



POTENCIAL ENERGÉTICO DE LAS MAREAS EN LA RÍA DE AVILÉS CON HEC-RAS 2D

Yenny Marcela Toro Ortiz ^[*], **Eduardo Blanco Marigorta** ^[**], **Rodolfo Espina Valdes** ^[**]

[*] **Alumno**; [**] **Tutor(es)**
UO266948@uniovi.es

Departamento de Energía. Universidad de Oviedo.

RESUMEN

En la actualidad la población de la tierra ha ido aumentando y con ella el consumo de energía, agotando poco a poco los recursos naturales y generando CO₂ con mayor frecuencia. Por esta razón es necesario buscar una alternativa para abastecer la demanda energética, una de estas es la energía marina.

Aunque se encuentra poco desarrollada por las limitaciones tecnológicas, las elevadas inversiones y el impacto ambiental, se sigue investigando y desarrollando poco a poco.

En este trabajo fin de máster se realiza una evaluación para determinar el potencial energético aprovechable a lo largo de la ría de Avilés (España).

Para esto se ha utilizado un software (Hec-ras) hidráulico bidimensional de flujo en lamina libre para aguas poco profundas, utilizando un modelo geométrico a partir de datos geográficos de libre acceso e información náutica.

Los resultados muestran que existe aquí una zona con un potencial energético viable de utilizar desde el punto de vista técnico.

ABSTRACT

Today, the population of the earth has increased and with it, the consumption of energy, gradually depleting natural resources and generating CO₂ with more frequency. For this reason, it is necessary to find an alternative to supply the energy demand, one of these is the marine energy.

Although it is underdeveloped because of the technological limitations, the high levels of investment and environment impact, it continues to be researched and developed by little.

In this final master's work, we are making an evaluation to determine the usable energetic potential along the Avilés estuary (Spain).

For this purpose, we are using a two-dimensional hydraulic flow rate software in free sheet for shallow water, called (Hec-ras), applying a geometric model from free access geographic data and nautical information.

The results show that it exists an area here with a viable energetic potential to be used from the technical view.

1. INTRODUCCIÓN

Gracias a los avances tecnológicos que se tiene hoy día se logra obtener energía de diferentes fuentes, como lo son las



primarias y las secundarias. Siendo las primeras aquellas que provienen de la naturaleza por ejemplo el sol, el viento, los minerales radioactivos, entre otras; y las secundarias aquellas que por una transformación física o química de las primarias se puede obtener energía eléctrica.

También se subclasifican en renovables y no renovables, las primeras dependen si sus reservas no son agotables a gran escala como por ejemplo la hidroeléctrica, la biomasa, la solar, la eólica, la geotérmica, la mareomotriz. También estas son consideradas renovables limpias porque son amigables al ambiente, es decir reducen su contaminación. Las no renovables son entonces las que se pueden agotar de manera más rápido en el tiempo como lo son los combustibles fósiles, carbón y la nuclear. Y estas son no limpias o sucias porque tienen altos grados de contaminantes a la atmósfera.

Durante las últimas dos décadas, ha surgido un gran interés a favor de la integración de las energías renovables en la combinación energética y eléctrica para garantizar la seguridad en el marco de las políticas de transición energética, pero también para luchar contra el cambio climático(Hache, 2018).

La energía hidroeléctrica, que indirectamente proviene de la energía solar, comparte las ventajas de ser autóctona, limpia como el resto de energías renovables(Díaz Alonso, 2014).

Una forma de tener energía usando los recursos hídricos existentes como la mareomotriz, esta es producida por el movimiento de las mareas. Las mareas, que están definidas como el cambio en el nivel de las aguas del mar, se pueden dividir en marea astronómica y meteorológica. En las costas, la marea

meteorológica es producida por fenómenos meteorológicos cercanos o alejados en el mar; su principal variable es el viento, que puede ser incrementado por sistemas de baja presión y produce el oleaje, y que al impactar en la costa incrementa el nivel del mar en ella(Polo, Rodríguez, & Sarmiento, 2008). La marea astronómica es el movimiento periódico de ascenso y descenso de las aguas del mar producido por la atracción de los astros, principalmente el sol y la luna(Kamphuis, 2010).

Los estuarios no producen respuesta a las fuerzas astronómicas, la amplitud y la fase de las mareas, depende de la amplitud de las mareas en mar abierto que conecta con este mar y de la cercanía a que se esté de la frecuencia de resonancia, ya que esta resonancia ocurre cuando la onda estacionaria cuya longitud de onda es el doble que la de la bahía. Por estas razones las corrientes son más fuertes en estuarios que en mar abierto, y es necesario tener en cuenta que en aguas someras existe el fenómeno de mareas internas o mareas baroclínicas. Estas son ondas internas de gravedad, y se generan por la presencia de estratificación en el océano en zonas de fondo irregular y con pendientes pronunciadas. Las mareas baroclínicas crean una distribución no uniforme de velocidad en función de la profundidad, provocando incluso velocidades contrarias a las corrientes de mareas. Este fenómeno se puede presentar en cualquier momento, siendo de mayor importancia en temporadas de mayor estratificación como es la temporada estival(Dagà Kunze, 2008).

