

# Estudio hidrodinámico de la mar en la isla de Saboga.

Trabajo Final de Máster



Facultat de Nàutica de Barcelona

Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:

**Andreu Martínez Parera**

Dirigido por:

**Anna Mujal Colilles**

**Manel Grifoll Colls**

Barcelona, 23 de junio de 2020

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náuticas



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona





### Agradecimientos

Primeramente, me gustaría mencionar a mi tutora durante este proyecto, la Dra. Anna Mujal, sin la cual no habría sido posible desarrollar esta segunda parte del trabajo, gracias al gran tiempo que dedicó en mostrarme la manera de desarrollar un trabajo conciso y directo, así como a realizar el tratamiento y la gestión de datos de este Trabajo Final de Máster.

A continuación, al Dr. Manel Grifoll, co-tutor de este proyecto, el cual fue de gran ayuda en la selección de información y gracias a su conocimiento en el ámbito de la ingeniería civil la cual fue de gran ayuda al aportar a este trabajo el conocimiento necesario para poder llegar a buen puerto.

Seguidamente, me gustaría dar las gracias a la Dra. Marcel.la Castells, ideóloga del proyecto y sin la ayuda y liderazgo de la cual nada de esto podría haberse llevado a cabo.

Sin duda, no podría dejarme a Jordi Mateu, Toni Lull i a Ignasi Sagristà (que se unió en la segunda campaña), los cuales fueron sin duda los mejores compañeros para poder desarrollar las lecturas de datos y toda la campaña. Cada uno, aportando sus conocimientos permitió que el proyecto siguiera adelante.

A nivel institucional, se ha de mencionar que, sin el apoyo del Centre de Cooperació pel Desenvolupament (CCD) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), la Universidad Marítima Internacional de Panamá (UMIP) y la empresa Saboga Sailing Club no se habría podido contar con los recursos suficientes como para realizar las dos campañas de campo.

Finalmente, no se puede concluir este apartado sin mencionar a mi familia: Caterina, Toni y Pau, y a mi pareja Júlia, los cuales han sido el pilar fundamental para poder finalizar el proyecto, especialmente debido a la limitación de movimientos y aislamiento que se han sufrido durante la primavera del 2020 y los infortunios ocurridos como consecuencia de esto.





### Resumen

El estudio hidrodinámico del mar en la isla de Saboga es la continuación del estudio sobre la *Identificación de bases de datos para la evaluación de energías renovables en el archipiélago de las Perlas* (Martínez-Parera, 2018) y se pretende analizar cuál es el comportamiento hidrodinámico alrededor de la isla de Saboga.

De esta manera, gracias al apoyo de la Universidad Marítima Internacional de Panamá (UMIP), el Centre de Cooperació pel Desenvolupament (CCD) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) y el Saboga Sailing Club, se llevan a cabo dos campañas de campo en la isla de Saboga con el fin de poder determinar, en primera persona y con material de producción no industrial, cual es la circulación de las corrientes marinas alrededor de la isla y así en un futuro poder ubicar la zona de aprovechamiento máximo de las corrientes marinas en términos de energía renovable para abastecer de electricidad verde la zona de estudio. También se estudian las variables (viento, marea y corrientes regionales) que pueden afectar a la circulación de las corrientes al interior del golfo de Panamá y mediante las lecturas de “scripts” tratadas obtenidas a través de las boyas lagrangianas, se puede desarrollar como conclusión de este trabajo, unos esquemas que permiten interpretar la circulación alrededor de la isla.

El estudio hidrodinámico alrededor de las Islas de las Perlas permitirá en un futuro conocer la zona óptima de ubicación de sistemas de energía mareomotriz.





## Índice de Contenidos

Agradecimientos.....	3
Resumen.....	4
Índice de Contenidos.....	5
Índice de figuras.....	6
1. Introducción.....	8
2. Objetivos.....	10
3. Área de interés y estudio.....	11
3.1 Estudio climático.....	12
3.2 Estudio de la marea.....	17
3.3 Estudio de la corriente regional.....	18
4. Metodología.....	22
4.1 Planificación y ejecución de las campañas.....	22
4.2 Recogida de datos.....	26
4.3 Lectura y procesamiento de datos.....	28
5. Resultados y discusión.....	39
5.1 Costa este:.....	47
5.2 Costa oeste:.....	47
5.3 Costa norte:.....	48
6. Conclusiones.....	52
7. Referencias.....	54
8. Bibliografía.....	56
9. Anexo. Resultados de las lecturas de las boyas.....	58
9.1 Primera Campaña.....	58
9.2 Segunda Campaña.....	64





## Índice de figuras

Figura 1. Isla de Saboga (izquierda) e isla de Contadora (derecha). Google Maps.....	11
Figura 2. Precipitaciones anuales Panamá. ETESA. ....	14
Figura 3: Vectores de viento: 31-01-2020. MATLAB. ....	16
Figura 4. Vectores de viento: 01-11-2019. MATLAB. ....	16
Figura 5. Vientos dominantes de Panamá. ETESA (Empresa de Transmisión de Electricidad SA). .....	17
Figura 6. Vectores corrientes exteriores del Golfo de Panamá. Google Maps. ....	21
Figura 7. Desarrollo lectura boyas núm. 1. MATLAB.....	30
Figura 8. Resultados 31-01-2020. MATLAB. ....	32
Figura 9. Velocidad boyas 31-01-2020. MATLAB. ....	33
Figura 10. Desarrollo lecturas viento núm. 1. MATLAB. ....	34
Figura 11. Desarrollo lecturas viento núm. 2. MATLAB. ....	35
Figura 12. Resultados lecturas vectores viento. MATLAB.....	36
Figura 13. Resultados lecturas velocidad viento. MATLAB. ....	37
Figura 14. Desarrollo lecturas marea. MATLAB. ....	37
Figura 15. Resultado lecturas marea. MATLAB. Var1: tiempo (días). Var2: tiempo (24 horas). Var3: evolución de la marea.....	38
Figura 16. Resultados 12-12-2018.MATLAB.....	40
Figura 17. Resultados 30-01-2020. MATLAB.....	41
Figura 18. Resultados 31-01-2020. MATLAB.....	42
Figura 19. Resultados 04-02-2020. MATLAB.....	43
Figura 20. Resultados 05-02-2020. MATLAB.....	43
Figura 21. Vectores de viento 31/01/2020 18:00 .....	46
Figura 22. Velocidad viento invierno 2020.....	46
Figura 23. Esquema Resultados Invierno. Power Point. ....	49
Figura 24. Esquema resultados invierno 2. Power Point. ....	50





Figura 25. Esque resultados verano. Power Point. .... 51





### 1. Introducció

El estudio hidrodinámico de la mar en la isla de Saboga es un proyecto llevado a cabo como continuación del proyecto sobre Identificación de bases de datos para la evaluación de energías renovables en el archipiélago de Las Perlas (Panamá). Juntamente con el Centre de Cooperació pel Desenvolupament de la Universitat Politècnica de Catalunya (UCP) y la Universidad Marítima Internacional de Panamá (UMIP), se ha desarrollado este proyecto el cual ha dado como primer resultado el siguiente trabajo.

En el primer estudio realizado sobre la isla de Saboga, se determinó que el mejor sistema de captación de energías renovables podía ser la energía mareomotriz. En el trabajo presente, se pretende avanzar un paso en esa dirección realizando un esquema de las corrientes circundantes en la isla mediante la comparación de lecturas y ciertas variables para secundar la versión del primer proyecto y avanzar así en la localización óptima del sistema undimotriz/mareomotriz

El proyecto se divide en distintas fases y objetivos los cuales permiten poder llegar a analizar las velocidades de corrientes alrededor de la isla. Estas fases u objetivos se desarrollan cronológicamente en el tiempo permitiendo así poder avanzar en este proyecto.

De esta manera, se empieza con el análisis de la zona, la forma de poder recoger datos, la determinación del momento de realizar la campaña de campo, así como también a su vez, la determinación de decidir el momento en tomar las muestras. Paralelamente a la parte práctica, también se desarrolla el método para poder leer la información que nos proporcionan las muestras y finalmente, una vez la información es tratada, se analiza llegando a la conclusión de este trabajo.

La parte práctica se realiza durante dos campañas de campo de diez días cada una en las que un equipo se establece en la isla de Saboga para poder realizar la toma de datos y el análisis de los resultados. La primera campaña tiene lugar entre el 8 y el 19 de diciembre de 2018 y la segunda entre el 27 de enero y el 6 de febrero del 2020. Durante estas campañas se aprovecha







para tomar datos de las velocidades de las corrientes alrededor de la isla mediante unas boyas lagrangianas que permiten saber su posición cada un intervalo de tiempo.

Estas lecturas son tratadas mediante un *script* de MATLAB con el fin de obtener las velocidades y de esta manera analizar los resultados.

Los resultados obtenidos permitirán poder reflejar si existen algunas zonas donde las corrientes son significativamente más potentes que en el resto de las zonas y, además, según evolucionaba la marea, si esta se mantiene constante. Por contra parte, en otras zonas de la isla, se podrá observar como la corriente existente es inferior a la esperada. Este proyecto ha permitido conocer el comportamiento de circulación del agua alrededor de la isla gracias a la cooperación surgida entre las dos universidades y la empresa establecida localmente en la isla.





## 2. Objectivos

El desarrollo de este proyecto se realiza en el marco de un proyecto de cooperación para el desarrollo cogestionado y cofinanciado por la UPC y la UMIP. El objetivo general consiste en determinar el comportamiento de las corrientes marinas alrededor de la isla de Saboga. Con el fin de poder realizar un estudio hidrodinámico de la zona, se plantean una serie de objetivos específicos a seguir con el fin de poder obtener el resultado final:

- Conocer las tres componentes que describen la hidrodinámica de la zona por separado: corriente regional, viento y marea con el fin de comparar con los valores obtenidos y determinar zona más propicia de toma de datos.
- Diseñar e implementar una campaña decampo que incluye: i) diseño de un método para la recogida de dato in situ., ii) Selección de las mejores ventanas temporales para la realización de la campaña de campo, iii) elaboración de un script de lectura automática de los datos de campo.
- Determinar las zonas donde la velocidad de la corriente sea significativa, es decir, superior al  $1 \text{ m s}^{-1}$  (Blunden & Bahaj, 2007)



### 3. Área de interés y estudio

En este apartado se avanza a través de cada uno de los pasos, desarrollando el caso de estudio y argumentándolo con el fin de poder obtener el máximo de información del área de interés.

A nivel geográfico, se determina que el estudio es toda la zona adyacente a la isla de Saboga (Martínez-Parera, 2018), Figura 1 y hasta una distancia de 2.8 millas náuticas radiales des del centro de la isla. La isla de Saboga se encuentra en 8°N y 79°W aproximadamente. Esta tiene una superficie de 2.77 Km<sup>2</sup> de superficie, con una largada máxima de 3 Km y una anchura máxima de 2.2 Km. Su punto más alto respecto el nivel del mar se sitúa a unos 50 m.

A 700 metros de distancia se encuentra la vecina Contadora la cual es considerablemente más pequeña que Saboga (1.39 Km<sup>2</sup>), con menos vegetación y menos desniveles.

Ambas islas forman parte del archipiélago de las Perlas, un conjunto de islas en el océano Pacífico situadas a 40 millas al sur este de Ciudad de Panamá.

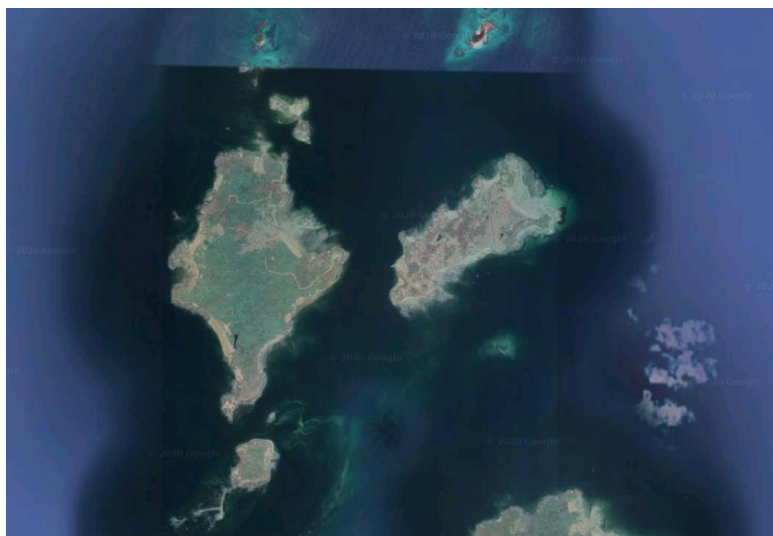


Figura 1. Isla de Saboga (izquierda) e isla de Contadora (derecha). Google Maps.

Los apartados para el desarrollo del proyecto hasta poder alcanzar la lectura de los datos son los siguientes:



- Estudio climático: en el cual se hace un resumen de la evolución del clima durante un año entero. Además, se pretende estudiar las variables del viento y las corrientes regionales en la zona del archipiélago con el fin de comparar esta con los resultados obtenidos.
- Estudio de la marea: en el cual se procede a desarrollar un resumen sobre el comportamiento de la marea en esta zona con el fin de poder determinar en qué momentos la corriente de marea es más potente lo cual es directamente proporcional a la posibilidad de obtener energía. La variable de la marea también servirá para ser analizada frente a la acción de los datos recogidos.
- Estudio de la corriente regional: identificación mediante datos anteriores y estudios previamente realizados de la circulación de las corrientes en el Golfo de Panamá y en la zona del archipiélago de las Perlas a través del estudio de las corrientes influyentes en la circulación del exterior del golfo.

Finalmente, una vez se cumplen los puntos mencionados en las líneas anteriores, se puede proceder a leer y analizar estos resultados, mediante la comparación de los valores obtenidos y la información que se tiene sobre las variables que pueden influir en el comportamiento de la boya, con el fin de poder sacar conclusiones. A continuación, se muestra el desarrollo de cada uno de los apartados.

### 3.1 Estudio climático

El estudio del clima en una zona se contempla principalmente a partir de la posición de esta en el globo terráqueo. Se considera que el clima viene influenciado por la latitud de la zona la cual es un indicativo de a las horas de sol que está expuesta durante el año<sup>1</sup> (ETESA, 2009).

---

<sup>1</sup> ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.). Hidrometeorología. [en línea]. Panamá 2009. [Consulta: 8 de mayo de 2020]. Disponible en: <<http://www.hidromet.com.pa/>>.



Las horas de sol que se reciben en cada zona son clave para poder entender la circulación meteorológica tanto global como local.

Esta fase, contempla el estudio de ciertas variables las cuales forman el llamado estudio del clima (Rodrigues, Chan, Marengo, & Lyra, 2014). Cuando estas variables muestran una tendencia regular y repetitiva a lo largo de un periodo de tiempos (normalmente más de treinta años), se puede entender que este comportamiento de las variables forma el clima de la zona en cuestión.

Las variables que se estudian son: la presión atmosférica, la temperatura, la humedad, el viento y la precipitación. De esta manera, analizando estas variables, se puede obtener una idea del clima en la Isla de Saboga.

Como hemos comentado anteriormente, la isla de Saboga forma parte del archipiélago de las Perlas en el Océano Pacífico, a 40' millas al SE de Ciudad de Panamá. En términos de latitud se encuentra a un poco más de 8 grados hacia el norte respecto al ecuador (Rodrigues et al., 2014). Esta posición sitúa a la isla dentro de la zona de influencia de la zona cálida de la Tierra y bajo la influencia del clima tropical o más concretamente dentro del subgrupo de clima subecuatorial o monzónico. La definición de este clima viene dada a partir del clima tropical el cual predomina en las zonas donde las horas de sol son regulares durante todo el año, pero con la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) (Asmerom et al., 2020), no se encuentra siempre situada encima del archipiélago de Las Perlas, por lo que se generan dos estaciones la estación seca y la estación de lluvias, Figura 2, basadas principalmente en una de las variables mencionadas anteriormente, las precipitaciones.

La división de estaciones según los datos de precipitación permite diferenciar mejor el cambio del clima en la isla durante el año. El resto de las variables, se mantienen bastantes constantes puesto que la irradiación solar se mantiene casi constante durante el año y hace que haya pocos cambios.

La presión se mantiene alta (siempre por encima de los 1010 hPa)<sup>2</sup> (ETESA, 2009) durante todo el año en excepción de aquellos meses de precipitaciones en los cuales la presencia de la ZCIT la hace disminuir puntualmente durante el día.

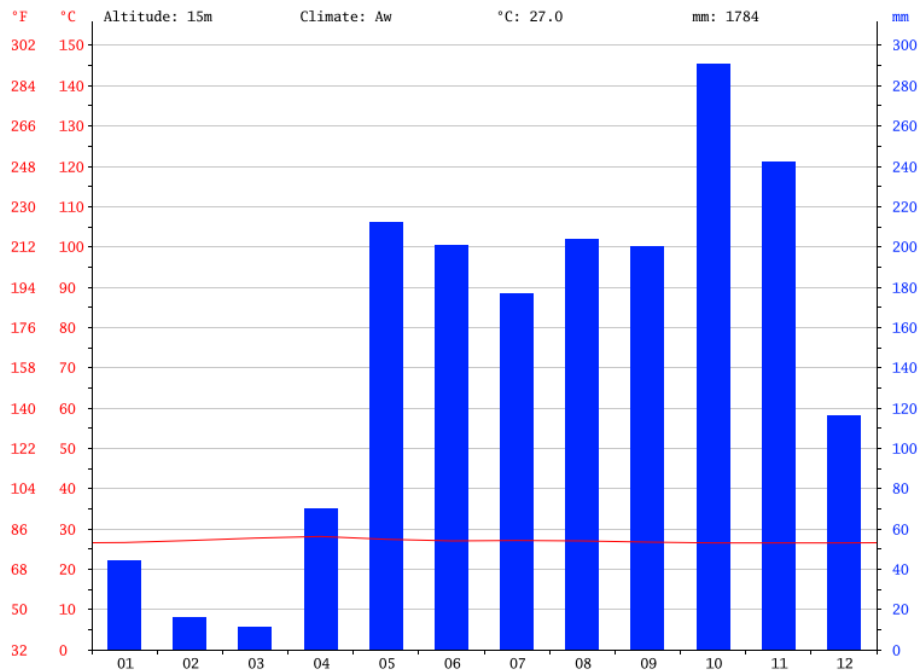


Figura 2. Precipitaciones anuales Panama. ETESA.

