.

-“Aprovechamiento hidroeléctrico de las mareas y su posible desarrollo en Chile” –Jordi Sebastián Daga Kunze.

http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/daga_ik/sources/daga_ik.pdf

- Viabilidad Económica.(datos numéricos).

-“Cost of and financial support for wave, tidal stream and tidal range generation in the UK” -Departamento de de energía y cambio climático y el gobierno de Escocia.

http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20121205081857/http://www.decc.gov.uk/assets/decc/what%20we%20do/uk%20energy%20supply/energy%20mix/renewable%20energy/explained/wave_tidal/798-cost-of-and-finacial-support-for-wave-tidal-strea.pdf

- Apuntes de asignaturas del grado:

-Energías renovables (4º Grado en Ingeniería de Recursos Energéticos).

-Proyectos energéticos (3º Grado en Ingeniería de Recursos Energéticos).

- Otros:

-“The potential of tidal energy production” – Green facts.

<https://www.greenfacts.org/en/tidal-energy/l-2/1.htm#0>

-“Cuantificación de energía de una planta mareomotriz” – J. López Gonzalez.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432010000200009

-“La energía mareomotriz como energía renovable” – Carlos fabian.

<https://www.monografias.com/trabajos93/energia-mareomotriz/energia-mareomotriz.shtml>

-<http://www.cie.unam.mx/~rbb/Mae/EnergiaMareomotriz.pdf>

-<https://es.wikipedia.org>

<http://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum12/vdm007.htm>

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Consumo de energía primaria mundial 2001-2050 por regiones. Fuente:	4
Ilustración 2. Consumo de energía primaria mundial año 2015 por combustible.....	4
Ilustración 3. Producción energía renovable 2006-2018 por regiones.	5
Ilustración 4. Cuota de energías renovables consumida en 2012 y objetivo para 2020.	7
Ilustración 5. Potencia instalada renovable 2007-2016 en España (MW).	8
Ilustración 6. Porcentaje de energía renovable en la producción mundial de electricidad 2015.	12
Ilustración 7. Grado de madurez de las distintas tecnologías oceánicas.....	14
Ilustración 8. Coste de las diferentes tecnologías en la generación de energía (\$ / MWh)	15
Ilustración 9. Mareas lunares provocadas por las fuerzas centrífugas y gravitacionales.	19
Ilustración 10. Ley de la gravitación de Newton.	20
Ilustración 11. Superposición de los efectos gravitacionales lunar y solar.....	21
Ilustración 12. Ciclo diario de las mareas en España.	22
Ilustración 13. Tipos de generadores de corriente de marea existentes en la actualidad.	24
Ilustración 14. Disposición y funcionamiento de la presa de marea.	25
Ilustración 15. Diferentes disposiciones de la tecnología en lago de marea.	25
Ilustración 16. Lugares con un rango de marea importante en el mundo.	27
Ilustración 17 En rojo, posibles emplazamientos para el aprovechamiento de la energía de corriente de marea.....	28
Ilustración 18. Disposición de la central mareomotriz de La Rance(Francia).	30
Ilustración 19. Proyecto sobre el sobre el estuario Severn de 1989.....	32
Ilustración 20. Proyecto GESMEY.	38
Ilustración 21. Proyecto Magallanes.	39
Ilustración 22. Histograma amplitud de marea zona de Santander 1992-2018.	53
Ilustración 23. Gráfico: Amplitud de marea (m) zona de Santander 1992-2018.	54
Ilustración 24. Velocidad y dirección de la corriente en el Mar Cantábrico 30/04/2018.	55
Ilustración 25. Medias y máximas mensuales de la velocidad (cm/s) en la boya de Santander 2007-2018.	56
Ilustración 26. Principales cuencas hidrográficas de Cantabria.	58
Ilustración 27. Localización de las Marismas de Santoña.	61
Ilustración 28. Delimitación de las Marismas de Santoña en rojo y límite de bajamar en azul.	62
Ilustración 29. Batimetría Marismas de Santoña.	62
Ilustración 30. Localización de la Ría de Tina Menor.	64
Ilustración 31. Delimitación de la Ría de Tina Menor en rojo y límite de bajamar en azul.	65
Ilustración 32. Batimetría Ría de Tina Menor.	65
Ilustración 33. Localización de la Ría de Suances.	67
Ilustración 34. Ría de Suances y límite de bajamar en azul.	68
Ilustración 35. Batimetría Ría de Suances.	68
Ilustración 36. Localización Bahía de Santander.	70
Ilustración 37. Delimitación de la Bahía de Santander en rojo y límite de bajamar en azul.	71
Ilustración 38. Batimetría Bahía de Santander.	71