El potencial hidroeléctrico de un país es la capacidad anual de producción de energía hidroeléctrica que dicho país posee, y el potencial técnicamente explotable se deduce del anterior, teniendo en cuenta las



pérdidas(Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2006).

Para calcular el potencial energético se usan diferentes softwares en 1D, 2D y cuasi 3D, pero en este caso en particular solo se usarán softwares 2D, ya que los 1D solo nos permite tener un flujo en un solo sentido y los cuasi 3D aún están en fase de experimentación y no contamos con ordenadores adecuados. Por ejemplo, software como Hec-Ras, Telemac-2D, Mike, Iber; Infowork.

- Hec-Ras, es un software que permite realizar simulaciones 2D en un flujo inestable, lecho móvil y modelado de la temperatura del agua, calidad del agua(U.S. Army Corps of Engineers, n.d.). Desarrollado por “*Hydrologic Engineering Center*” para el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América(Carson, 2006).
- Iber hace la modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas, es útil para calcular niveles de agua y velocidades en ríos y llanuras de inundación(Aula, n.d.).
- Telemac-2D resuelve las ecuaciones de Saint-Venant utilizando el método de elementos finitos o de volumen finito y una malla de cálculo de elementos triangulares. Puede realizar simulaciones en condiciones transitorias y permanentes(TELEMAC-MASCARET, n.d.).

Para usa estos softwares es necesario usar otros que permitan usar los archivos de geometría, datos de velocidad, presión, etc., en los formatos requeridos para los softwares mencionados anteriormente. En este caso se habla de ArGics, este ayuda a conectar mapas, aplicaciones y datos.

La energía se puede obtener de todo aquello que tenga un gran potencial

energético, que en su efecto será lo que se trabajara en este Trabajo Fin de Master usando el software Hec-ras 2D.

Avilés es una ciudad y un concejo español situado en el Principado de Asturias en el norte de la península ibérica, siendo la tercera capital municipal en población de Asturias(Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias, 2017).

La ría de Avilés surgió hace 295 millones de años. Tras esos 295 millones de años, hace 30.000, durante el momento culminante del último período glaciario, el mar descendió unos 100 metros y la costa se retiró alrededor de 15 metros. Entonces el río se encajó en sus depósitos previos y excavó un valle que llegó a más de 40 metros de profundidad en Avilés(La Nueva España, 2013).

La Ría de Avilés es un estuario natural antropizado que desemboca en el mar Cantábrico cerca de la población de San Juan de Nieva. Se encuentra a 25 kilómetros de Gijón, a 27 kilómetros de la capital, Oviedo y está comunicada a través de una amplia red de autovías, ferrocarril y autobús siendo además uno de los principales puertos pesqueros y de mercancías de España(Digital, 2007). En esta ría vierte sus aguas el río Alvares con un caudal mínimo anual de 2.33 m³/s, este nace en el consejo de Llanera recorriendo 2.11 Kilómetros y una cota máxima de 348 metros de altitud(Cantábrico, 2015).

El índice de consumo mundial de energía comercial es miles de veces inferior a los flujos de energía que recibe la tierra procedente del sol. Durante el mes de marzo de 2018 la producción de electricidad en Europa aumento un 6.8% en relación a marzo de 2017, esto a razón de haber sido este un mes frio. Además, la energía eólica e hidráulica aumentó un 20,8% y un 15,6 como se puede evidenciar en las Figura 2 y Figura 3.



Figura 1. Ría de Avilés (Instituto Geográfico Nacional Centro Nacional de Información Geográfica, n.d.).

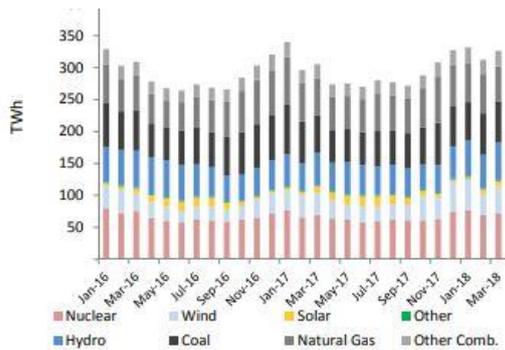


Figura 2. Producción de Electricidad por Combustible (Agency, 2018).