Una evolución muy similar sigue la humedad la cual es siempre superior al 55% por ciento y aumenta durante la época de lluvias.

En lo que se refiere a la temperatura cabe mencionar que esta es estable siempre entre los 25°C de mínima y los 33° de máxima de media, pero, sin embargo, se debe mencionar la existencia de un pico de la temperatura de algunos grados hacia el final de la época seca.

<sup>2</sup> ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.). Hidrometeorología. [en línea]. Panamá 2009. [Consulta: 8 de mayo de 2020]. Disponible en: <<http://www.hidromet.com.pa/>>.



El viento por su parte sigue su evolución al contrario que el resto de las variables, es decir, aumenta durante la época seca. Esto se debe al hecho que, durante la época de lluvias, la zona se encuentra bajo la ZCIT (Asmerom et al., 2020) la cual por definición es donde convergen los alisios y por lo tanto el componente de viento es menor que cuando la zona se sitúa al norte de esta y los vientos de componente S-W son normales.

Como se ha comentado anteriormente, el viento es una de las variables que afecta directamente a las lecturas que se obtienen de las boyas ya que es uno de los factores que genera corriente y por lo tanto que impulsa la boya en la parte superficial de la columna de agua. En este caso, las lecturas de viento se obtuvieron *in situ*, durante las medidas y también a través del programa de satélites Copernicus<sup>3</sup>. El programa Copernicus consta de una serie de satélites que orbitan a la tierra recogiendo datos meteorológicos. De esta manera, importando los datos satelitales mediante un “script” de MATLAB<sup>4</sup> se puede saber cuál fue el viento detectado en la zona durante las tomas de datos.

---

<sup>3</sup> Copernicus. Europe’s eye on Earth. [en línea]. Unión Europea. [Consulta: 4 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.copernicus.eu/en/access-data>

<sup>4</sup> Su explicación se desarrolla en el 4.3.

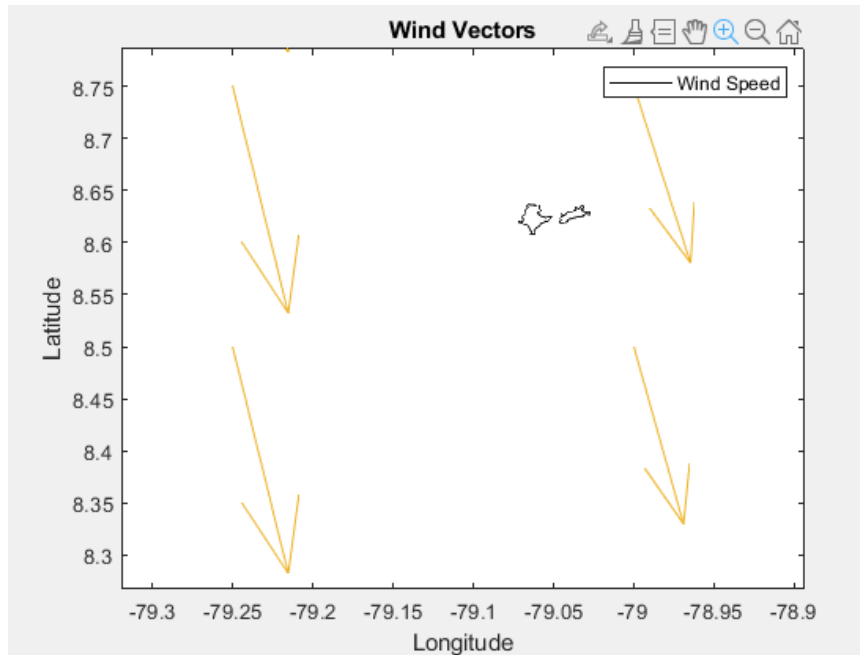


Figura 3: Vectores de viento: 31-01-2020. MATLAB.

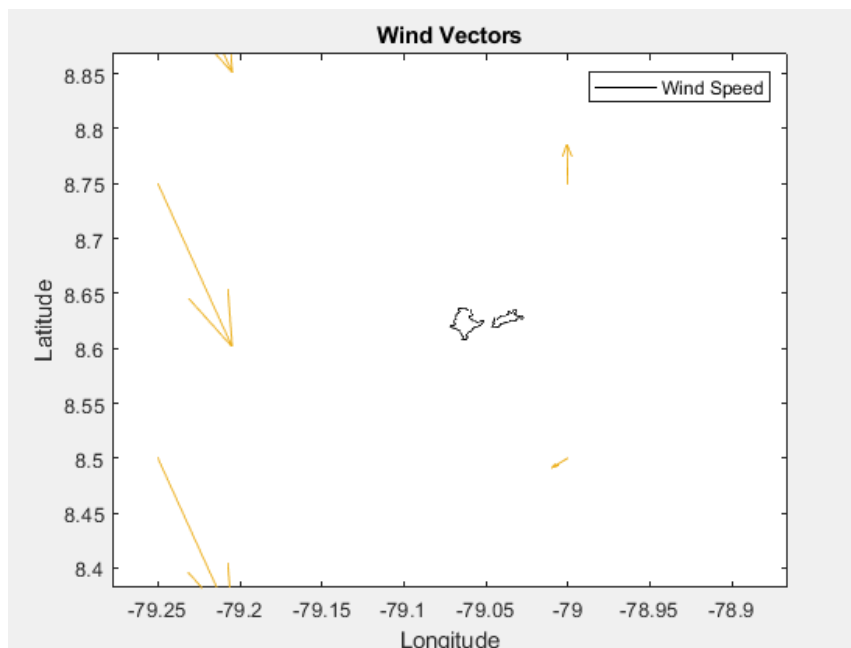


Figura 4. Vectores de viento: 01-11-2019. MATLAB.

En este caso se puede observar como durante el tiempo que se realizaron las campañas, el viento, Figura 3 y Figura 4, fue siempre en componente sureste debido al



desplazamiento de la ZCIT hacia el sur que genera que el viento en esta zona sea del componente mencionado. Este viento que aparece durante los meses en que la ZCIT está en latitudes más bajas se conoce como Panamá Jet ya que también tiene una velocidad bastante reconocible en la zona de unos constantes  $10'$  ( $5 \text{ m s}^{-1}$ ) aproximadamente. En cambio, si se compara con la época de lluvias, podemos afirmar que, en el mismo momento del día, la situación del viento es bastante distinta ya que la ZCIT se encuentra encima del Golfo de Panamá. Con esta información, se puede desarrollar el siguiente esquema de vientos donde se puede observar, Figura 5, la predominancia de los vientos del norte.

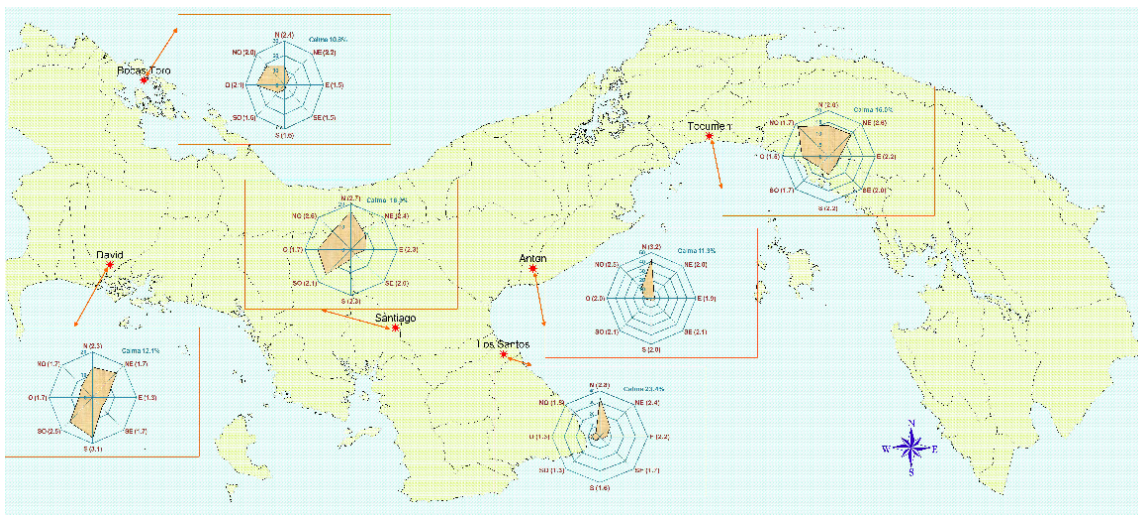


Figura 5. Vientos dominantes de Panamá. ETESA (Empresa de Transmisión de Electricidad SA).

Finalmente, la variable de la precipitación, con valores significativos durante los meses de abril y noviembre en la ZCIT se desplaza hacia el norte y genera esas borrascas que se identifican en forma de intensas precipitaciones periódicas.

### 3.2 Estudio de la marea

En lo que se refiere al estudio previo a la campaña en referencia a la marea, se procede a realizar una explicación sobre la evolución del progreso de la marea durante todo un periodo.



Como se comenta en el proyecto que precede a este, las mareas se producen debido a la interacción de fuerzas gravitatorias ejercidas principalmente por el Sol y la Luna y que son aplicadas sobre los océanos y mares que se encuentran en la Tierra. Esta diferencia de nivel que sufren los océanos y mares genera unas corrientes llamadas corrientes de marea que son las que transporten el flujo de agua que se desplaza. Estas corrientes, cuando se añaden a las corrientes que ya existen una zona, provocan la corriente máxima y esta es la que se pretende encontrar ya que es donde la velocidad es superior y en estos puntos, en un futuro, se puede pretender introducir algún tipo de generación energética (Ko, Chung, Lee, Park, & Yi, 2019).

De esta manera, se opta por recopilar la información de las mareas con el fin de poder determinar qué días es más interesante realizar la recogida de datos (Pacheco, Ferreira, Carballo, & Iglesias, 2014). A nivel aproximado se considera que las mareas siguen un periodo de 28 días des de que esta alcanza su máxima amplitud hasta que vuelve a alcanzarla de modo que la idea es realizar la recogida de datos durante los días que haya más amplitud de marea.

A nivel de amplitud de marea, Panamá es uno de los sitios donde la marea llega a una amplitud más alta 3-4 metros de mediana, lo cual es muy adecuado para poder realizar este tipo de estudios (Myers & Bahaj, 2005).

### 3.3 Estudio de la corriente regional

Finalmente, la tercera variable de estudio es la corriente regional. La corriente que se desarrolla en el golfo de Panamá y concretamente en la zona de la isla de Saboga será muy importante para determinar los factores que afectan al comportamiento de la boya. La circulación de la corriente regional en esa zona se basa principalmente en la circulación de las corrientes en el exterior del Golfo de Panamá y como estas entran y salen de este.

Las corrientes marinas se forman principalmente por dos motivos. Uno de ellos es el viento y el otro es la irradiación solar que reciben el cual hace que la masa de agua gane o pierda



temperatura y a su vez densidad. Si nos centramos en la acción del viento, su efecto es puramente mecánico ya que este desplaza las capas superficiales del agua generando así una corriente. En cambio, el concepto del efecto de la temperatura sobre una corriente, la cual es denominada corriente termohalina, es bastante más complejo.

Las corrientes termohalinas son aquellas que se generan a partir de la diferencia de temperatura, densidad y salinidad de distintos puntos de un líquido. Como es conocido, el sol irradia más las zonas ecuatoriales que las zonas polares por lo que las aguas situadas en estas zonas se calientan más, suben a la superficie y se desplazan hacia los polos ocupando el espacio que queda del agua fría que se desplaza por niveles inferiores del océano hacia el ecuador. Este circuito se produce cuando esta agua caliente se enfría al llegar a los polos, se hunde y pasa a ocupar el espacio que deja el agua caliente hace el ecuador.

A parte de esto, el cambio en la temperatura de distintos estratos del agua puede generar que la salinidad de una zona sea superior o inferior, modificando así su densidad y que se generen estos ríos dentro los propios mares y océanos de volúmenes de agua que se desplazan, pero no se mezclan debido a sus distintas características. Finalmente, además de estos factores, los cuales serían aplicables a cualquier fluido, cabe mencionar el efecto de la Tierra, es decir, su rotación, la cual genera una aceleración sobre estos fluidos (la Aceleración de Coriolis) y la existencia de continentes, los cuales modifican la circulación natural de estas corrientes.

Una vez su creación y evolución son conocidos, es importante mencionar a tres corrientes, Figura 6, que afectan directamente al comportamiento de la corriente regional: la Contra Corriente Norte Ecuatorial, la Corriente Circular de Panamá Bight (Rodríguez-Rubio, Schneider, & Abarca del Río, 2003) y la Corriente Ecuatorial Sur.

La Contra Corriente Ecuatorial Norte es la corriente que es generada por el volumen de agua que pasa a ocupar el espacio del agua que transportan las Corrientes Ecuatoriales hacia el oeste. A su manera la Corriente Ecuatorial sur es la corriente que se encuentra al sur del



ecuador y que desplaza parte de la masa de agua hacia el oeste del Océano Pacífico. Finalmente, la Corriente Circular de Panamá Bight (Chaigneau, Abarca del Rio, & Colas, 2006), Figura 6, es una corriente circular de carácter variable que se encuentra entre las latitudes de la Península de Santa Elena y el Golfo de Panamá y hasta el meridiano 82W aproximadamente. Esta corriente, es la que directamente afecta a la circulación del Golfo de Panamá y es alimentada por las otras dos corrientes mencionadas junto a la Corriente Costera de Colombia, la cual es una ramificación de la corriente de Humboldt (Montecino & Lange, 2009). La circulación de esta corriente es de carácter ciclónica de modo que la corriente se dirige en dirección norte cuando se encuentra en las costas de Colombia, es desviada por los vientos y por el efecto del golfo de Panamá hacia el oeste y finalmente vuelve a bajar hacia el sur aproximadamente cuando llega en el meridiano 82 W siendo empujada por el agua que viene de la Contra Corriente Ecuatorial y que se vuelve a unir a la corriente ecuatorial.

Esta corriente es especialmente fuerte (pudiendo alcanzar el  $1 \text{ m s}^{-1}$ ) (Averza Colamarco, 2010) durante los meses de invierno boreal ya que es cuando la ZCIT se desplaza más hacia el sur y los vientos en dirección sursuroeste son predominantes. Durante el verano, cuando la ZCIT se desplaza a latitudes próximas a Panamá, los vientos amainan, por lo que la aceleración de la corriente en el golfo de Panamá es menor. Sin embargo, cabe mencionar la variabilidad también de esta corriente cuando se produce el fenómeno de “El Niño”, en las costas de Sur América, este suceso periódico, propicia el calentamiento del agua en bajas latitudes del hemisferio norte generando así una corriente cálida de componente sur generada por la llegada de agua cálida de la Contra Corriente Ecuatorial. En estos casos, la circulación de esta corriente es nula y en el caso del Golfo de Panamá se ve tan reducida que incluso un cambio de sentido puede ser advertido tal y como recogen algunos datos históricos realizados por el Canal de Panamá.

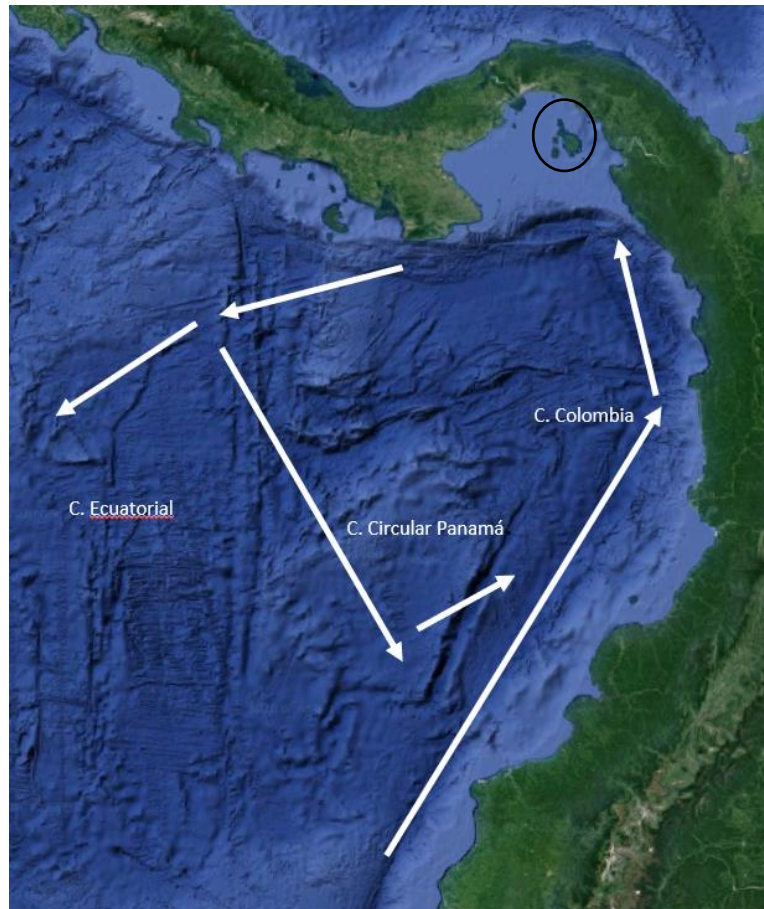


Figura 6. Vectores corrientes exteriores del Golfo de Panamá. Google Maps.