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Ilustración 39. Localización Ría de Mogro.....	73
Ilustración 40. Delimitación de la Ría de Mogro en rojo y límite de bajamar en azul.	74
Ilustración 41. Batimetría Ría de Mogro.	74
Ilustración 42. Ubicación Ría de Suances y Bahía de Santander.....	77
Ilustración 43. Localización Ría de Suances.	78
Ilustración 44. Estuario de Suances con diferentes datos de interés.	79
Ilustración 45. Batimetría Ría de Suances.	80
Ilustración 46. Percentiles de los caudales del río Saja-Besaya.	81
Ilustración 47. Límites Ría de Suances.	82
Ilustración 48. Puertos situados en la Ría de Suances	83
Ilustración 49. Diferentes velocidades de la corriente, ría de Suances.	86
Ilustración 50. Localización bahía de Santander.	87
Ilustración 51. Bahía de Santander.	88
Ilustración 52. Batimetría Bahía de Santander.	89
Ilustración 53. Percentiles de los caudales del río Miera.....	90
Ilustración 54. Límites Bahía de Santander.	91
Ilustración 55. Puertos situados en la Bahía de Santander.....	92
Ilustración 56. Puertos situados en la Bahía de Santander.....	93
Ilustración 57. Velocidades de la corriente vaciante y llenante, Bahía de Santander.	94
Ilustración 58. Situación óptima presa de marea, ría de Suances.	96
Ilustración 59. Situación óptima presa de marea, ría de Suances.	97
Ilustración 60. Situación óptima presa de marea, Bahía de Santander.	98
Ilustración 61. Situación óptima presa de marea, Bahía de Santander.	99
Ilustración 62. Situación óptima generadores de corriente, ría de Suances.	100
Ilustración 63. Situación óptima generadores de corriente, ría de Suances.	101
Ilustración 64. Situación óptima generadores de corriente, Bahía de Santander.	102
Ilustración 65. Situación óptima generadores de corriente, Bahía de Santander.	103
Ilustración 66. Mapa ubicación presa de marea.	105
Ilustración 67. Primer sector embalse.	107
Ilustración 68. Segundo sector embalse.	108
Ilustración 69. Segundo sector embalse.	108
Ilustración 70. Disposición central mareomotriz ciclo de simple efecto.	110
Ilustración 71. Funcionamiento ciclo simple efecto en un día.....	111
Ilustración 72. Disposición central mareomotriz ciclo de doble efecto.....	112
Ilustración 73. Funcionamiento ciclo de doble efecto en un día.	113
Ilustración 74. Funcionamiento ciclo de doble efecto con bombeo.....	114
Ilustración 75. Disposición central mareomotriz ciclo múltiple.....	115
Ilustración 76. Turbina tipo bulbo.....	117
Ilustración 77. Disposición presa y turbina bulbo con conducto simple.....	119
Ilustración 78. Mapa ubicación exacta presa de marea.....	120

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UBICACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS MAREOMOTRICES EN CANTABRIA

Índice de tablas

Tabla 1. Potencia energía oceánica instalada y proyectada en América del Norte en 2016.....	16
Tabla 2. Potencia energía oceánica instalada y proyectada en Europa en 2016.....	16
Tabla 3. Potencia energía oceánica instalada y proyectada en Asia en 2016.	17
Tabla 4. Potencia energía oceánica instalada y proyectada en el mundo por tecnologías en 2016.....	17
Tabla 5. Instalaciones y proyectos de presa de marea, 2016. .	29
Tabla 6. Proyecto Sea Gent..	34
Tabla 7. Proyecto Tidal Stream Turbine..	34
Tabla 8. Proyecto AR..	35
Tabla 9. Proyecto Kobold.	35
Tabla 10. Proyecto Torcado.	36
Tabla 11. Proyecto Proteus.	36
Tabla 12. Proyecto Cleant Current.	37
Tabla 13. Comparación de las mareas en Bilbao y Santander en los meses de junio y Diciembre de 2016.....	51
Tabla 14. Resumen de las mareas Santander de 2016.	52
Tabla 15. Principales cuencas hidrográficas de Cantabria.	58
Tabla 16. Puntuación según el comportamiento por el método de ordenación simple.	60
Tabla 17. Puntuación de la ubicación 1.	63
Tabla 18. Puntuación de la ubicación 2.	66
Tabla 19. Puntuación de la ubicación 3.	69
Tabla 20. Puntuación de la ubicación 4.	72
Tabla 21. Puntuación de la ubicación 5.	75
Tabla 22. Puntuación de todas las ubicaciones.	76
Tabla 23. Áreas y volúmenes del embalse. .	109
Tabla 24. Características turbina tipo bulbo.	118
Tabla 25. Tabla de costes e ingresos.	125
Tabla 26. Tabla Periodo de Retorno inversión.	126
Tabla 27. Tabla costes, ingresos y ganancias totales.	127