La Unión Europea tiene como objetivo primordial establece el incremento en 4.500 MW de potencia instalada en Europa en minicentrales hidroeléctricas, lo que significará incrementar la producción anual desde los 37 TWh actuales a los 55 TWh (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2006).

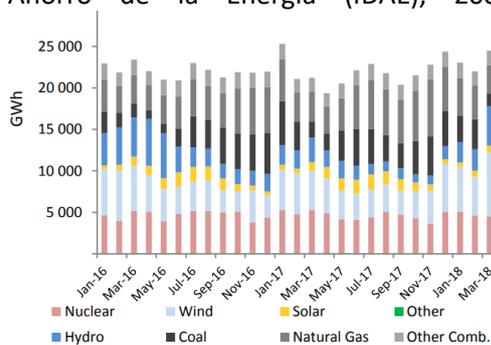


Figura 3. Producción de Electricidad por Combustible- España (Agency, 2018).

2. METODOLOGÍA

Hec-ras es un software de modelamiento hidráulico bidimensional donde se analiza el flujo del agua en régimen permanente y no permanente.

Primero se obtienen datos LIDAR (.Laz 2 x2 Km) en la hoja 0013 del (IGN) (Instituto Geográfico Nacional Centro Nacional de Información Geográfica, n.d.).

Estos datos se procesan con el software "Laszip" para cambiar la extensión del archivo a ".las" y poder ser leídos por ArcGlobe ver Figura 4, aquí se hace un Modelo Digital de Elevación (MDE).

Los datos LIDAR no penetran el lecho marino y además usan como cero hidrográfico el nivel medio del mar de Alicante, así que es necesario utilizar batimetría haciendo uso de AutoCAD Civil 3D, puesto que si no se corrige Hec-ras interpretará estos datos como secciones negativas en aguas abajo. La batimetría se obtiene de las cartas náuticas (Navionics a garmin company, n.d.) con la cartografía medida por una ecosonda, teniendo en cuenta cada valor de profundidad.

Una vez corregida la batimetría sobre el MDE, se procede a realizar el modelo geométrico usando Hec-Georas a partir de un TIN (Triangulated Irregular Network) generado del proceso anterior, aquí se define el sentido del flujo, las líneas de corte, coeficientes de Manning, etc. y 109 secciones. Hec-Georas permite generar un archivo que puede importarse en Hec-ras.

Una vez generado el modelo geométrico, en Hec-ras se realiza la malla computacional basándose en la triangulación de Delaunay y el diagrama de Voronoi. El tamaño a utilizar de la malla es de 10 x 10 m con 18102 celdas y un Coeficiente de Manning de 0.025.



Posteriormente se realiza interpolación de secciones, cada 25 metros, no es recomendable hacer interpolaciones muy cercas porque puede llevar a cometer errores en el programa al realizar las iteraciones. Quedando así la geometría de la ría ver Figura 6 y Figura 7.

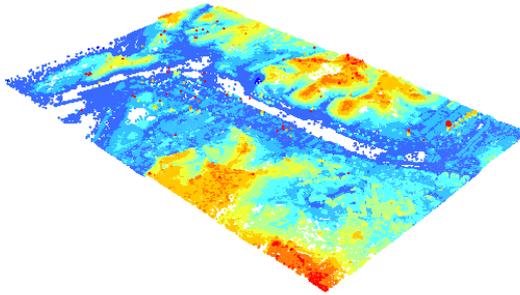


Figura 4. Ría de Avilés en ArcGlobe.

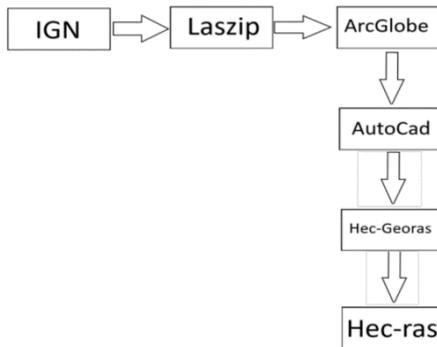


Figura 5. Diagrama metodológico.

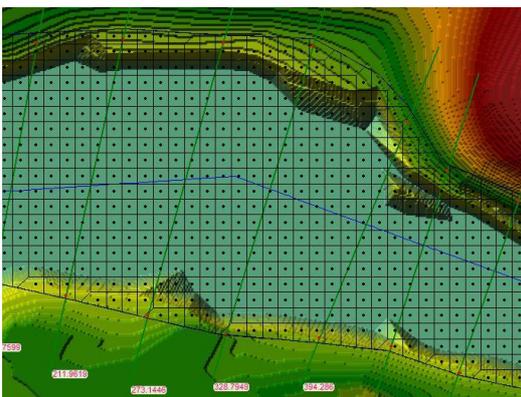


Figura 6. Malla en aguas abajo.