Finalmente, como conclusión se puede determinar que la circulación de la corriente marina en el Golfo de Panamá, sobre todo en los meses de la estación seca, de componente este (Castillo, Guerra, & Broce, 2016) y de una intensidad que puede llegar a alcanzar el  $1 \text{ m s}^{-1}$  (Mestres, Griñó, Sierra, & Möso, 2016). Conociendo las variables que han sido introducidas (viento, mareas y corriente regional) hasta este punto del proyecto, se puede proceder con la explicación de la recogida de datos, la planificación de los momentos en los cuales realizar las tomas de datos para así, poder finalizar con los resultados obtenidos, y las conclusiones que se extraen.



### 4. Metodología

Una vez se conoce la situación geográfica y todas las variables que pueden generar las corrientes se procede a la explicación de la metodología para poder desarrollar el proyecto viendo así la planificación de la campaña de campo, como se realiza la recogida de datos, como se leen estos datos y finalmente, cuáles son las lecturas obtenidas mediante la combinación de los dos apartados anteriormente mencionados.

#### 4.1 Planificación y ejecución de las campañas

Como se ha mencionado previamente en este proyecto, la recogida de datos se basa en dos campañas de campo que se realizaron en la isla de Saboga. Estas dos campañas de campo fueron realizadas durante los días 8 y 19 de diciembre de 2018 y entre el 27 de enero y el 6 de febrero del 2020.

La base de la campaña de campo consistía en poder realizar el máximo posible de lecturas con las boyas e intentando poder conocer al máximo las corrientes circundantes a la isla.

De esta manera, se plantearon una serie de lanzamientos de las boyas los cuales servirían para poder realizar suficientes lecturas. La idea inicial consistió en realizar entre uno o dos lanzamientos de boya y siempre intentando buscar el momento de máxima corriente de marea, es decir, justo en el punto entre medio de una bajamar y una pleamar o viceversa. Posteriormente, con el fin de intentar entender mejor el sistema de circulación de corrientes de la zona se propuso también hacer lanzamientos durante la pleamar o bajamar con el fin de poder detectar la corriente de marea viendo el retorno de la boya.

Los lanzamientos, tenían una durada aproximada de 2 horas lo que permitía poder ver una evolución de esta bastante clara en proporción a la escala geográfica de los alrededores. Hubo casos, en los cuales se tuvo que hacer más de un lanzamiento ya que la boya se alejaba del nuestro control lo que podía ponerla en riesgo de pérdida.



En lo que se refiere a la localización, se debe comentar que en las dos campañas se operó de forma distinta. Cabe mencionar que en la primera campaña se optó por concentrar mucho más la localización por dos motivos. Se pretendía conocer mucho las zonas donde sería factible poder instalar una zona de generación eléctrica mareomotriz y también debido a motivos técnicos. En la primera campaña, las boyas no guardaban la información en una tarjeta SD sino que solamente las mandaban a internet por lo que toda la parte oeste de la isla no podía ser estudiada ya que no tenía cobertura de internet.

De este modo, se pretendió estudiar más claramente la zona de menor distancia entre la isla de Saboga y la isla de Contadora ya que parecía que podría ser que ahí se encontrara la corriente más rápida de la zona debido a la geografía de los alrededores. Además, por aquella zona pasa sumergido el cable eléctrico que abastece la isla de Contadora de electricidad por lo que la situación parecía idónea para tal estudio. Seguidamente, se optó también por estudiar las zonas circundantes a esta con el fin de poder ver el comportamiento de las corrientes de forma más detallada. Se estudió la zona del noroeste de Contadora, el este de Saboga y también parte del norte de Saboga. Durante toda la campaña se realizaron los lanzamientos con una sola boya ya que la otra no pudo estar operativa.

Finalmente, se debe añadir que el medio usado durante casi toda la primera campaña para poder seguir a la boya fue un cayac de dos personas, lo cual los días de mucho viento y mar era difícil de sobrellevar y poder seguir a la boya al mismo tiempo. También, se corría el riesgo de que durante la manipulación de la boya en el cayac esta se mojara y se perdiera cualquier forma de poder obtener información. A finales de la primera campaña ya se pudo contar con un medio mejor como fue un velero del modelo Bahía gracias a la colaboración del Saboga Sailing Club.

En la segunda campaña gracias a la tarjeta SD, se hizo más hincapié en intentar estudiar la costa oeste. Se pudo contar con el velero desde el principio de la campaña y en los últimos días, también, con el soporte de una panga.



A continuació, una vegada s'havia realitzat tota la planificació, se procedí a agrupar-la amb el fin de tenir una idea de com proceder cada un dels dies.

*Tabla 1. Planificació de la Primera Campanya (2018). Verde: amplitudes significativas. Amarillo: amplitudes medias. Rojo: amplitudes poco significativas.*

Mes	Diciembre												
Día	12	13	14	14b	15	15b	16	16b	17	18	18b	19	
Pleamar	6:49	7:27	8:08	8:08	8:56	8:56	9:54	9:54	11:02	11:02	11:02	00:28	
Bajamar	13:02	13:45	14:33	14:33	15:24	15:24	16:19	16:19	17:17	18:16	18:16	06:53	
Pleamar	19:21	20:00	20:43	20:43	21:33	21:33	22:32	22:32	23:32			13:01	
Bajamar												19:14	
Amplitud	3.81	3.36	2.92	2.92	2.59	2.59	2.32	2.32	2.35	2.35	2.56	2.95	
Maxima Corriente	9:55	10:36	11:20	11:20	12:10	12:10	13:06	13:06	14:09	14:39	14:39	3:40	
	16:11	16:52	17:38	17:38	18:28	18:28	19:25	19:25	20:24	9:08	9:08	9:57	
												16:07:30	
Planning	Boia	Boia	Boia	Boia	Boia	Boia	Boia	Boia	Boia	Boia	Boia	Boia	

*Tabla 2. Planificació de la Segona Campanya (2020). EXCEL. Verde: amplitudes significativas. Amarillo: amplitudes medias. Rojo: amplitudes poco significativas.*

Mes	Enero				Febrero										
Día	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pleamar	6:06	6:41	7:16	7:50	2:32	3:20	4:14	5:14	6:19	0:52			03:49		05:13
Bajamar	12:08	12:45	13:23	14:04	8:27	9:12	10:12	11:25	12:34	7:24			09:58		11:25
Pleamar	18:31	19:05	19:38	20:13	14:46	15:35	16:32	17:36	18:44	13:34			16:07		17:37
Bajamar					20:50	21:39	22:40	23:49	19:50				22:16		
Amplitud	4.3	4.1	3.6	3.2	2.8	2.4	2.1	2.1	2.3	3.1	NO DATA	NO DATA	5.6	NO DATA	5.9
Maxima Corriente	9:07	9:43	10:19	10:57	5:29	6:16	7:13	8:19	9:26	4:08			6:53		8:19
	15:19	15:55	16:30	17:08	11:36	12:23	13:22	14:30	15:39	10:29			13:02		14:31
Planning	Boia	Boia	Boia	Boia	Boia + Batimetria	Boia + Batimetria	Batimetria	Batimetria	Boia	Boia			Boia		Boia

En las Tabla 1 y Tabla 2, se puede observar el resumen de la evolución diaria de la marea, las horas de la pleamar y bajamar, las horas de la supuesta máxima corriente de marea, la amplitud de la marea y finalmente que lanzamiento se pretende hacer. En base a las previsiones de mareas se determinaron los momentos de lanzamiento. Primeramente, se decidió realizar la toma de datos durante el momento en que la marea era más alta, es decir, justo en el momento medio entre la pleamar y la bajamar. De este modo, se realizaron lanzamientos tanto al lado este, como al lado norte de la isla durante la primera campaña. Una vez ya se tenían muchos datos de esta zona, se decidió realizar los lanzamientos de boya durante el momento en el que cambiaba la marea, pleamar máxima o bajamar máxima, con





el fin de poder identificar alguna diferencia en el comportamiento de la marea. Todos los lanzamientos se realizaban en un margen de una hora y media o dos dependiendo de la evolución que seguían las boyas y las condiciones meteorológicas que permitían seguirlas sin dificultad de que fueran extraviadas.

Como se puede observar en las figuras anteriores, **Error! Reference source not found.** y **Error! Reference source not found.**, en la primera campaña (de casi 9 días) se pudieron hacer más de un lanzamiento diario ya que solo se tenía una boya i esta podía ser seguida sin dificultad. Además, la boya emitía su posición vía internet, por lo que, si se perdía su visual, se podía localizar aproximadamente. Cabe también mencionar el hecho que los lanzamientos se realizaron en una zona bastante controlada (entre las islas principalmente) por lo que estas eran más localizables.

Sin embargo, en la segunda campaña (**Error! Reference source not found.**), se prefirió operar de distinto modo. Los lanzamientos se realizaron más a mar a abierto, en la costa oeste de la isla. Esta vez se contaba con dos boyas de las cuales ninguna emitía su posición por internet y en una zona donde viento y corriente eran superiores. De esta manera, los lanzamientos duraban más y también el desplazamiento hasta el punto de lanzamiento ya que el campamento base se encontraba al este de la isla. Esto implicó que la tarde se dedicara a otros quehaceres como eran el desarrollo del programa de cooperación en la isla y también la lectura y procesamiento de datos. Es importante destacar que cada una de las boyas contaba con una cadena de distinta longitud de manera que se pretendía detectar el comportamiento de la corriente en distintas profundidades. En todos los casos, se pretendió también lanzar las boyas a una distancia de a 1 metro y al mismo instante con el fin de ver esta diferencia de manera más precisa. En la costa sur en si no se hicieron lecturas debido a que a nivel geográfico era bastante pequeña y la zona no era segura para la navegación debido a los bancos de arena y rocas a parte del tiempo invertido en ir i volver de la zona a vela era realmente costoso al tener el viento siempre en contra al intentar regresar.





En la segunda campaña, como se puede observar en la Figura 12, se planificó también el cálculo de batimetrías en todo el canal entre la isla de Saboga y la de contadora. La idea consistía en realizar cuatro barridos de cuatro horas cada uno que permitieran identificar la profundidad de la zona. El instrumento utilizado para tal uso sería una sonda de bajo coste, sujeta a un elemento flotante (como puede ser una plancha de surf) y desplazarla mediante una embarcación a motor que permitiera desarrollar una velocidad constante. Sin embargo, el instrumento no pudo ser usado ya que no funcionó durante la campaña y fue imposible de reparar.

De este modo, se procedió a realizar la campaña con las dos boyas y, una vez se realizaron todos los lanzamientos y se procesaron los datos, se obtuvieron los siguientes resultados.

### 4.2 Recogida de datos

Para llevar a cabo el proyecto, se precisa de un instrumento que permita poder realizar los cálculos de velocidad o en su defecto de una cadena que permita a su fin poder saber la velocidad de la corriente.

El camino que se decide tomar contempla dos pasos a seguir con el fin de poder obtener este objetivo. El primero pasa por la obtención de una boya lagrangiana de bajo coste la cual permita poder su posición cada cierto tiempo periódico.

El segundo, a través de su posición y la diferencia de tiempos entre emisión, se puede calcular la velocidad que ha tenido la boya durante este periodo. Este segundo proceso se puede realizar mediante un “script” de un programa como puede ser el MATLAB. A través del cual se pueda tratar la información recibida y terminar obteniendo la velocidad de la boya.



Figura 7. Boyas lagrangianaas.

A continuación, se procede a explicar el funcionamiento de la boya y todo su conjunto, que se observa en la figura superior, con el fin de poder realizar las lecturas:

Las boyas lagrangianas, Figura 7, que usamos son boyas de deriva (que deben derivar con la corriente) que se componen de distintos elementos. Estos elementos son los siguientes:

- Tubo de PVC estanco: el cual contiene en su interior el sistema electrónico de la boya con el cual se emite y se almacenan los datos.
- Cadena: une al tubo de PVC con el derivador. Su longitud puede variar según la profundidad de la corriente que nos interese detectar.
- Cuerda: permite alargar la distancia entre la cadena y el tubo de PVC en el caso que se precise llegar a más profundidades.
- Derivador: Reflector radar hundido al agua y conectado mediante la cadena al tubo de PVC el cual es empujado por la corriente.
- Flotador: unido al tubo de PVC con el fin de mantener el tubo de PVC estanco en la superficie, que esta no se hunda y pueda seguir emitiendo.



- Bandera de localización: bandera que permite localizar visualmente la boya de manera más rápida y no perder el contacto con ella durante las lecturas.
- Sistema electrónico: formado principalmente por dos placas. Una placa de comunicaciones la cual junto a una antena permiten que se conecte vía GPS. La otra placa es de programación Arduino la cual realiza un primer tratamiento a los datos GPS de posición, almacenándolos y registrándolos de modo que se pueda conocer también, a parte de la posición GPS, la hora en UTC y la identificación de la boya que emite. Este almacenamiento se realiza tanto en una tarjeta SD que se encuentra dentro de la misma boya como también las envía vía GSM a través de una tarjeta SIM para que se almacenen en Internet. En caso de que no haya cobertura, simplemente se almacena en la tarjeta SD. Para poder alimentar las dos placas, se precisa de una batería la cual es alimentada con una pila de 12 V.

A nivel de software, cuando tanto la pila como la electrónica son encendidas, empieza un ciclo de procesos en el cual pretende primeramente encontrar y detectar los elementos internos como la tarjeta SIM y SD. A continuación, trata de buscar la red y cuando la encuentra empieza a emitir hacia internet y almacenar en la SD su posición cada 60 segundos. En el caso de que no encuentre la red, procederá, al cabo de unos intentos, a almacenarlo en la tarjeta SD. Este proceso, representa que los datos en la tarjeta se guardan aproximadamente cada 80-90 segundos si no se emiten en Internet.

### 4.3 Lectura y procesamiento de datos

Este proyecto se ha basado en el desarrollo de “scripts” a través del programa de computación numérica y lenguaje de programación MATLAB. Este programa ha permitido poder leer y comparar datos con el fin de poder interpretar mejor todas las variables que se tenían en cuenta.



Mediante el desarrollo de distintos “scripts” o programas se han podido analizar los resultados y también estudiar algunas variables para poder obtener la información necesaria para desarrollar conclusiones.

Los “scripts” desarrollados son los siguientes:

- Script de lectura de datos de la boya.
- Script de análisis del viento en la zona.
- Script de análisis de la marea en la zona.

El “script” de lectura de datos de la boya, **Error! Reference source not found.** y Figura 9, se comprendía de la siguiente estructura:



```

preTreatmentSD_v3.m  x  wind.m  x  Saboga_tide.m  x  +
1  %% Clean and plot field data
2  %%
3  %%
4
5  close all,clc,clear all
6
7  %% Load data
8  day = dir('.');
9  day = day(~ismember({day(:).name},{'.','..'})); % Removes unnecessary hidden folder
10
11  varNames = {'Date','Id','lat','lon','cog','vel','bat','unk'};
12
13
14  ldc_C = load('LaContadora_ldc.txt');
15  ldc_C = reshape(ldc_C,[3,length(ldc_C)/3]);
16  ldc_C = ldc_C';
17  ldc_C = ldc_C(:,1:2);
18
19  ldc_S = load('Saboga_ldc.txt');
20  ldc_S = reshape(ldc_S,[3,length(ldc_S)/3]);
21  ldc_S = ldc_S';
22  ldc_S = ldc_S(:,1:2);
23
24
25  for i = 1: length(day)-2
26      opDir = strcat(day(i).folder,'/',day(i).name,'/');
27      files = dir(strcat(opDir,'B0*'));
28
29      % Load B01 data
30      % b01 = cleanTaula(strcat(day(i).folder,'/',day(i).name,'/',files(1).name),varNames)
31      b01 = readtable(strcat(opDir,'/',files(1).name));
32      b01.Properties.VariableNames = varNames;
33      b01=b01(~any(ismissing(b01),2),:);
34      t01 = dates(b01);
35
36      % Load B02 data
37      b02 = readtable(strcat(opDir,'/',files(2).name));
38      b02.Properties.VariableNames = varNames;
39      b02=b02(~any(ismissing(b02),2),:);
40      t02 = dates(b02);
41
42
43

```

Figura 7. Desarrollo lectura boyas núm. 1. MATLAB.



```

%% Plot trajectories
figure
scatter(b01.lon, b01.lat, 30, b01.vel,'filled','MarkerEdgeColor','k')
hold on
scatter(b02.lon, b02.lat, 30, b02.vel,'filled','MarkerEdgeColor','r')
plot(ldc_C(:,1),ldc_C(:,2),'k')
plot(ldc_S(:,1),ldc_S(:,2),'k')
hold off
legend('B01','B02', 'Location','Best')
h=colorbar
caxis([0.2 1.2])
ylabel(h, 'Speed (m/s)')
title(datestr(datetime(t01(1,1),t01(1,2),t01(1,3)),'dd/mm/yy'))
xlabel('Longitude')
ylabel('Latitude')

saveas(gcf, strcat(opDir,num2str(t01(1,1)), num2str(t01(1,2)), num2str(t01(1,3)),'.png'),'png')

%% plot speed

Tempsb01=size(b01.vel);
Tempsb01 = t01(:,4)*3600 + t01(:,5)*60 + t01(:,6);
Tempsb02=size(b02.vel);
Tempsb02 = t02(:,4)*3600 + t02(:,5)*60 + t02(:,6);
A = min(Tempsb01(1),Tempsb02(1));

Tempsb02 = Tempsb02 - A;
Tempsb01 = Tempsb01 - A;
Tempsb01 = Tempsb01 /60;
Tempsb02 = Tempsb02 /60;

figure
plot(Tempsb01,b01.vel,'ko',Tempsb02, b02.vel, 'go');
legend('B01','B02', 'Location','Best')
title(datestr(datetime(t01(1,1),t01(1,2),t01(1,3)),'dd/mm/yy'));
xlabel('Time (minutes)');
ylabel('Velocity (m/s)');

saveas(gcf, strcat(opDir, 'Velocity.png'),'png');
    
```

Figura 9. Desarrollo lectura boyas núm. 2. MATLAB.

En el “script”, Figura 7 y Figura 9, se utiliza la información que nos ha suministrado la boya en formato “txt” y la procesamos con el fin que termine pintándonos dos gráficos de cada lanzamiento. En el primero se observa la trayectoria de la boya en la zona geográfica (aportándonos también la velocidad en cada punto) y en la segundo nos realiza un gráfico de la velocidad de esta durante todo el tiempo que ha estado en el agua. Para poder realizar eso, debíamos tomar nota de la hora en la que se lanzaba y recogía la boya con el fin de que esta



no transmitiera información errónea. Finalmente, se pide que almacene los gráficos generados.

Como ejemplo, se pueden observar en las Figura 8 y Figura 9, parte de los resultados obtenidos de este script y que serán explicados en su apartado correspondiente. Los resultados detallados de cada día de campaña se recogen en el Anexo.

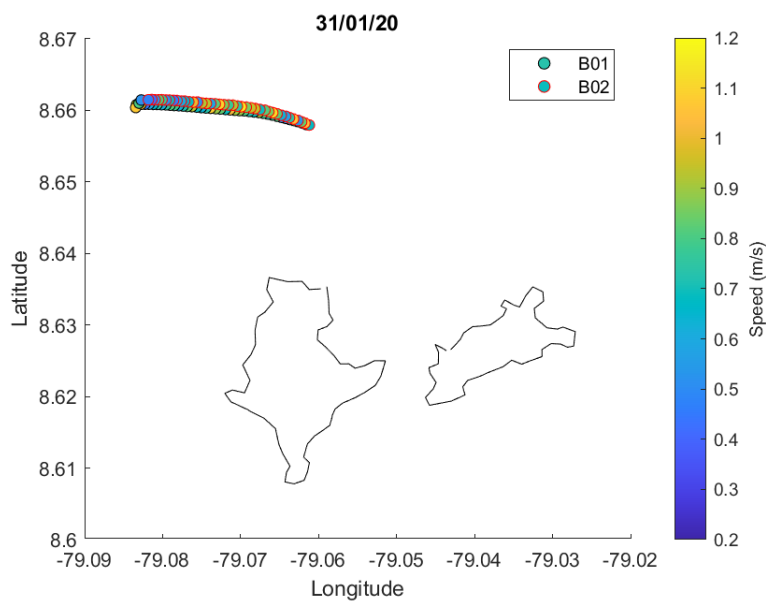


Figura 8. Resultados 31-01-2020. MATLAB.



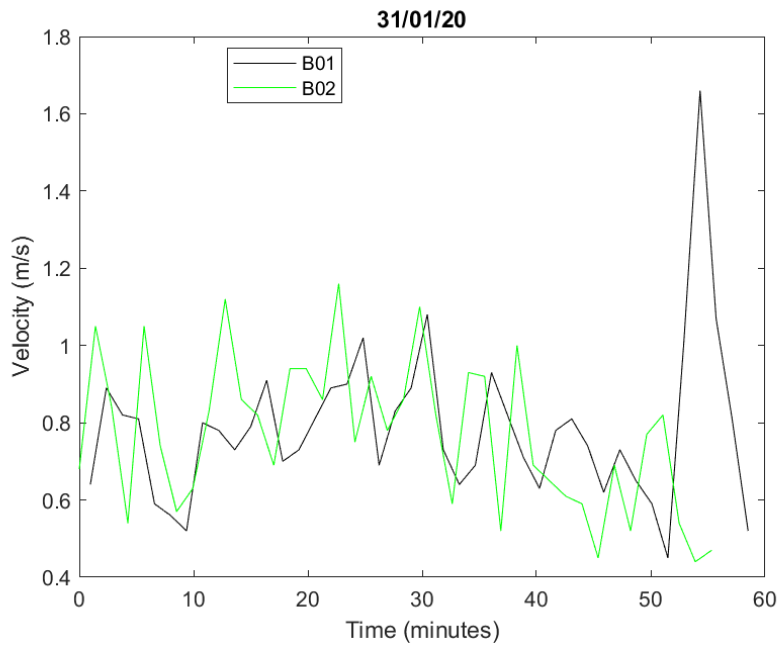


Figura 9. Velocidad boyas 31-01-2020. MATLAB.

El “script” de la lectura del viento, Figura 10 y Figura 11 , tiene la siguiente estructura.

```
preTreatmentSD_v3.m  wind.m  Saboga_tide.m  +
1  clear all;
2  clc;
3
4
5  ncfile = 'wind.nc' ; % nc file name
6  % To get information about the nc file
7  ncinfo(ncfile)
8  % to display nc file
9  ncdisp(ncfile)
10 % to read a variable 'var' existing in nc file
11 wind_speed = ncread(ncfile,'wind_speed') ;
12 eastward_wind = ncread(ncfile,'eastward_wind');
13 northward_wind = ncread(ncfile,'northward_wind');
14 time= ncread(ncfile,'time');
15 longitude = ncread(ncfile,'lon');
16 latitude = ncread(ncfile,'lat');
17
18 aux=wind_speed(:,:,1);
19 aux = wind_speed(2,2,:);
20 auxx = reshape(aux, 1, 3391);
21 auxx = squeeze(wind_speed(2,2,:));
22 auxx = reshape(wind_speed(2,2,:),size(wind_speed,3),1);
23 ws = reshape(wind_speed(2,2,:),size(wind_speed,3),1);
24 ew = reshape(eastward_wind(2,2,:),size(eastward_wind,3),1);
25 ns = reshape(northward_wind(2,2,:),size(northward_wind,3),1);
26
27 t = double(time)/24 + datenum('1900-01-01 00:00:00');
28 t = double(t);
29 t = datevec(t);
30
31 figure
32 plot(time, ws);
33 legend('ws')
34 title('Wind Speed');
35 xlabel('Time (minutes)');
36 ylabel('Velocity (m/s)');
37 figure
38 plot(time,ns);
39 legend('ns')
40 title('Northwarth Wind');
41 xlabel('Time (minutes)');
42 ylabel('Velocity (m/s)');
```

Figura 10. Desarrollo lecturas viento núm. 1. MATLAB.

```

43 - figure
44 - plot(time,ew);
45 -     legend ('ew')
46 -     title('Eastwarth Wind');
47 -     xlabel('Time (minutes)');
48 -     ylabel('Velocity (m/s)');
49
50 % pintem illes
51 - ldc_C = load('LaContadora_ldc.txt');
52 - ldc_C = reshape(ldc_C,[3,length(ldc_C)/3]);
53 - ldc_C = ldc_C';
54 - ldc_C = ldc_C(:,1:2);
55
56 - ldc_S = load('Saboga_ldc.txt');
57 - ldc_S = reshape(ldc_S,[3,length(ldc_S)/3]);
58 - ldc_S = ldc_S';
59 - ldc_S = ldc_S(:,1:2);
60
61 - figure
62 - plot(ldc_C(:,1),ldc_C(:,2),'k');
63 - hold on;
64 - plot(ldc_S(:,1),ldc_S(:,2),'k');
65 - quiver(longitude,latitude,eastward_wind(:,:,1),northward_wind(:,:,1));
66
67
68
69

```

Figura 11. Desarrollo lecturas viento núm. 2. MATLAB.

Este “script” tiene como su principal función la de determinar cuál era el viento registrado en la zona durante los lanzamientos de las boyas. Para poder alcanzar este objetivo, se usan los datos registrados del sistema Copernicus el cual publica archivos sobre las lecturas de sus satélites en formato “nc”. Con el fin de poder abrir este archivo, se desarrolla el “script” que se muestra en las figuras superiores, y trata todas sus variables. Como se puede observar el archivo contiene distintas variables: el tiempo, los componentes del vector del viento y su módulo. Su módulo, será la velocidad del viento y sus componentes se deben interpretar con el fin de determinar la dirección del viento. Con el fin de poder tener el máximo de información posible, se intenta “plotear” y leer toda la información que se puede obtener. Para poder

observar los datos de los días en los que se realizan los lanzamientos, se transporta los datos de tiempo al formato año//mes//día//hora (UTC). De esta manera, sabiendo a que valor numérico corresponde cada fecha, se puede encontrar la situación del viento en el momento designado. Finalmente, como conclusión, se logra la representación geográfica del viento alrededor del archipiélago.

El resultado obtenido, entre otros gráficos, Figura 12 , en modo de ejemplo y más significativo, es el siguiente.

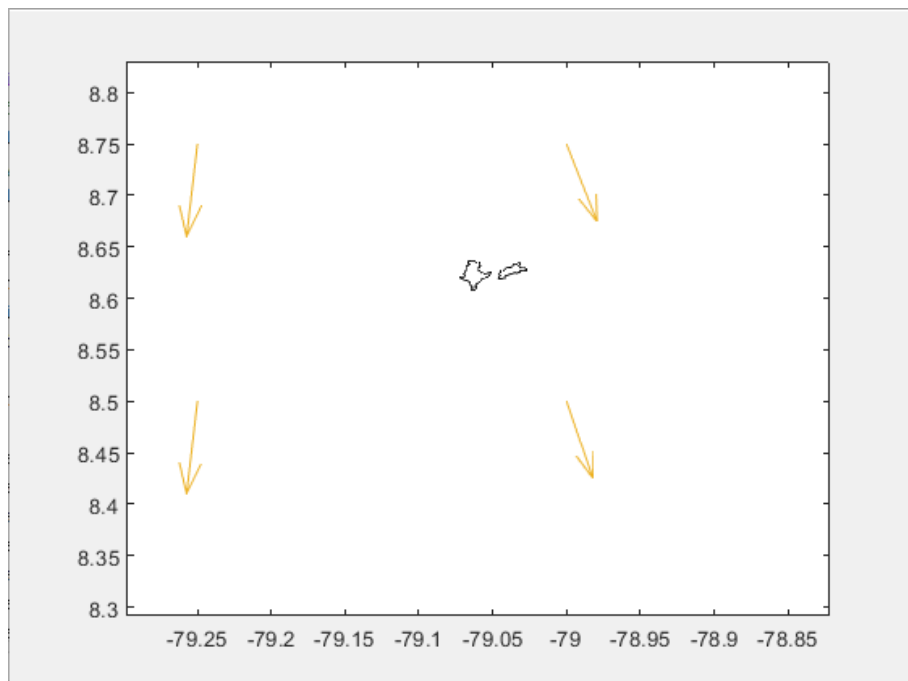


Figura 12. Resultados lecturas vectores viento. MATLAB.

Se pueden observar, Figura 13, los vectores del viento respecto a la posición de las islas.

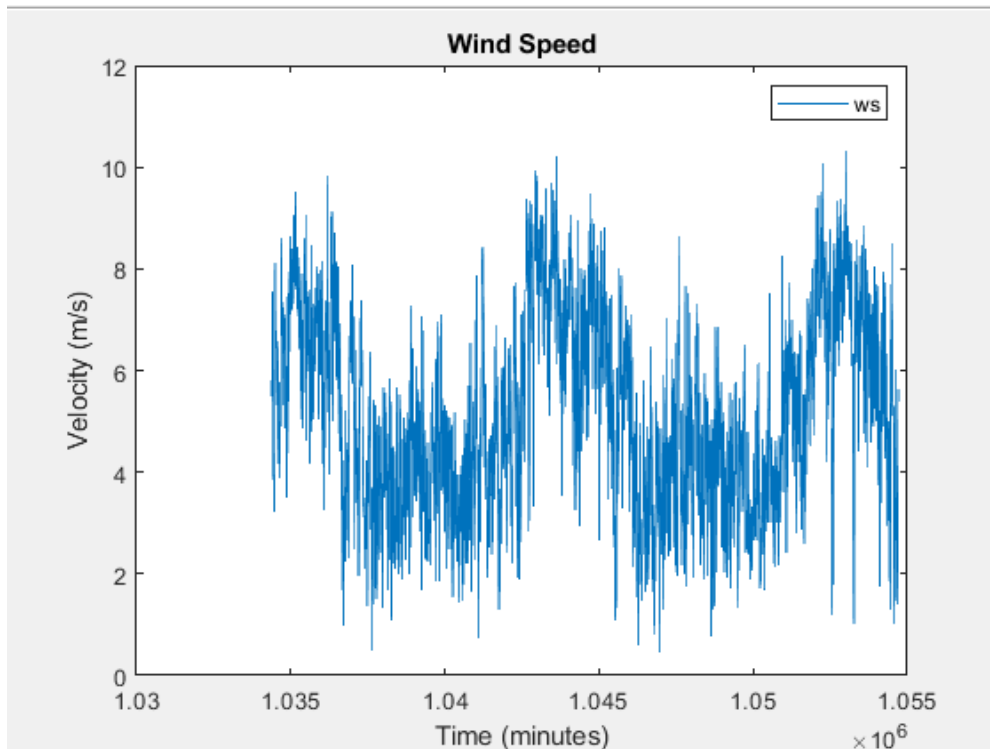


Figura 13. Resultados lecturas velocidad viento. MATLAB.

Se puede observar la velocidad del viento en los vectores mencionados.

El “script” de la Figura 14, de la representación de la marea tiene la siguiente estructura.

```
preTreatmentSD_v3.m x wind.m x Saboga_tide.m x +
1
2 - clear all;
3 - clc;
4 - TideSaboga=readtable('Tide_Saboga2.csv');
5 ● figure
6 - stackedplot(TideSaboga);
7 |
```

Figura 14. Desarrollo lecturas marea. MATLAB.

Este “script” consistía en abrir el archivo en el MATLAB y hacer el grafico. Como se puede ver en el ejemplo inferior las tres variables, permiten ver el aumento de la amplitud de marea

durante los días que se realizó la campaña. La primera variable es la evolución del tiempo, la segunda la evolución de las horas del día y la tercera la evolución de la amplitud de marea.

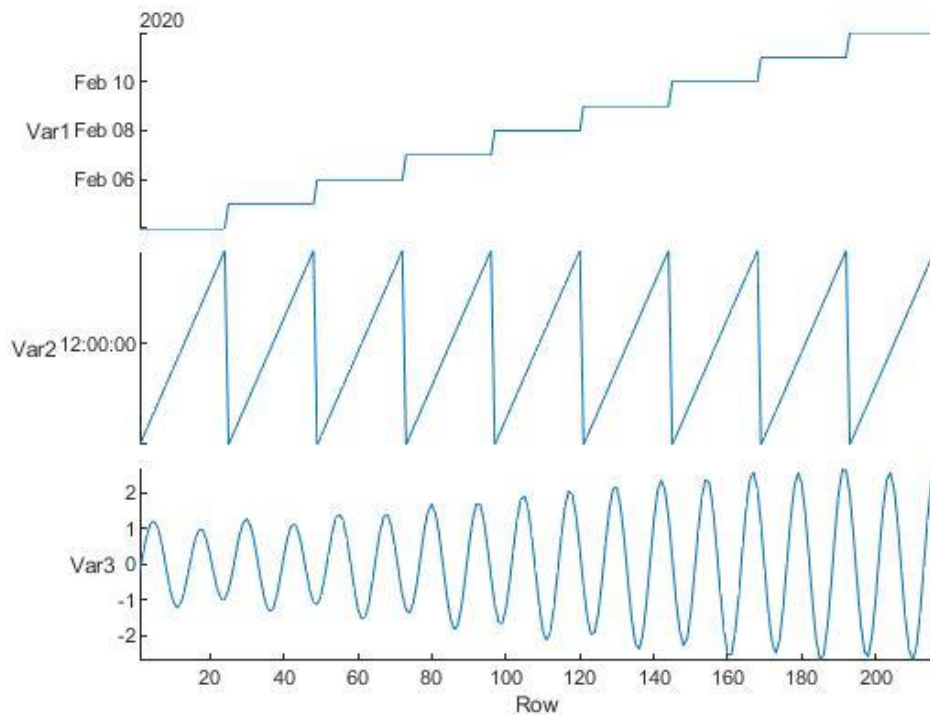


Figura 15. Resultado lecturas marea. MATLAB. Var1: tiempo (días). Var2: tiempo (24 horas). Var3: evolución de la marea.

Como se puede observar en la Figura 15, la amplitud de marea empezó siendo bastante baja y en el último día en el que se realizó un lanzamiento la amplitud de marea era mucho más alta lo que por definición, la corriente también debería ser más alta. Una vez se conoce la metodología utilizada para desarrollar el proyecto, se pueden presentar los resultados.

## 5. Resultados y discusión

Mediante las lecturas de los datos y los “scripts” definidos se pudieron obtener los siguientes resultados.