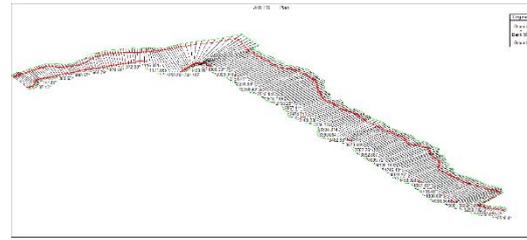


Figura 7. Geometría.

Hay que tener en cuenta que Hec-ras resuelve las ecuaciones de Saint Venant, que son una simplificación de las ecuaciones de Navier-Stokes, ya que se trabajan en aguas poco profundas, se desprecia el eje z, obteniendo la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + y \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial y}{\partial x} = 0$$

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t}$$

Siendo,

v , velocidad media longitudinal (m/s).

y , profundidad del flujo o calado (m).

x , distancia longitudinal desde el origen del tramo (m).

S_0 , pendiente del cauce.

S_f , pendiente de fricción o motriz.

g , aceleración de la gravedad.

Para calcular los perfiles de la superficie del agua utiliza la siguiente ecuación de energía (Fan, Ko, & Wang, 2009)(U.S. Army Corps of Engineers, 2016).

$$y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_e$$

Siendo,

y , es la profundidad del agua.

z , la elevación del canal.



v , la velocidad promedio.

α es un coeficiente de ponderación de la velocidad.

h_e , representa pérdida de carga de energía.

g , representa la aceleración gravitacional.

Y los subíndices 1 y 2 denotan las secciones transversales 1 y 2, respectivamente.

En el momento de elegir el paso temporal se debe tener en cuenta el Número de Courant ya que este es relación entre espacio, velocidad y tiempo; siendo conocido que dicha relación debe ser menor igual que la unidad, según el tipo de ecuación elegida, en este caso la ecuación del número de Courant para la ecuación de Saint Venant es la siguiente:

$$c = \frac{v * \Delta T}{\Delta x} \leq 1$$

Máximo valor de $c = 3$

Siendo,

c , número de Courant.

v , velocidad de Flujo (m/s).

ΔT , paso de tiempo computacional (seg).

Δx , promedio de tamaño de celda (m).

Para determinar en qué régimen se está realizando la simulación el software resuelve la ecuación del Número de Froude, puesto que es el cociente entre la velocidad media y la celeridad relativa de la onda dinámica así:

$$F = \frac{v}{(g \cdot D)^{1/2}}$$

Siendo,

F , Número de Froude.

v , velocidad del flujo.

g , gravedad.

D , profundidad hidráulica.

Así se tiene que sí,

$F > 1$, el flujo es supercrítico.

$F = 1$, el flujo es crítico.

$F < 1$, el flujo es subcrítico.

2.1. SIMULACIÓN DE PRUEBA RÉGIMEN PERMANENTE

Primero se ha realizado un modelo de prueba en régimen permanente para verificar que la geometría esta correcta, pero es necesario primero tener claro el paso temporal de cómputo, el cual se relaciona con el número de Courant, es la relación entre velocidad, espacio y tiempo, y esta relación debe ser menor o igual a uno.

Se introduce las condiciones de contorno para aguas arriba el caudal mínimo medio anual del río Alvares 2.33 m³/s, obtenido de (Cantábrico, 2015) y en aguas abajo el valor máximo de marea obtenida de (Gobierno de España, n.d.) los datos se escogen del mareógrafo de Gijón II, puesto que para Avilés no hay un mareógrafo. Hay que tener en cuenta que los valores de elevación de marea esta georreferenciado con el cero del mareógrafo, así que estos datos se les sustrae 2.36 m con respecto al cero de referencia del (Instituto Geográfico Nacional Centro Nacional de Información Geográfica, n.d.) y se adiciona 12 m de profundidad media de la ría ver Figura 8, los datos de caudal y marea inician a las 0 horas del 1 de enero y finalizan a las 23 horas del 7 de enero de 2013.

Una vez introducidas las condiciones de contorno, se arranca la simulación, al introducir condiciones de aguas arriba y



aguas abajo se realiza en un flujo subcrítico ver Figura 9.

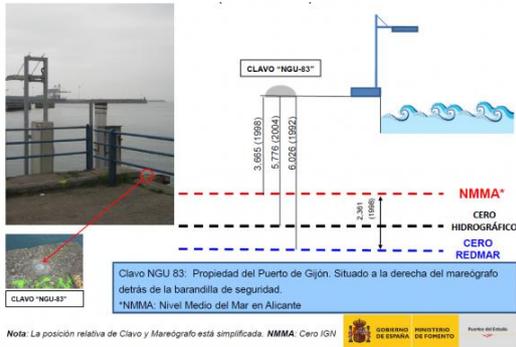


Figura 8. Esquema DATUM mareógrafo REDMAR Gijón II.