Primeramente, se presenta un resumen de los resultados de las dos campañas, Tabla 3 y Tabla 4, en los cuales se pueden observar los datos recogidos y las variables más resumidas:

Tabla 3. Resumen de los resultados de la Primera Campaña (2018)

Día	Lanzamiento (LT)	Recogida (LT)	Vent (km/h)	Direcció	Amplitud de Marea (m)
12/12/2018	09:43	10:19	20	N	3.81
13/12/2018	09:13	11:05	15	N	3.36
14/12/2018	09:29	10:17	10	N	2.92
14/12/2018	11:23	12:10	0	-	2.92
15/12/2018	07:39	07:50	10	N	2.59
15/12/2018	08:59	09:41	10	N	2.59
16/12/2018	07:41	08:06	17	N	2.32
16/12/2018	09:18	10:00	17	N	2.32
17/12/2018	15:54	17:07	25	N	2.35
18/12/2018	15:58	16:43	15	N	2.35
18/12/2018	16:48	17:14	15	N	2.56
19/12/2018	10:06	11:34	15	N	2.95

Tabla 4. Resumen de los resultados de la Segunda Campaña (2020)

DIA	29-janv		30-janv		31-janv		02-févr		03-févr		04-févr		05-févr		06-févr		09-févr		11-févr	
BOIA	B01	B02	B01	B02	B01	B02	B01	B02	B01	B02	B01	B02	B01	B02	B01	B02	B01	B02	B01	B02
PREFUNDIDAD	3	1	3	1			1	3	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1
HORA LANZAMIENTO	09:57		09:38		10:28		08:18		10:05		08:53	08:51	08:47	08:47	09:49	09:49	13:02	13:02	09:03	09:03
MAR LANZAMIENTO	10 cm - NE		15 cm - N		50 cm - N		15cm N		100 cm N		30 cm N		20 cm N		20 cm N		20 cm N		20 cm N	
VIENTO LANZAMIENTO	NE-5		N-10		NW-10		N-8		NE 18		NE - 8		N 5		N - 5		N - 15		N - 5	
DISTANCIA	1		1		1		1		1		DISTINTO TIEMPO		1		1		1		1	
HORA RECOGIDA	10:43	10:51	12:00	11:50	11:25	11:21	09:47	10:15	11:13	11:08	10:14	10:12	10:11	10:09	11:26	11:23	13:49	13:49	10:03	10:06
MAR RECOGIDA	10 cm - NE		10 cm - NE		30 cm - NW		50 cm N		100 cm N		45 cm N		25 cm N		25 cm N		25 cm N		25 cm N	
VIENTO RECOGIDA	0	0	N - 4	N-5	NW-10		N - 15		NE 18		NE - 8		N-8		N-8		N-15		N-5	
OTROS									NO DATA											

A continuación, se muestran resultados según la zona donde fueron tomadas, según la fecha y que sean significativos para poder realizar una interpretación de estos. En los resultados se

puede observar el recorrido seguido por las boyas y la velocidad en cada uno de los puntos en hora local. Todos los resultados se pueden encontrar en el anexo del proyecto.

**12 /12/2018 Lanzamiento: 09:43 Recogida: 10:26 Velocidad máx.: 0.85 m s<sup>-1</sup>**

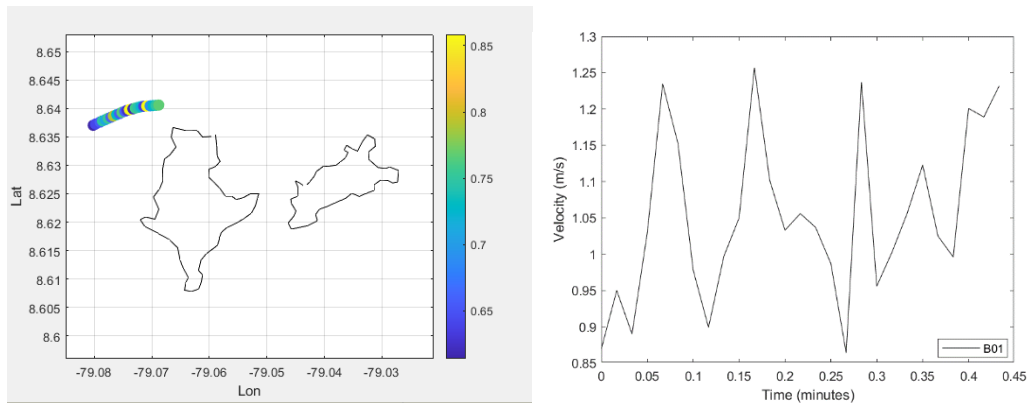


Figura 16. Resultados 12-12-2018.MATLAB.

En la Figura 16 se observa el recorrido seguido por la boya 1 y su respectiva lectura de velocidad en la cual se puede observar que varía bastante entre valores de  $0.85 \text{ m s}^{-1}$  hasta un máximo de  $1.25 \text{ m s}^{-1}$ . Este caso corresponde al día en que la boya es lanzada al norte de la isla. Esta se desplazó en sentido oeste con las velocidades de la Figura 16. En este caso se refleja la primera lectura en la que se detecta la corriente que se desplazaba hacia el oeste por el contrario de los esperado al haber previsto que la boya se dirigiese hacia el canal de entre las dos islas empujada por la aceleración de la bajamar. Por el contrario, como se observa, esta se desplaza hacia el oeste a una velocidad significativamente reseñable.



**30/01/2020** Lanzamiento: 09:35 Recogida: 11:50 (B01) 12:00 (B03) Velocidad máx.:  $0.65 \text{ m s}^{-1}$

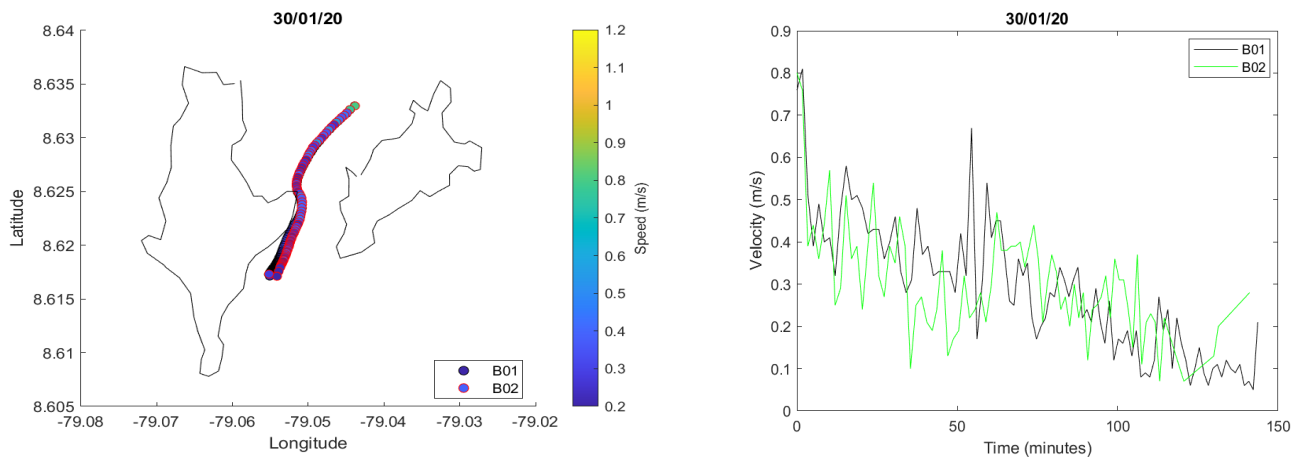


Figura 17. Resultados 30-01-2020. MATLAB.

Los resultados del día 30-01-2020 recogidos en la Figura 17 muestran como las dos boyas se desplazan hacia el sur. Estas se desplazan de forma conjunta y trazando una trayectoria similar. En referencia a la velocidad, se puede observar como esta va disminuyendo a medida que se desplaza hacia el sur del canal entre las dos islas. Las velocidades desarrolladas empiezan alrededor de los  $0.6 \text{ m s}^{-1}$  y van decreciendo hasta velocidades inferiores a los  $0.2 \text{ m s}^{-1}$ .

31/01/2020 Lanzamiento: 10:28 Recogida: 11:25 (B01) 11:21 (B02) Velocidad máx.: 1.15 m s<sup>-1</sup>

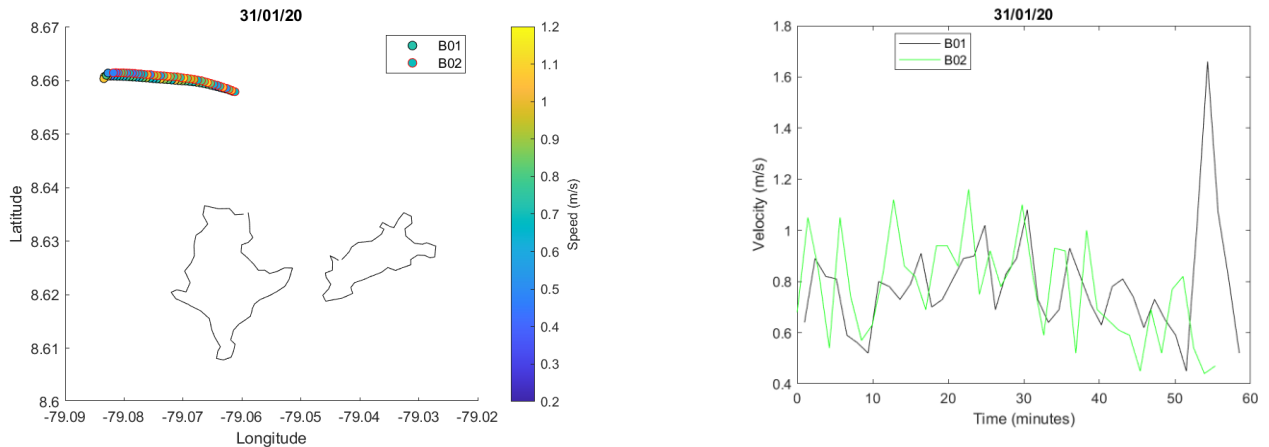


Figura 18. Resultados 31-01-2020. MATLAB.

En lo que se refiere a los resultados del día 31-01-2020, Figura 18, se observa como la boya es también lanzada al norte de la isla y se desplaza hacia el oeste siguiendo unas velocidades de entre 0.6 y 1.1 m s<sup>-1</sup>. En la última lectura se puede observar un pico de velocidad, totalmente despreciable, correspondiente a la velocidad de la boya una vez recogida la cual emitía la velocidad de la embarcación usada.

**04/02/2020** Lanzamiento: 08:53 Recogida: 10:14 (B01) 10:12 (B02) Velocidad máx.:  $0.52 \text{ m s}^{-1}$

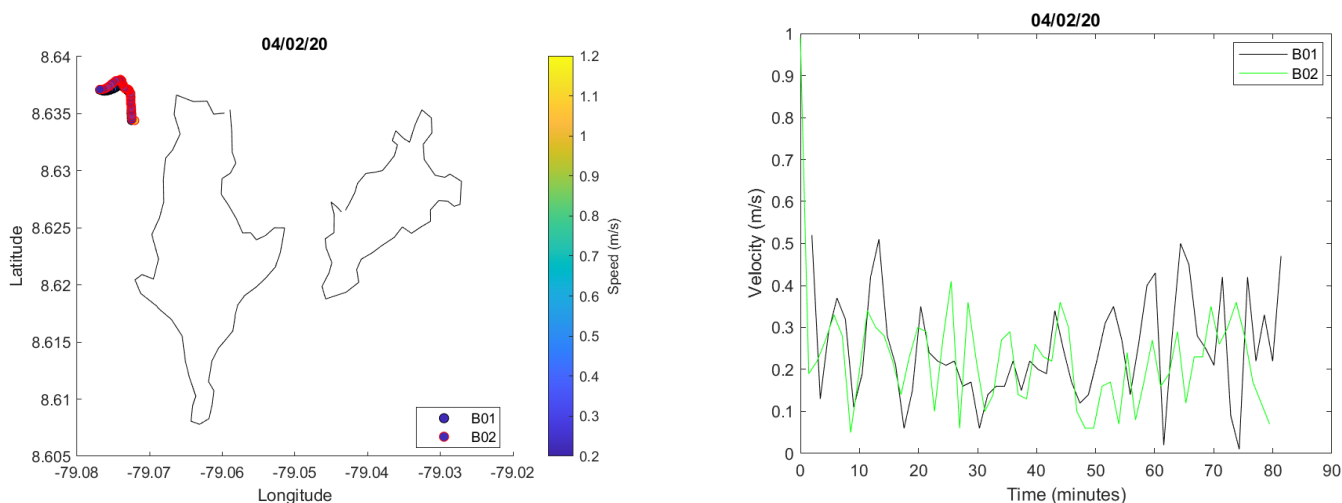


Figura 19. Resultados 04-02-2020. MATLAB.

En las lecturas del día 04-02-2020, Figura 19, se trata de buscar el momento en el cual la boya cambia de dirección y empieza a desplazarse hacia el oeste viniendo del sur en la costa oeste de la isla. En este caso, se puede observar claramente como las boyas cambian de dirección hacia el oeste una vez sobrepasan la punta norte de la isla a diferencia del resto de lecturas las cuales no muestran cambios de sentido significativos.

**05/02/2020** Lanzamiento: 08:47 Recogida: 10:11 (B01) 10:05 (B02) Velocidad máx.:  $0.51 \text{ m s}^{-1}$ .

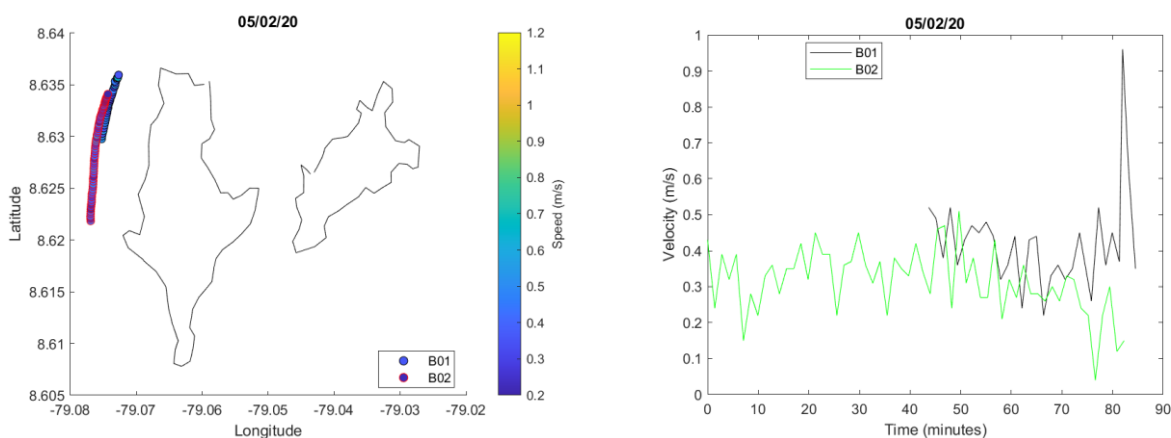


Figura 20. Resultados 05-02-2020. MATLAB.



El día 05-02-2020, Figura 20, se trata de localizar la corriente correspondiente al oeste de la isla. Esta, como las boyas indican, se desplaza hacia el norte con velocidades de entre 0.3 y 0.5 m s<sup>-1</sup>. En este caso es importante reflejar el hecho que la boya 2 no recogió datos durante los primeros minutos de la toma. A diferencia de la Figura 19, no se observa el desvío ya que las boyas son recogidas justo antes de sobrepasar el límite septentrional de la isla por lo que la corriente del norte aun no influye según se observa en la propia Figura 19.

Mediante los resultados presentados, se puede observar el comportamiento de las boyas, y por lo tanto la acción de las corrientes, todo alrededor de la isla. Además, junto a la combinación del análisis de las velocidades, se puede ver en cuál de estas corrientes la velocidad es más alta.

En el resumen superior de los datos recogidos, se puede observar cual es la trayectoria que siguieron las boyas y como las velocidades más altas se alcanzaron en la corriente regional que se desplaza durante esta época del año de este a oeste con una media de velocidades de 1 m s<sup>-1</sup>. Se puede ver también como la circulación de las corrientes alrededor de la isla son de circulación horaria, es decir, en la costa este de la isla se encuentra una corriente que se desplaza en dirección sur y en la costa oeste una corriente que se desplaza en dirección norte la cual es arrastrada posteriormente por la corriente de componente oeste que es más potente. Ambas boyas, aunque tenían distintas profundidades se comportan de la misma forma. En referencia a la velocidad desarrollada, cabe destacar que es muy superior en la zona norte de la isla donde se observa la influencia de la corriente regional y que rompe el sentido horario claramente marcado en todo el contorno de la isla excepto en esta zona. Se puede observar también, como la velocidad en el canal entre las islas de Saboga y Contadora es bastante inferior y va perdiendo velocidad a medida que se desplaza hacia el sur.



Con los datos obtenidos, se puede abrir pues un ámbito de discusión en el cual desarrollar argumentos para la obtención de conclusiones. Como se comenta en apartados previos del proyecto, la idea es comparar el comportamiento de la boya con las tres variables mencionadas (viento, marea y corriente regionales) con el fin de identificar cuál de estas influyen de una manera más fuerte a la deriva de la boya.

Como se puede observar en el comportamiento de la boya, Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19 y Figura 20, la circulación alrededor de la isla de Saboga es principalmente de tipo horario, es decir, en la costa este la circulación es en dirección sur con velocidades de  $0,5 \text{ m s}^{-1}$  y en la costa oeste, es de dirección norte con velocidades similares a las de la costa este. Sin embargo, cabe mencionar que en la zona norte de la isla se ha observado de forma clara la existencia de una corriente sustancialmente más fuerte que las mencionadas anteriormente, de aproximadamente  $1 \text{ m s}^{-1}$  y que circula de este a oeste.