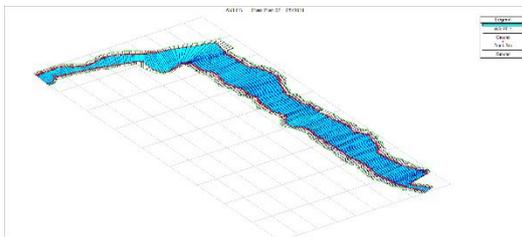


Figura 9. Simulación en régimen permanente.

2.2. SIMULACIÓN EN RÉGIMEN NO PERMANENTE

Una vez se ha realizado el modelamiento en régimen permanente se procede a hacer la simulación en régimen no permanente, se introducen las condiciones de contorno en aguas arriba correspondiente a la media de caudales mínimos como se puede ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Media de caudales mínimos.

MEDIA DE CAUDALES MÍNIMOS (m³/s)												
Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Caudal	3.59	3.93	3.45	3.76	2.77	1.62	0.91	0.69	0.56	1.25	2.26	3.16

En aguas abajo se consideró la variación horaria de la altura de la marea a lo largo de una semana de cada mes donde se eligen los niveles de mareas puesto que se quiere simular la ría completa entonces las mareas son influenciadas por los astros el sol y la luna, iniciando a las 0 horas del 1 de cada mes y finalizan a las 23 horas del 7 de cada mes de 2013.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Durante las pruebas se obtuvieron los valores de velocidad máxima, distribución de velocidades, potencia y energía disponible, todo ello para un día tipo.

La velocidad de referencia se tomó positiva en el sentido del flujo del río hacia el mar Cantábrico.

En las 12 simulaciones se evidencia que las mayores velocidades se encuentran en el tramo 433.4974 en la zona de mayor estrechamiento, para verificar esto se muestran los valores de las velocidades en nueve (9) tramos ubicados en diferentes puntos de la ría como se muestra en las Figura 10 y Figura 11.

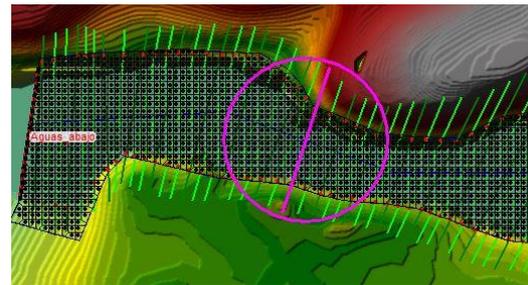


Figura 10. Tramo 433.4974.

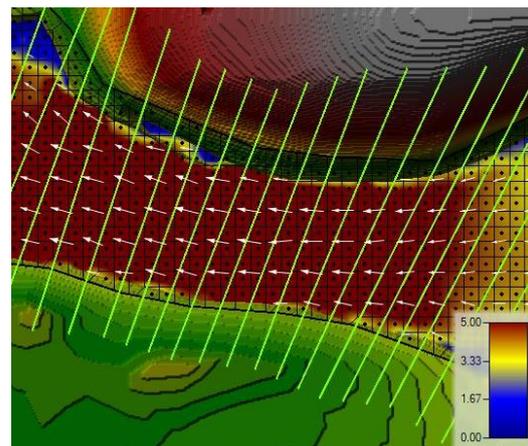


Figura 11. Velocidades en la zona de mayor estrechamiento.

En la Figura 12 se muestra las velocidades obtenidas para el mes de enero en los nueve tramos, donde se ve que en función



del tiempo sigue una tendencia de onda coseno, esto por ser la derivada de la función sinusoidal del nivel de las mareas y la Tabla 2 se evidencia numéricamente dichos valores a lo largo de un ciclo.

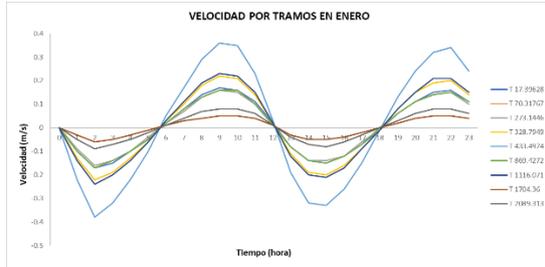


Figura 12. Velocidad por tramos en enero (m/s).

Tabla 2. Velocidades por tramos en enero (m/s).