En referencia a la influencia del viento, con una dirección y sentido sursureste, como responde al invierno, y con una intensidad de unos  $6-10 \text{ m s}^{-1}$  durante el día, Figura 21 y Figura 22. Habiendo obtenido estas lecturas de viento, se puede decretar que este viento constante va a favor de la corriente desarrollada en el este de la isla, pero por el contrario este se desplaza en el sentido opuesto a la corriente de la costa oeste. En referencia a la corriente del norte, el viento la recibe de forma perpendicular, desviándola hacia al sur tal y como las boyas indican. En lo que refiere a la marea, marea, se debe ser más cauteloso ya que la mayoría de los lanzamientos fueron realizados entre la pleamar y bajamar (o viceversa) tratando de buscar la velocidad de corriente de marea más fuerte pero también hubo casos en los que se lanzó durante la propia pleamar o bajamar con el fin de identificar algún cambio en el comportamiento de la boya. Además, cabe tener en cuenta la amplitud de marea en cada caso lo cual es directamente proporcional a la intensidad de la corriente de marea.

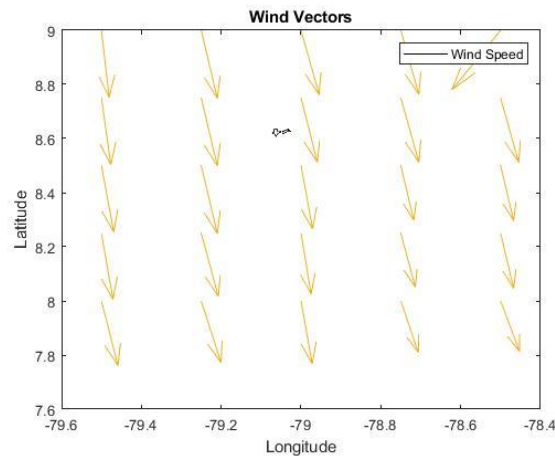


Figura 21. Vectores de viento 31/01/2020 18:00

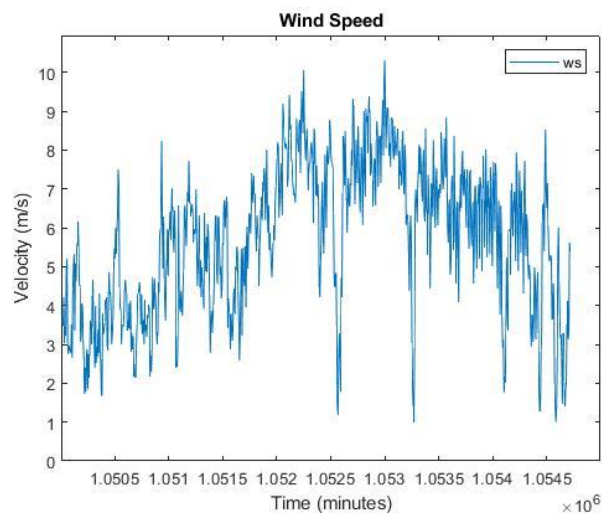


Figura 22. Velocidad viento invierno 2020.

Finalmente, la corriente regional, la cual no cabe duda de que, durante esta época del año, y debido a la circulación exterior del golfo, esta es principalmente de este a oeste y con una intensidad de  $1 \text{ m s}^{-1}$ . Una vez conocidos estos datos, se puede empezar a comparar los resultados con la información previa recogida e intentar de determinar qué factores influían principalmente en el comportamiento de la boya. Para poder desarrollar este estudio, se

dividen las lecturas por zonas y se intenta observar alguna diferencia del comportamiento en el cambio de los elementos exteriores.

### 5.1 Costa este:

La zona de la costa este se puede dividir en dos zonas de tomas de datos. Uno de ellos es el canal entre Saboga y Contadora, y el otro es la zona noroeste de Contadora.

En el canal de Contadora, se puede observar, Figura 17, que la corriente existente de forma mayoritaria es una corriente de componente sur y con una velocidad de unos  $0.3-0.5 \text{ m s}^{-1}$ . Esta corriente existe de forma constante tanto cuando la marea sube o cuando baja por la que puede resultar que este desplazamiento hacia al sur de la boya se deba principalmente al viento constante hacia el sur que sopla durante esta época del año. Sin embargo, existe una excepción registrada el día 19 de diciembre del 2018 en el cual se puede observar como la boya se desplaza hacia el norte. En este caso, la corriente de marea se dirige hacia el norte, la amplitud de marea era  $2.95\text{m}$  y el viento sopla con unos 8 nudos hacia el sur. También cabe mencionar la disminución de velocidad que se registra los días en los que los datos se toman cuando hay un cambio de marea. En los resultados, se puede ver como cuando la marea llega a la bajamar y empieza a subir, la velocidad de la boya disminuye, pero nunca llega a realizar un cambio de sentido por lo que se puede deducir que la fuerza de la corriente generada por del viento es superior a la corriente de marea.

En referencia a la zona noroeste de Contadora, cabe destacar que las dos tomas de datos que se realizan allí reflejan la presencia de una corriente regional hacia el norte. Como se puede ver en los resultados, en los dos casos las boyas se desplazan hacia el norte aun cuando hay un fuerte viento hacia el sur de unos  $15'$  y la corriente de marea es de bajamar.

### 5.2 Costa oeste:

En referencia a la costa oeste de la isla, la circulación de la corriente encontrada allí es mucho más homogénea. En todas las lecturas que se realizan, Figura 19 y Figura 20, se observa como



la evolución que siguen las boyas son de componente norte, aunque el viento sople hacia el sur. Sí que se puede mencionar que quizás el viento, siempre de componente sur, las paraba un poco ya que el día que sopla más viento estas son más lentas y el día que sopla menos estas desarrollan unas velocidades superiores. Ambos casos se realizan con las mismas condiciones de marea, alcanzando la bajamar. Además, las boyas al llegar a la zona norte de la isla cambian de rumbo tomando dirección oeste lo que hace pensar que se unen a la corriente regional mencionada. También se identifica un inicio de aceleración de la boya ya que las velocidades incrementan de  $0.3 \text{ m s}^{-1}$  a unos  $0.45 \text{ m s}^{-1}$  en las últimas lecturas.

### 5.3 Costa norte:

En la costa norte se realizaron tomas durante las dos campañas. En un principio, cuando se desarrolló el proyecto, era una zona de la cual no se tenía mucho interés y en la cual no se esperaba encontrar grandes corrientes. Sin embargo, en el primer día de la primera campaña, se trató de ir al norte para intentar buscar la corriente que, según nuestros cálculos, debía bajar hacia el canal de Contadora. No obstante, las lecturas demuestran que esta, en vez de ir hacia el sur, se desplaza hacia el oeste.

Las boyas en esta zona, Figura 16 y Figura 18, se puede confirmar, que se desplazan hacia el oeste a una velocidad aproximada de  $1 \text{ m s}^{-1}$ . Esto significa que realmente, aunque el viento se dirija hacia el sur o la marea se encuentre en la fase de máxima corriente de marea, la corriente regional existente es mucho mayor y desplaza a estas boyas hacia el oeste. Esta corriente, es constante durante esta época del año ya que las lecturas que se tomaran en aquella zona muestran siempre su presencia e incluso se puede comprobar cómo, aunque tengan la marea y el viento en contra, si las boyas no son lanzadas cerca del canal de Contadora, estas siempre se desplazan hacia esta corriente. A diferencia del resto de zonas, sí que se puede determinar que esta corriente tiene una velocidad constante significativa.



En modo resumen, se puede observar el siguiente esquema de circulación, Figura 23, alrededor de la isla. A continuación, se pueden ver las direcciones y las velocidades medias en la mayoría de las lecturas obtenidas.

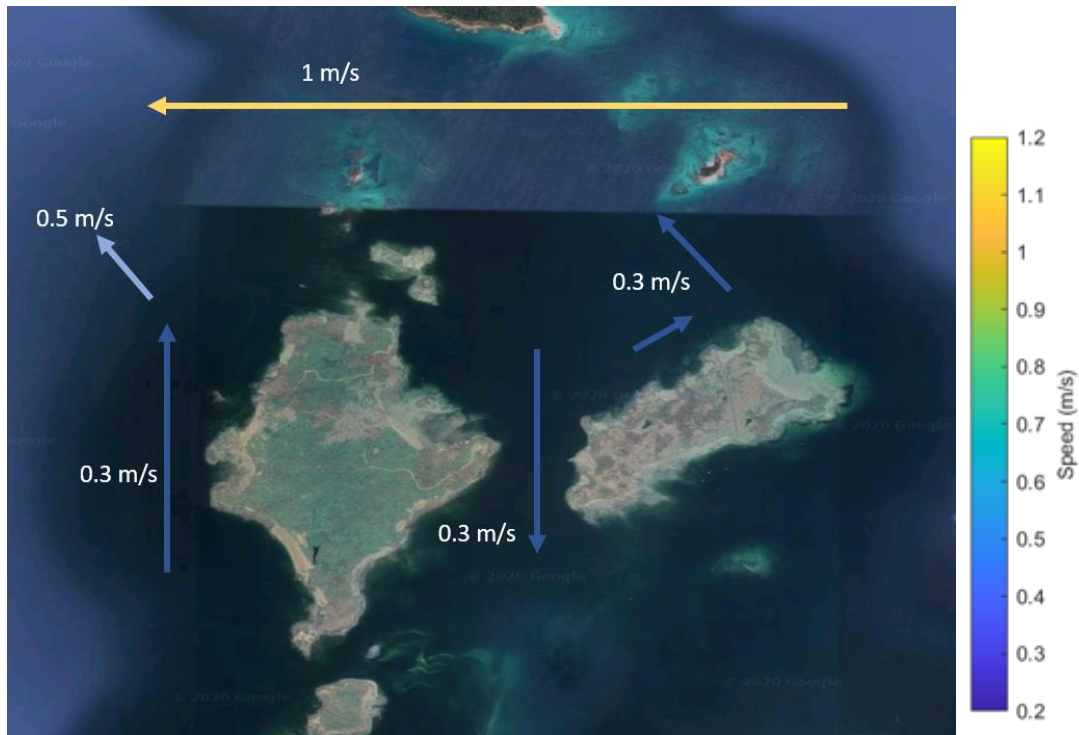


Figura 23. Esquema Resultados Invierno. Power Point.

Sin embargo, hay que destacar que durante la primera campaña se detectó un cambio de sentido de la corriente que se encuentra en el canal entre las dos islas, Figura 24. A continuación, podemos observar el esquema que se deriva de este caso y en el cual solo se incluyen las lecturas realizadas en aquel supuesto.

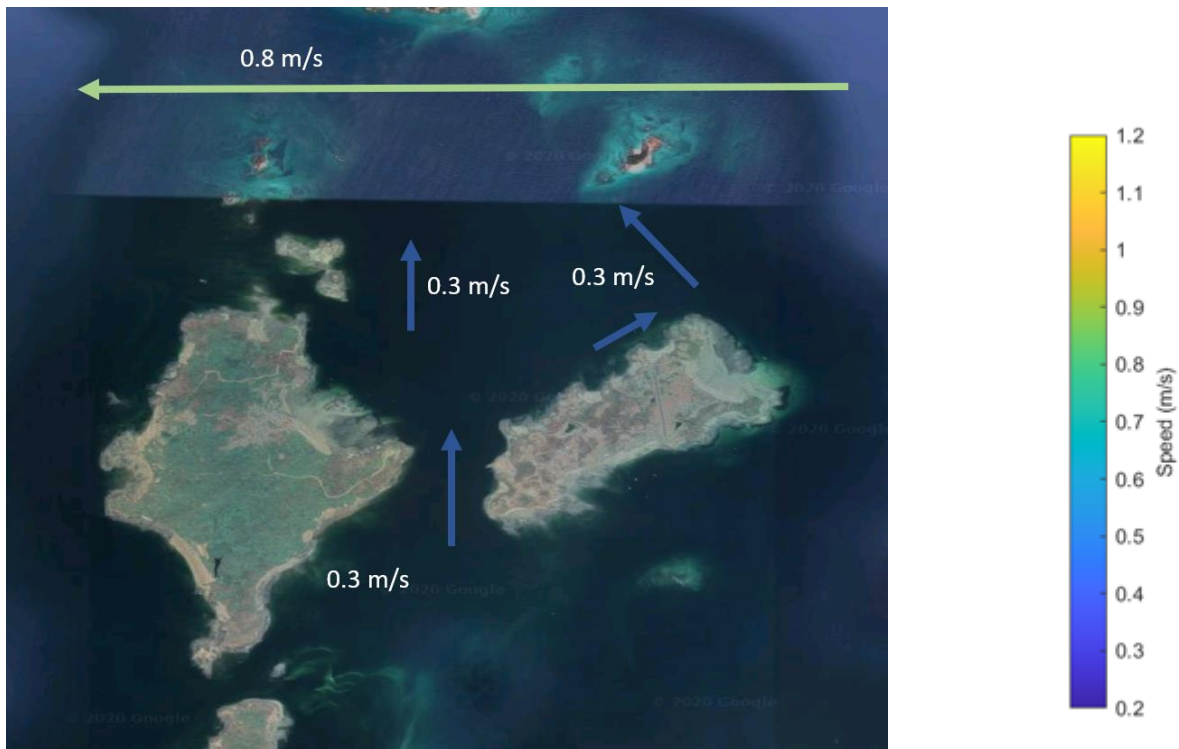


Figura 24. Esquema resultados invierno 2. Power Point.

Además en la mayoría de las fuentes analizadas (Chaigneau et al., 2006) y en los cuales se postula que la corriente de componente este pierde fuerza durante el verano por el efecto del desplazamiento de la ZCIT hacia las latitudes de Panamá, lo que hace que los vientos de componente sursuroeste disminuyan y que la aceleración de la corriente en el interior del golfo de Panamá sea menor. En este caso, aunque no se tienen lecturas directas, se puede generar un tercer esquema, Figura 2527.

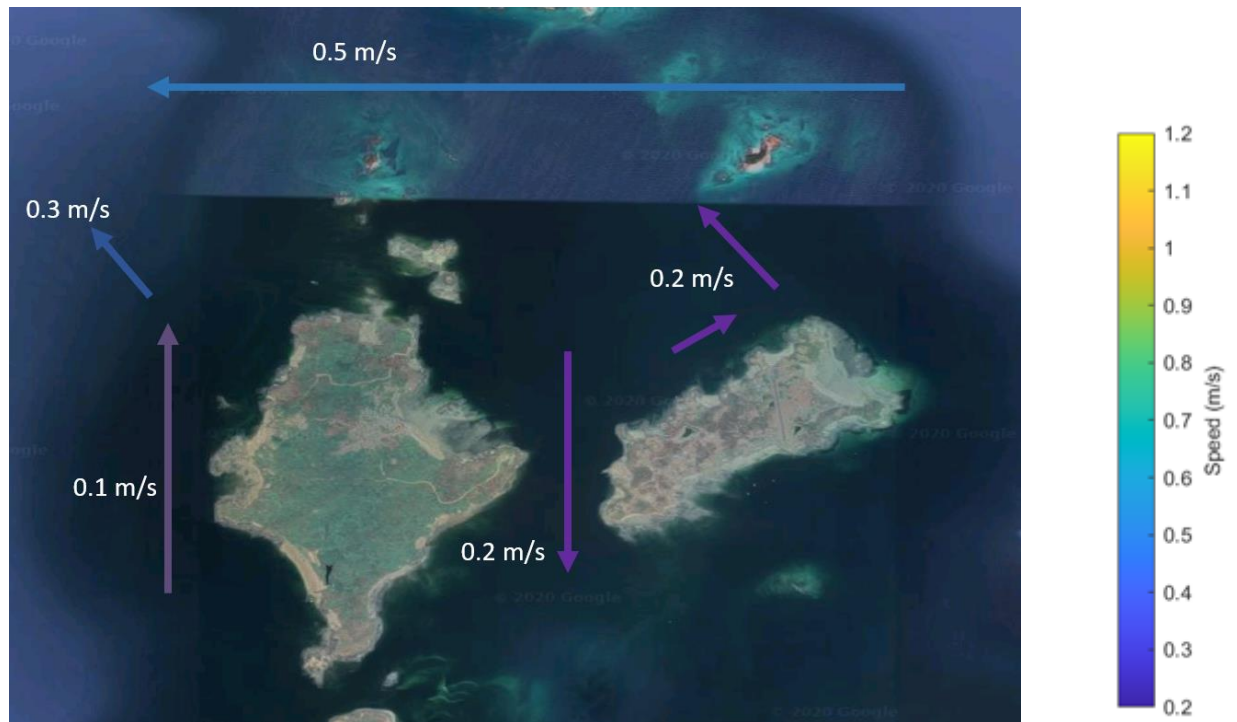


Figura 25. Esque resultados verano. Power Point.

Mediante las figuras superiores, se puede observar cual es la evolución de esta y la existencia de una corriente de esta gran corriente en dirección oeste que es determinada por la circulación interior del Golfo. A nivel de circulación alrededor de la isla, se puede observar como la ya mencionada corriente circular horaria se mantiene en todos los supuestos.



### 6. Conclusiones

En el principio de este proyecto, se planteó la opción del estudio sobre la posible introducción de energías renovables en el archipiélago de las Perlas y, concretamente, en la isla de Saboga. Gracias a la cooperación entre diversas universidades y entidades se ha podido desarrollar gran parte de este proyecto el cual se ha centrado principalmente en el estudio de las corrientes marinas, de las cuales, en un futuro se podría obtener dicha energía.

En el desarrollo de este proyecto final de máster, se plantea la identificación de las corrientes alrededor de la isla de Saboga mediante la interpretación de las variables de las mareas, corrientes regionales y el viento, reforzado a las lecturas realizadas en las campañas de campo.

Durante las dos campañas de campo en la isla de Saboga en los años 2018 y 2020, se ha estudiado la hidrodinámica alrededor de la isla con el fin de poder interpretarla y entender que puntos podrían ser de un interés especial debido a la velocidad de la corriente que se desarrolla en estos.

Gracias a las lecturas realizadas por las boyas lagrangianas y los “script” de MATLAB para poder interpretar estas lecturas, se ha podido estudiar una gran parte del contorno de la isla y determinar un posible patrón de circulación, el cual debería ser validado con más datos y la aplicación de algún modelo numérico.

Sin embargo, cabe destacar la presencia de una circulación horaria alrededor de la isla, durante la época del año que siempre se realizaron las tomas y también, rompiendo esta circulación horaria, la presencia de una corriente que circula en dirección oeste, situada al norte de la isla.

En lo que se refiere a la corriente horaria alrededor de la isla, esta circula de manera constante con una intensidad de aproximadamente  $0.3 - 0.6 \text{ m s}^{-1}$ , siendo siempre superior la velocidad de la costa oeste a la de la costa este. Esta corriente es una derivación de la corriente que se explica en el párrafo de a continuación y se puede afirmar que no se ve afectada por la



corriente de marea a no ser que esta sea de gran amplitud y en casos puntuales, como el detectado en la campaña de 2018, en el cual la corriente del canal central cambia de sentido cuando la marea se dirige a la pleamar.

La corriente de componente oeste que se detecta al norte de la isla es una corriente generada principalmente por la entrada al golfo de Panamá de una corriente de origen termohalino que proviene de las costas de Colombia, Perú y Ecuador. Mediante los datos tomados, se ha podido determinar que esta corriente, durante los meses de la estación seca en estas latitudes, puede alcanzar velocidades medias de  $1 \text{ m s}^{-1}$  lo cual debe considerarse como una magnitud bastante significativa en la circulación alrededor de la isla.

Esta corriente, puede ser objeto de un estudio más profundo con el fin de poder determinar si reúne las condiciones necesarias en la cual se pueda desarrollar una posible generación de energía.



## 7. Referencias

- Asmerom, Y., Baldini, J. U. L., Prufer, K. M., Polyak, V. J., Ridley, H. E., Aquino, V. V., ... Kennett, D. J. (2020). Intertropical convergence zone variability in the Neotropics during the Common Era. *Science Advances*, 6(7), 3644–3658. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax3644>
- Averza Colamarco, A. A. C. (2010). *Actividad 2/10-Programa CONPACSE III*. Retrieved from Comisión Permanente del Pacífico Sur website: <https://www.oceandocs.org/handle/1834/7989>
- Blunden, L. S., & Bahaj, A. S. (2007). Tidal energy resource assessment for tidal stream generators. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 221(2), 137–146. <https://doi.org/10.1243/09576509JPE332>
- Castillo, V., Guerra, G., & Broce, K. (2016). Establishing baseline parameters of coastal seawater quality for the evaluation of possible climate change effects at Punta Galeta, Playa Teta, Playa Hermosa y Playa La Marinera. 2219-6714. Retrieved from <https://ridda2.utp.ac.pa/handle/123456789/1828>
- Chaigneau, A., Abarca del Rio, R., & Colas, F. (2006). Lagrangian study of the Panama Bight and surrounding regions. *Journal of Geophysical Research*, 111(C9), C09013. <https://doi.org/10.1029/2006JC003530>
- Ko, Chung, Lee, Park, & Yi. (2019). Current Policy and Technology for Tidal Current Energy in Korea. *Energies*, 12(9), 1807. <https://doi.org/10.3390/en12091807>
- Martínez-Parera, A. (2018). *Identificación de bases de datos para la evaluación de energías renovables en la Isla de Saboga (archipiélago de Las Perlas, Panamá). Primeras aproximaciones*. UPC.
- Mestres, M., Griñó, M., Sierra, J. P., & Mössö, C. (2016). Analysis of the optimal deployment location for tidal energy converters in the mesotidal Ria de Vigo (NW Spain). *Energy*, 115,





1179–1187. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.055>

Montecino, V., & Lange, C. B. (2009). The Humboldt Current System: Ecosystem components and processes, fisheries, and sediment studies. *Progress in Oceanography*, 83(1–4), 65–79. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.07.041>

Myers, L., & Bahaj, A. S. (2005). Simulated electrical power potential harnessed by marine current turbine arrays in the Alderney Race. *Renewable Energy*, 30(11), 1713–1731. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.02.008>

Pacheco, A., Ferreira, Ó., Carballo, R., & Iglesias, G. (2014). Evaluation of the production of tidal stream energy in an inlet channel by coupling field data and numerical modelling. *Energy*, 71, 104–117. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.075>

Rodrigues, R., Chan, S., Marengo, J., & Lyra, A. (2014). *Climate Change in Central and South America: Recent Trends, Future Projections, and Impacts on Regional Agriculture*.

Rodríguez-Rubio, E., Schneider, W., & Abarca del Río, R. (2003). On the seasonal circulation within the Panama Bight derived from satellite observations of wind, altimetry and sea surface temperature. *Geophysical Research Letters*, 30(7). <https://doi.org/10.1029/2002GL016794>





## 8. Bibliografía

### Artículos

Charlier R.H., Menanteau L. The saga of tide mills. *Journal of Renewable Sustainable Energy* (1998), p.1–44.

Gunawan, B. Neary, V.S. Colby, J. Tidal energy site resource assessment in the East-River tidal strait near Roosevelt Island, New York. *Renew Energy* 71 (2015), p. 509-517.

Mestres, M. Cerralbo, P. Grifoll, M. Sierra, J. Espino, M. Modelling assessment of the tidal stream resource in the Ria of Ferrol (NW Spain) using a year-long simulation. *Renewable Energy*. 131 (2019), p. 811-817.

Karsten R.H., McMillan J.M., Lickley M.J., Haynes R.D., Assessment of tidal current energy in the Minas passage, Bay of Fundy, in: *Proc. Inst. Mech. Eng Part a J.Power Energy*, vol 222, 2008, pp. 493-507.

Vennel, R. Realizing the potential of the tidal currents and the efficiency of turbine farms in channel, *Renew. Energy* 38 (2012), p. 107-116.

### Publicaciones Universitarias

Baró, J. 2017, Proyecto Final de Carrera, Universitat Politècnica de Catalunya, Força 3 Sailing Club Panamá: Gestió i creació de la primera escola de vela lleugera a Panamá, Barcelona.

Castillo, V., Guerra, G., Broce, K., Establishing baseline parameters of coastal seawater quality for the evaluation of possible climate change effects at Punta Galeta, Playa Teta, Playa Hermosa y Playa La Marinera. Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá.







Martínez, A. Identificación de bases de datos para la evaluación de energías renovables en la Isla de Saboga (archipiélago de Las Perlas, Panamá). Primeras aproximaciones. Universidad Politècnica de Catalunya. Junio 2018.

### **Páginas Web:**

BBC NEWS. Isle of Wight tidal energy scheme 'put on hold'. [en línea]. Reino Unido 2011. [Consulta: 17 de mayo de 2018]. Disponible en: < <https://www.bbc.com/news/uk-england-hampshire-40557897>>.

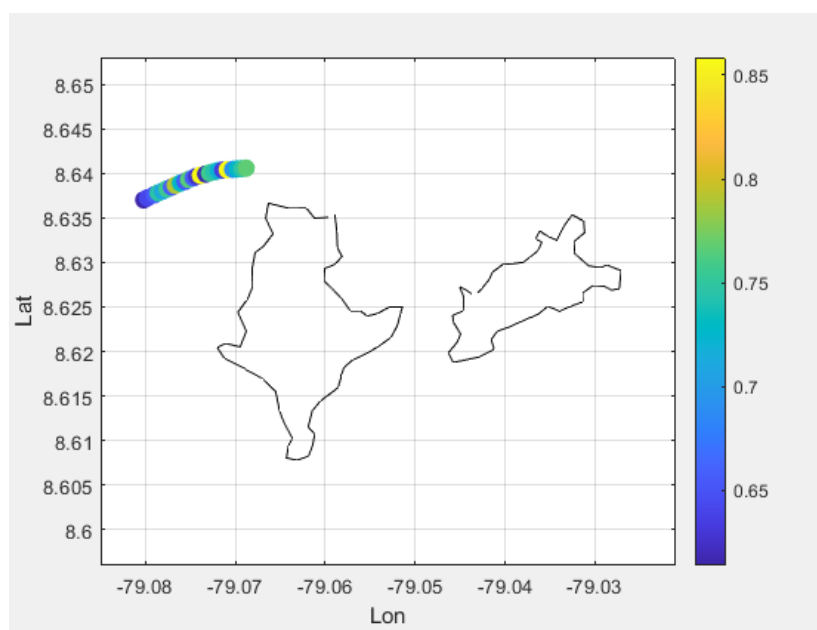




## 9. Anexo. Resultados de las lecturas de las boyas.

### 9.1 Primera Campaña.

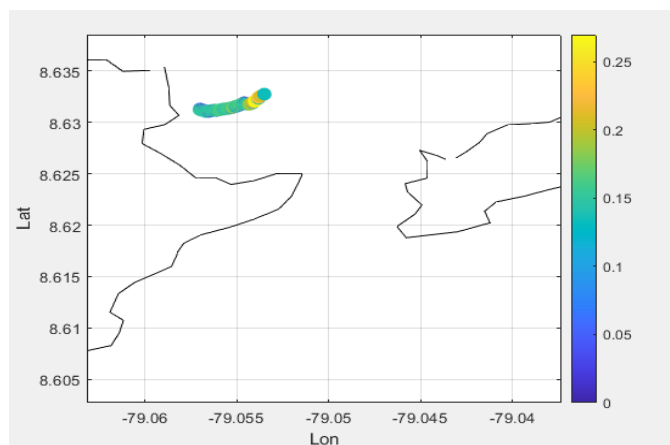
<b>12/12/2018</b>	
<b>Lanzamiento (UTC)</b>	<b>Recogida (UTC)</b>
14:43	15:26



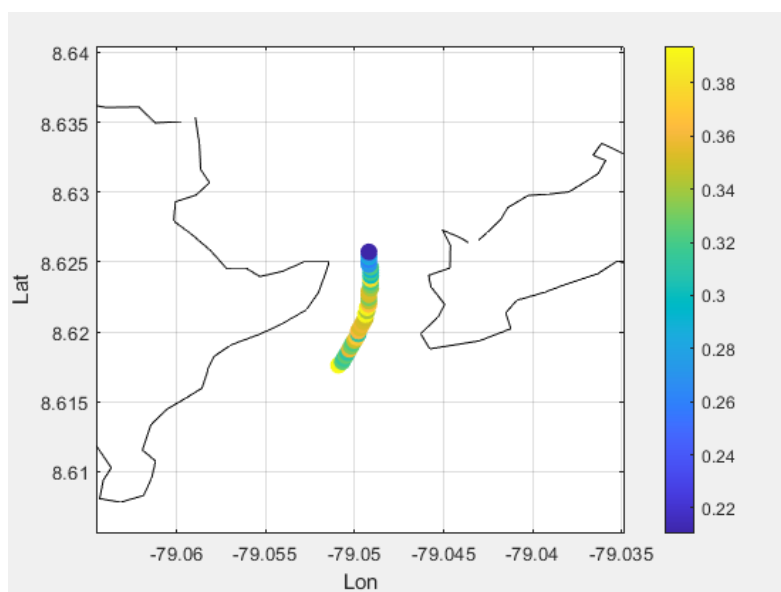
## Estudio hidrodinámico de la mar en la isla de Saboga



<b>13/12/2018</b>	
<b>Lanzamiento (UTC)</b>	<b>Recogida (UTC)</b>
14:13	16:06



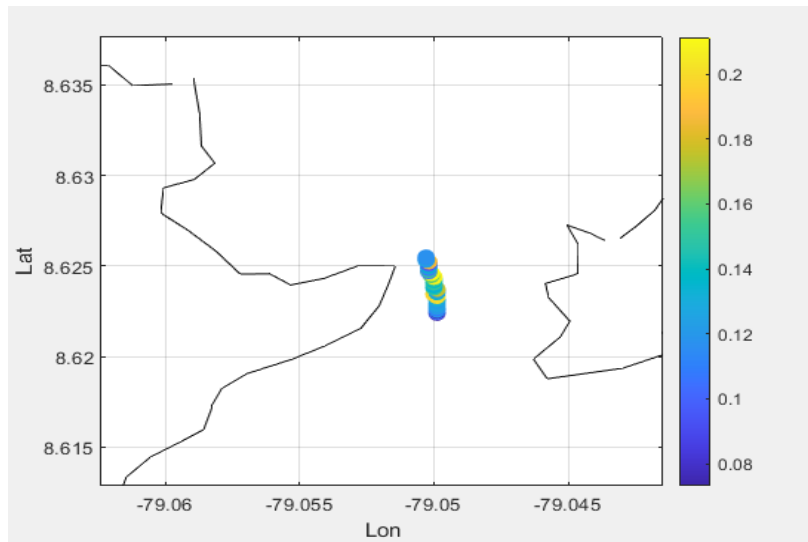
<b>14/12/2018</b>	
<b>Lanzamiento (UTC)</b>	<b>Recogida (UTC)</b>
14:29	15:18



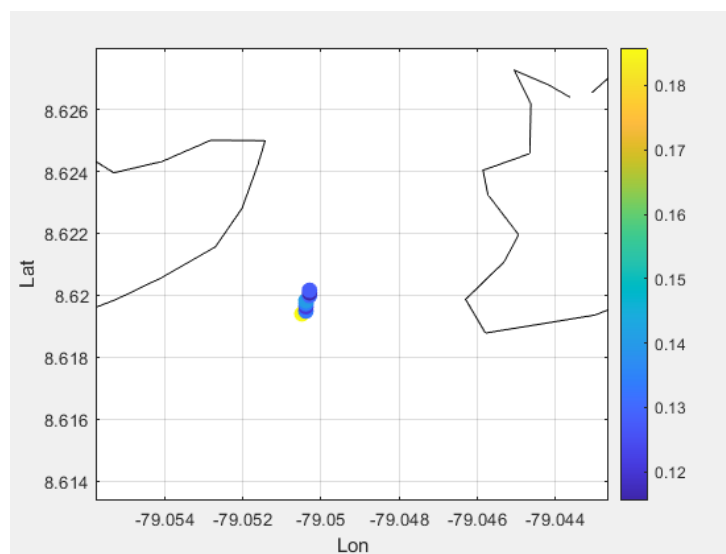
## Estudio hidrodinámico de la mar en la isla de Saboga



14/12/2018	
Lanzamiento (UTC)	Recogida (UTC)
16:23	17:11



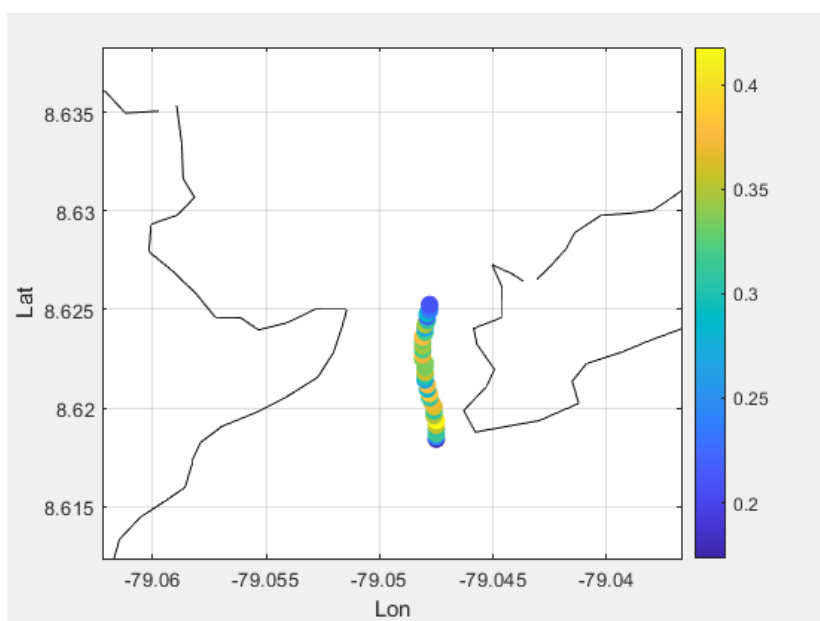
15/12/2018	
Lanzamiento (UTC)	Recogida (UTC)
12:38	13:10



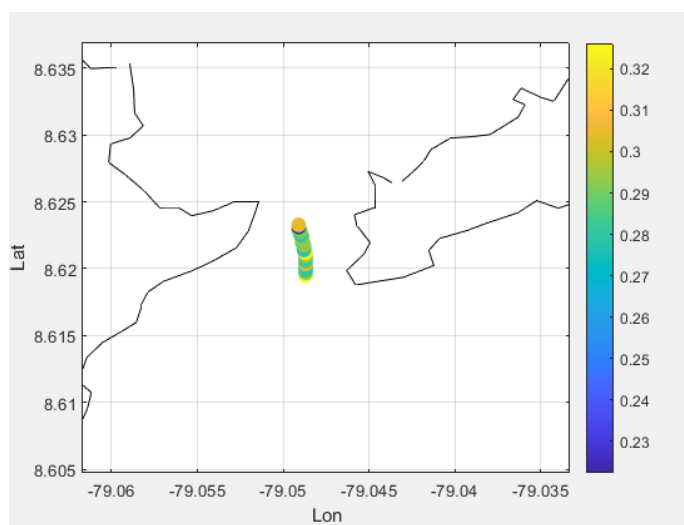
## Estudio hidrodinámico de la mar en la isla de Saboga