VELOCIDAD POR TRAMOS EN ENERO (m/s)									
TIEMPO (h)	T 17.39628	T 70.31767	T 273.1446	T 328.7949	T 433.4974	T 869.4272	T 1116.071	T 1704.36	T 2089.313
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	-0.10	-0.09	-0.13	-0.13	-0.22	-0.10	-0.14	-0.03	-0.05
2	-0.17	-0.16	-0.23	-0.22	-0.38	-0.17	-0.24	-0.06	-0.09
3	-0.15	-0.14	-0.20	-0.19	-0.32	-0.14	-0.20	-0.05	-0.07
4	-0.10	-0.10	-0.14	-0.13	-0.22	-0.10	-0.14	-0.03	-0.05
5	-0.05	-0.04	-0.06	-0.06	-0.10	-0.05	-0.06	-0.01	-0.02
6	0.02	0.02	0.03	0.03	0.05	0.02	0.03	0.01	0.01
7	0.08	0.07	0.11	0.10	0.17	0.08	0.11	0.03	0.04
8	0.14	0.13	0.18	0.18	0.29	0.13	0.19	0.04	0.07
9	0.17	0.16	0.22	0.22	0.36	0.16	0.23	0.05	0.08
10	0.16	0.15	0.22	0.21	0.35	0.16	0.22	0.05	0.08
11	0.11	0.10	0.14	0.14	0.23	0.10	0.15	0.04	0.06
12	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01
13	-0.08	-0.08	-0.11	-0.11	-0.19	-0.08	-0.12	-0.03	-0.04
14	-0.14	-0.14	-0.19	-0.19	-0.32	-0.14	-0.20	-0.05	-0.07
15	-0.15	-0.14	-0.21	-0.20	-0.33	-0.15	-0.21	-0.05	-0.08
16	-0.12	-0.12	-0.16	-0.16	-0.26	-0.12	-0.17	-0.04	-0.06
17	-0.07	-0.06	-0.09	-0.09	-0.15	-0.07	-0.09	-0.02	-0.03
18	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00
19	0.06	0.06	0.08	0.08	0.13	0.06	0.08	0.02	0.03
20	0.11	0.11	0.15	0.15	0.24	0.11	0.15	0.04	0.06
21	0.15	0.14	0.20	0.19	0.32	0.14	0.21	0.05	0.08
22	0.16	0.15	0.21	0.20	0.34	0.15	0.21	0.05	0.08
23	0.11	0.10	0.15	0.14	0.24	0.11	0.15	0.04	0.06

En la Figura 13 se muestran las velocidades medias máximas mensuales alcanzadas en la simulación, estos valores oscilan entre 0,50 m/s y 0.36 m/s, en los meses de marzo a diciembre. Mientras que en la Figura 14 se muestran las velocidades mínimas mensuales correspondiente a los valores de 0.30 m/s y 0.18 m/s, durante los

meses de julio a octubre, todas ellas en el tramo 433.4974.

Durante el mes de marzo y diciembre en época de mayor nivel de marea, se obtienen los valores mayores y menores de velocidad anual en la sección 433.4974 como se muestra en la Figura 15.

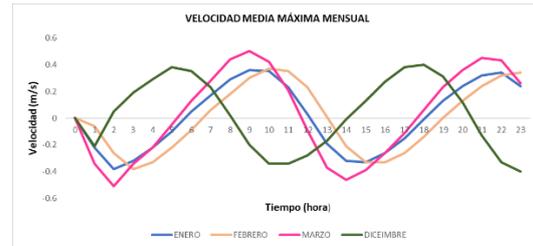


Figura 13. Velocidad media máxima mensual.

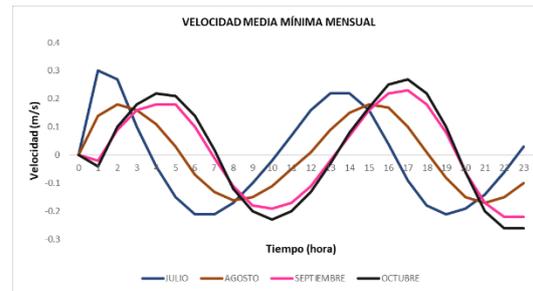


Figura 14. Velocidad media mínima mensual.



Figura 15. Velocidad media máxima y mínima anual.

La potencia disponible de las corrientes de marea por unidad de área se calcula usando la siguiente expresión:

$$P_i(t) = \frac{1}{2} \rho v_i^3(t)$$

La potencia disponible por unidad de área se calculó para los nueve tramos en el mes de máxima velocidad (marzo) y mínima (agosto) velocidad. La mayor potencia se



obtiene para el tramo 433.4974 con 67.98 W/m² diaria ver Figura 16 y la menor para el tramo 433.4974 con 2.99 W/m² ver Figura 17.