15/12/2018	
Lanzamiento (UTC)	Recogida (UTC)
13:59	14:43



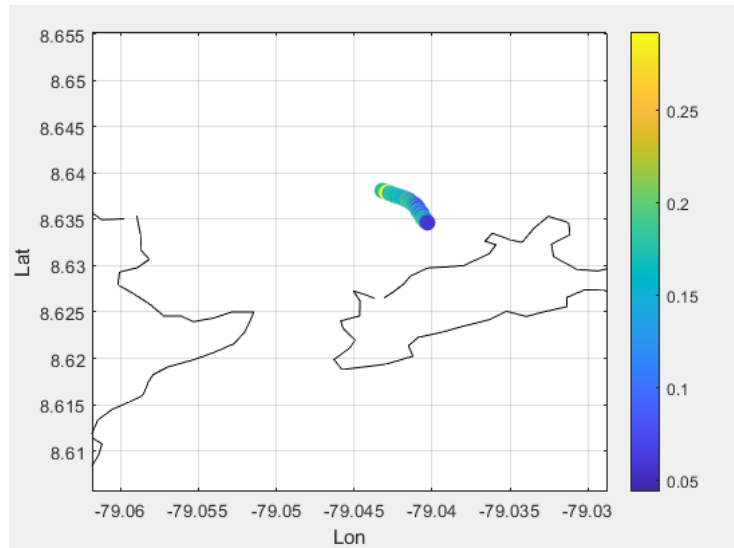
16/12/2018	
Lanzamiento (UTC)	Recogida (UTC)
12:40	13:07



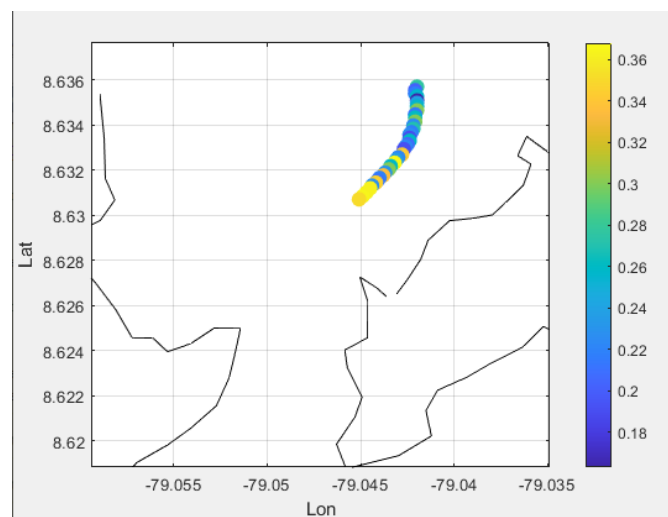
## Estudio hidrodinámico de la mar en la isla de Saboga



17/12/2018	
Lanzamiento (UTC)	Recogida (UTC)
20:54	22:08

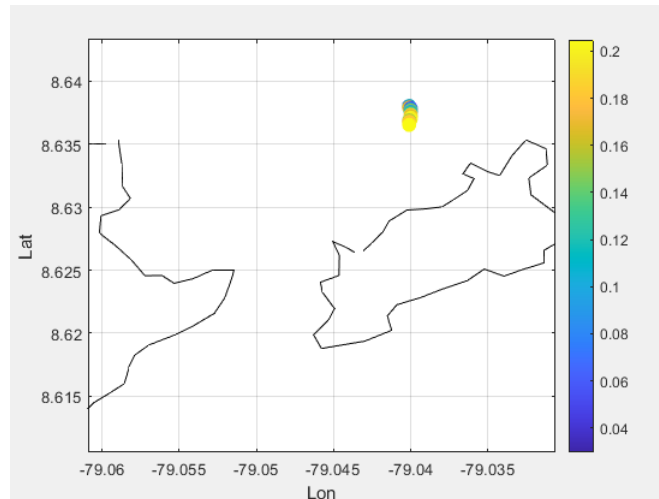


18/12/2018	
Lanzamiento (UTC)	Recogida (UTC)
20:56	21:44

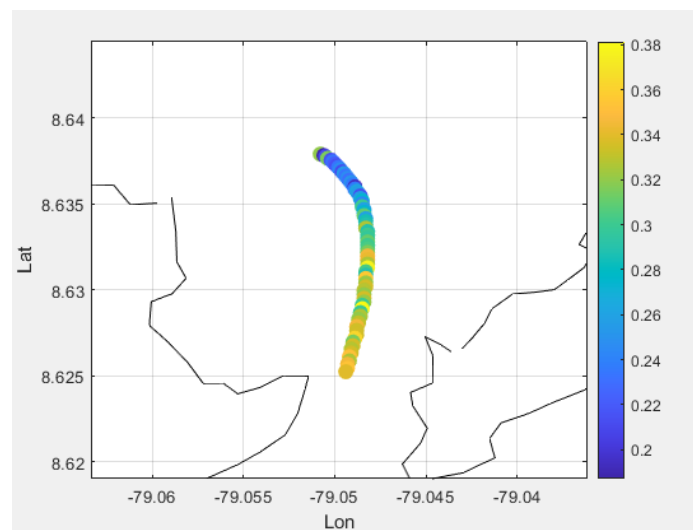




<b>18/12/2018</b>	
<b>Lanzamiento (UTC)</b>	<b>Recogida (UTC)</b>
21:48	22:14



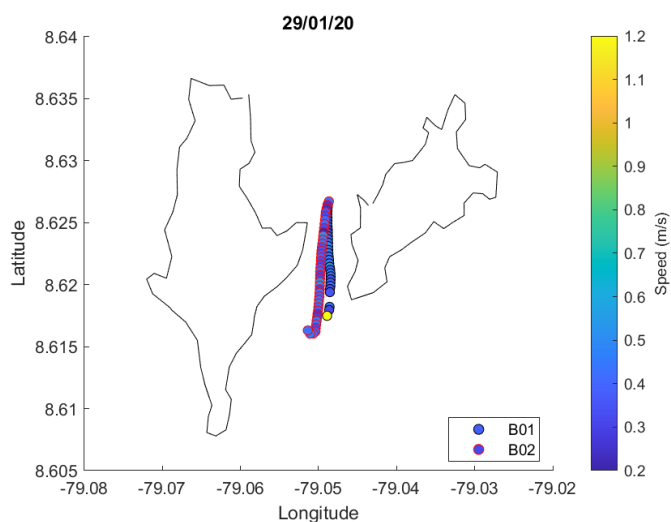
<b>19/12/2018</b>	
<b>Lanzamiento (UTC)</b>	<b>Recogida (UTC)</b>
15:05	16:35



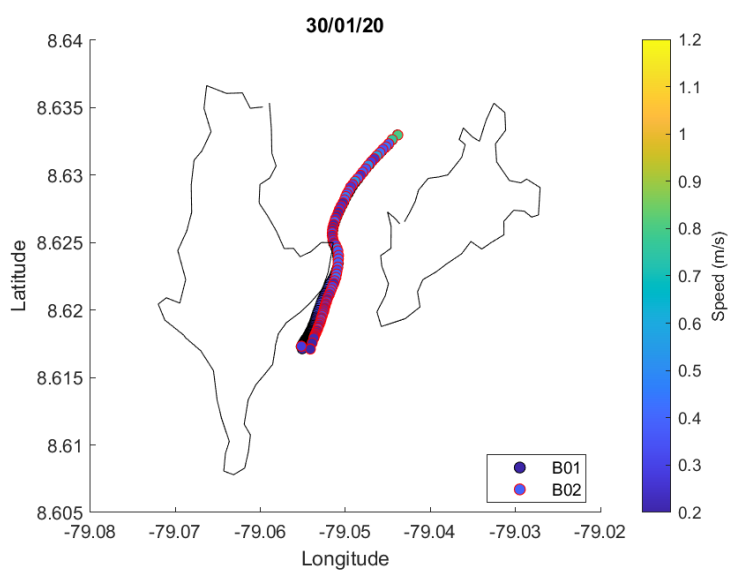


## 9.2 Segunda Campaña.

29/01/2020	
Lanzamiento (UTC)	Recogida (UTC)
15:57	16:43/16:51



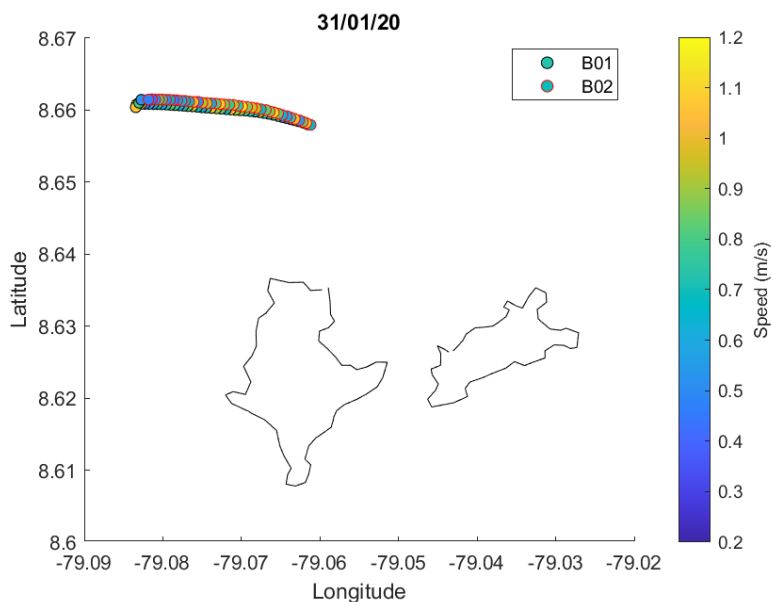
30/01/2020	
Lanzamiento (UTC)	Recogida (UTC)
15:38	18:00/17:50



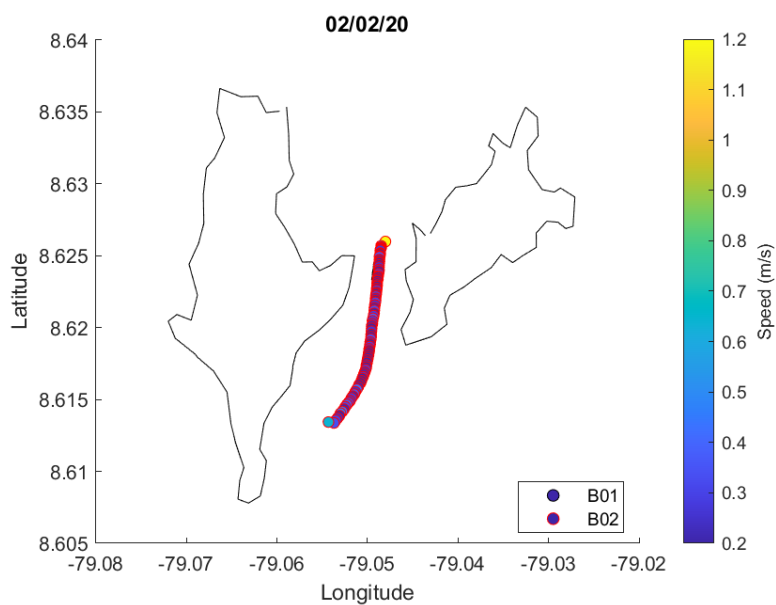




31/01/200	
Lanzamiento (UTC)	Recogida (UTC)
16:28	17:25/17:21

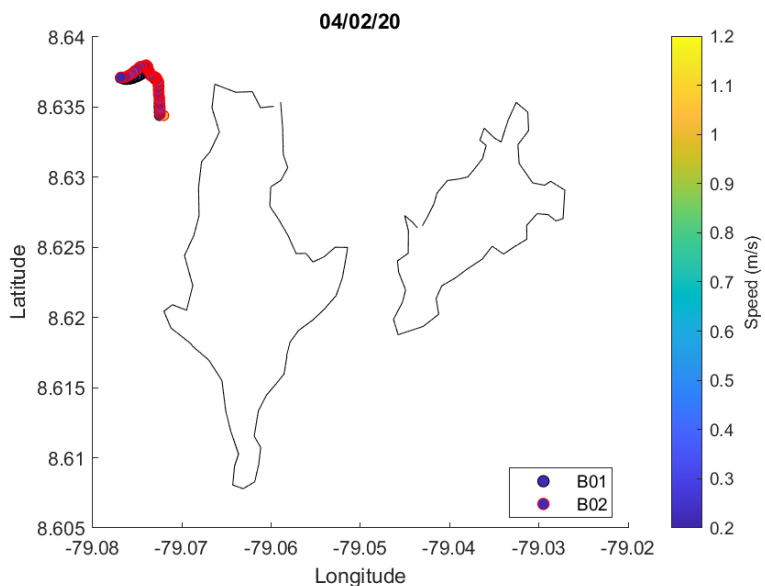


02/02/2020	
Lanzamiento (UTC)	Recogida (UTC)
14:18	15:47/16:15

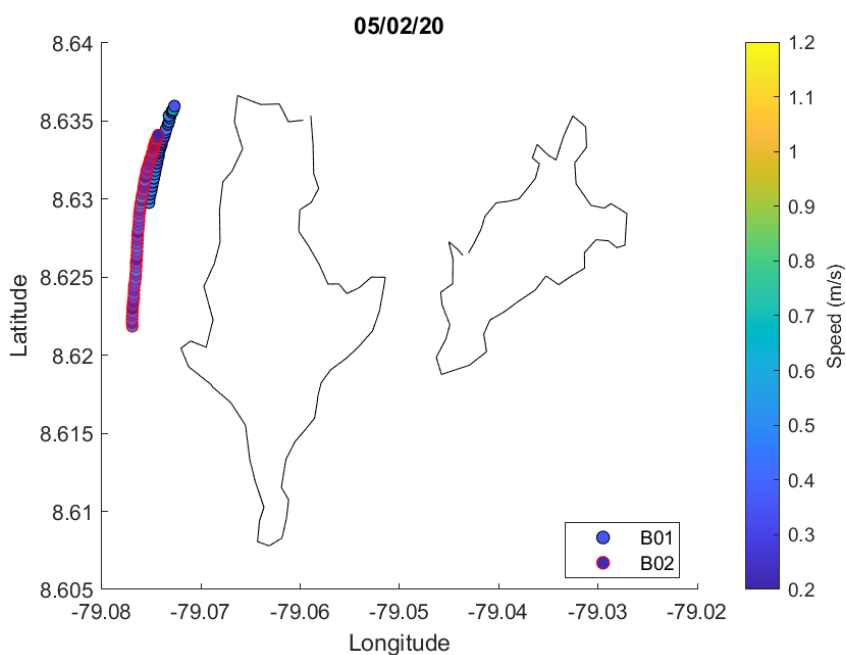




04/02/2020	
Lanzamiento (UTC)	Recogida (UTC)
14:53	16:14/16:12



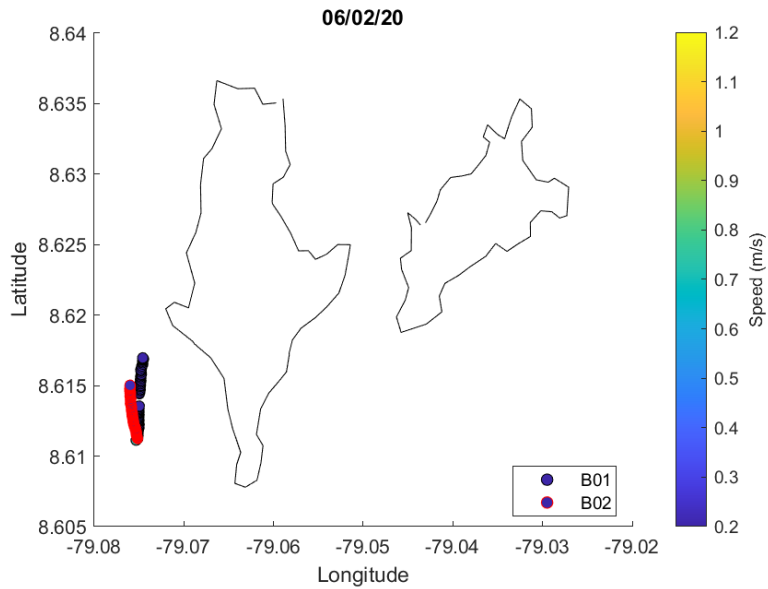
05/02/2020/	
Lanzamiento (UTC)	Recogida (UTC)
14:47	16:11/16:09



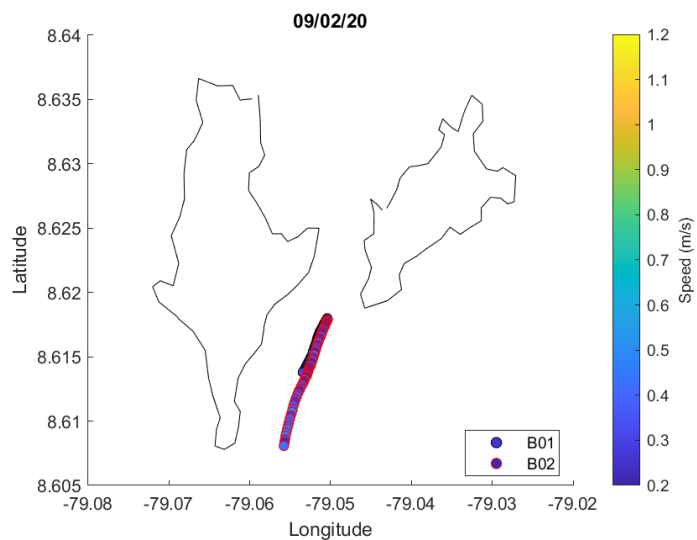
# Estudio hidrodinámico de la mar en la isla de Saboga



06/02/2020	
Lanzamiento (UTC)	Recogida (UTC)
15:49	17:26/17:23



09/02/2020	
Lanzamiento (UTC)	Recogida (UTC)
19:02	19:49/19:49



# Estudio hidrodinámico de la mar en la isla de Saboga



11/02/2020	
Lanzamiento (UTC)	Recogida (UTC)
15:03	16:03/16:06