En la Figura 18 se muestran los valores de energía disponible máxima y mínima anual cuyos valores oscilan entre 16.11 kWh/año m² y 0.87 kWh/año m². Esta se calcula usando el sumatorio de las potencias disponibles de un día tipo y este multiplicado por el número de días del mes tal como se muestra en la siguiente expresión.

$$E_j = \sum_{i=1}^{i=24} P_i \cdot n$$

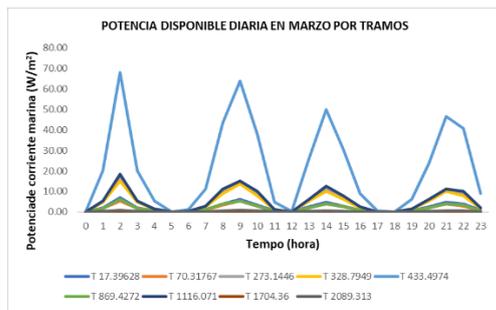


Figura 16. Potencia disponible máxima diaria en diferentes tramos.

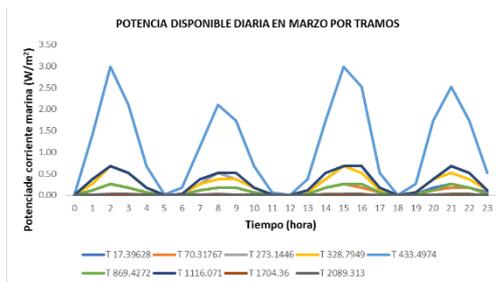


Figura 17. Potencia disponible mínima diaria en diferentes tramos.

La energía de corriente de marea disponible total que se obtiene al final del año es 64.48 kWh/año m².

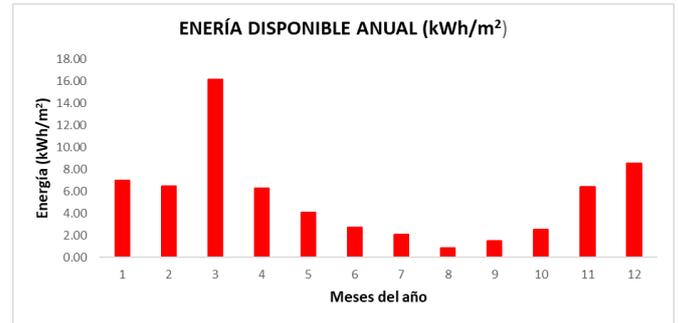


Figura 18. Energía disponible anual.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo fin de master se utilizó el software Hec-ras, para hacer simulaciones de modelos hidráulicos en dos dimensiones "2D", aplicado a la Ría de Avilés, para calcular el potencial de las mareas en esta Ría.

El modelo empleó el método de volúmenes finitos, para incrementar la mejora de la estabilidad al utilizar regímenes subcríticos, supercríticos y mixto. Permite utilizar las ecuaciones de Saint Venant dando mayores propiedades de estabilidad.

Además, hace uso de una malla computacional no estructurada, usando la técnica de triangulación de Delaunay y el diagrama de Voronoi. Es muy importante elegir bien el tamaño de la malla y el paso del tiempo a trabajar, para que el programa no presente problemas al hacer las iteraciones.

Se obtuvieron resultados para diferentes tramos o secciones de la Ría, donde se observa que las mayores velocidades están en la zona de mayor estrechamiento de la ría, y a medida de se aleja de esta los valores de velocidad se van haciendo menores, obteniendo así valores 0.5 m/s con un régimen subcrítico de circulación del flujo y un calado máximo de 13.52 m.

También se obtuvieron los valores máximos de potencia disponible por las



mareas y la energía máxima aprovechable en el año, al igual que las mayores velocidades esta potencia máxima se encuentra en la zona más estrecha de la Ría, tiendo así 67.98 W/m^2 de potencia máxima para el mes de marzo y 64.48 kWh/m^2 al año de energía, decreciendo estos valores a medida que se aleja de la zona más estrecha. El régimen en que se obtuvieron estos resultados fue subcrítico ya que $F = 0.02 < 1$.

Los resultados obtenidos son muy esperanzadores, aunque aún no se tenga una legislación que permita implementar una instalación mareomotriz, Pero con esta potencia se podría dar suministro a los alrededores de la Ría de Avilés.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis tutores Eduardo Blanco y Rodolfo Espina, por todo el apoyo y asesoramiento recibido para la elaboración de este Trabajo Fin de Master, a la Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba" (UTCH) de la mano del grupo de Investigación en Energías Renovables y Meteorología (GIERMET) dirigido por el Dr William Murillo, por contribuir a mi formación académica e investigativa día a día.

A mis padres y hermano Evaristo Toro, Gloria Ortiz y Marlon Toro Ortiz, por su apoyo, consejos y entrega en cada paso de mi vida, a mis amigos Bismarck Aragón, Zamanta Rey, Samanta Murillo, por ser partícipes en mi crecimiento diario personal, profesional y su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

Y a Amira Tejada, Angi López, Harvey Asprilla, Luz Mery, Deiner Mena, Luis Menéndez, Maycol Mena y Daniel Moreno, por la confianza depositada en mi en cada momento.

REFERENCIAS

- [1] Agency, I. E. (2018). *Monthly Electricity Statistics*. Retrieved from <http://www.iea.org/media/statistics/surveys/electricity/mes.pdf>
- [2] Aula, I. (n.d.). *Manual de Usuario*. Retrieved from <http://iberaula.es/modelo-iber/descarga>
- [3] Cantábrico, C. H. del. (2015). *Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental*. Retrieved from <https://www.chcantabrico.es/2009-2015/ph-dhc-occidental>
- [4] Carson, E. C. (2006). Hydrologic modeling of flood conveyance and impacts of historic overbank sedimentation on West Fork Black's Fork, Uinta Mountains, northeastern Utah, USA. *Geomorphology*, 75(3), 368–383. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.07.022>
- [5] Dagà Kunze, J. S. (2008). Aprovechamiento Hidroeléctrico de las Mareas y su Posible Desarrollo en Chile.
- [6] Díaz Alonso, G. (2014). Análisis de la aportación de la energía hidráulica al sistema energético nacional desde los años 90 a nuestros días.
- [7] Digital, E. comercio. (2007). Avilés se mantiene como cuarto puerto pesquero tras Vigo, Cádiz y La Coruña. Retrieved from http://www.elcomercio.es/prensa/20070226/aviles/aviles-mantiene-como-cuarto_20070226.html
- [8] Fan, C., Ko, C.-H., & Wang, W.-S. (2009). An innovative modeling approach using Qual2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation. *Journal of Environmental Management*, 90(5), 1824–1832. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.011>
- [9] Fernández Suárez, D., Álvarez Álvarez, E., Gutiérrez Trashorras, A. J., & Fernández Francos, J. (2015). Evaluación del potencial energético de las corrientes de marea en la desembocadura del río Nalón (Asturias, España) mediante simulación de flujo unidimensional. *Ingeniería Del Agua*, 19 (1).
- [10] Ferreras Moreno, M. (2015). Análisis



- del potencial de energía hidrocínética en la desembocadura de la ría de Ribadesella.
- [11] Gobierno de España. (n.d.). Puertos del Estado. Retrieved from <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>
- [12] González-Caballín Sánchez, J. M. (2017). Potencial energético de las corrientes generadas por las mareas en las desembocaduras de los ríos y estuarios. Aplicación a la ría de Avilés.
- [13] Hache, E. (2018). Do renewable energies improve energy security in the long run? *International Economics*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.inteco.2018.01.005>
- [14] Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias. (2017). Demografía y población. Retrieved from <https://www.idepa.es/conocimiento/asturias-en-cifras/demografia>
- [15] Instituto Geográfico Nacional Centro Nacional de Información Geográfica. (n.d.). Instituto Geográfico Nacional. Retrieved from <http://www.ign.es/web/ign/portal>
- [16] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2006). Minicentrales Hidroeléctricas. Retrieved from http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_2.1.7_Minicentrales_hidroelectricas_125f6cd9.pdf
- [17] Kamphuis, J. W. (2010). *Introduction to coastal engineering and management* (Vol. 30). World Scientific.
- [18] La Nueva España. (2013). La ría de Avilés, hilo de la historia. Retrieved from <http://www.lne.es/aviles/2013/06/19/ria-aviles-hilo-historia/1429872.html>
- [19] Navionics a garmin company. (n.d.). Cartas de Navegación Nauticas. Retrieved from https://webapp.navionics.com/?lang=es#boating@6&key=_ktgGzdvb%40
- [20] Polo, J. M., Rodríguez, J., & Sarmiento, A. (2008). Potencial de generación de energía a lo largo de la costa colombiana mediante el uso de corrientes inducidas por mareas. *Revista de Ingeniería*, (28), 99–105.
- [21] TELEMAT-MASCARET. (n.d.). TELEMAT-MASCARET. Retrieved from <http://www.opentelemac.org/index.php/presentation?id=17>
- [22] U.S. Army Corps of Engineers. (n.d.). Hydrologic Engineering Center. Retrieved from <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- [23] U.S. Army Corps of Engineers, D. (2016). *Hydraulic Reference Manual Versión 5.0*. Retrieved from [http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS 5.0 Reference Manual.pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf)