

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Licenciado en Ciencias Ambientales



**UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA**



**ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA**

“Aproximación a la hidrodinámica en el entorno del emisario submarino de Gandía ”

TRABAJO FINAL DE CARRERA

Autor/es:

Pedro Marañón Tornador

Director/es:

Miguel Rodilla Alama

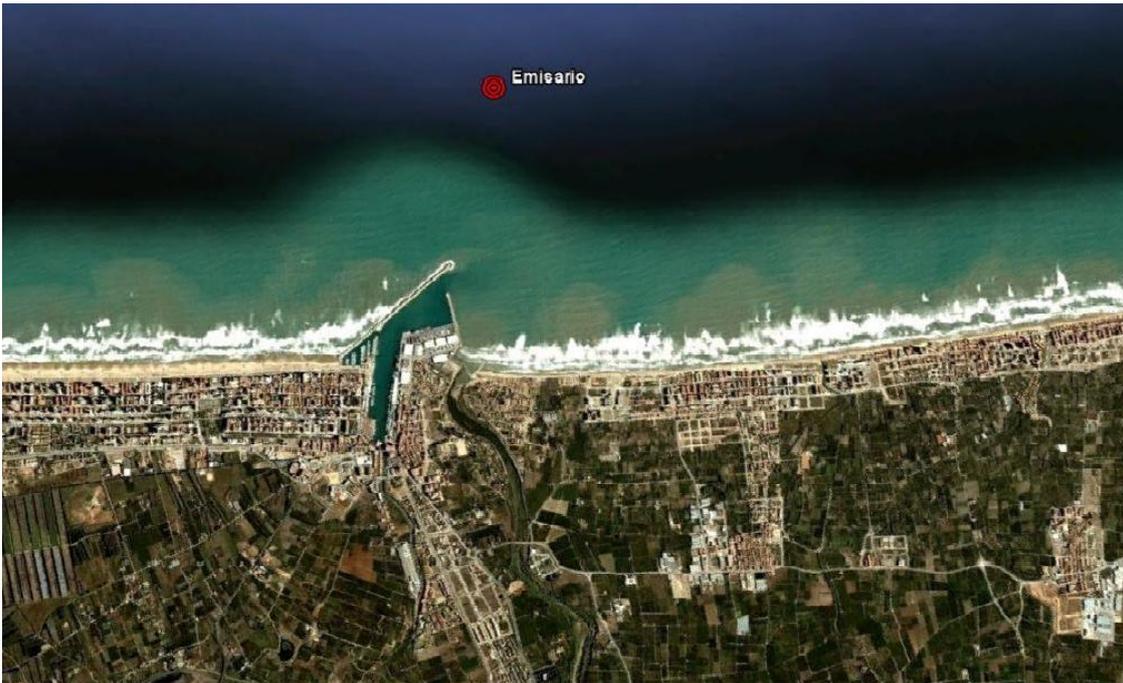
GANDIA, 2011

- 1. Introducción**
- 2. Metodología**
- 3. Resultados**
- 4. Discusión de los resultados**
- 5. Conclusiones**
- 6. Bibliografía**

1. Introducción

En este proyecto se estudiará si existe relación entre las corrientes marinas en relación a su dirección y la velocidad de estas debido a las corrientes de viento en los dos parámetros anteriores.

El proyecto se realizará en la playa de Gandía, más concretamente cerca del emisario submarino que se encuentra a unos 2 kilómetros mar adentro de la playa de Gandía.



Este estudio irá encaminado a saber si existe una relación muy evidente entre las corrientes de viento y marinas ya que si esto ocurriera, unos vientos fuertes y rápidos en dirección a la costa podrían llevar restos de los vertidos del emisario submarino y sería de gran ayuda poder predecirlo antes de que ocurra.

Para ello necesitamos obtener los datos de las velocidades y direcciones de las corrientes del mar ya que los mismos datos del viento se pueden obtener de la estación meteorológica de la playa de Gandía.

Los datos del mar los vamos a obtener mediante un adp (Acoustic Doppler Profile) que nosotros mismos fondearemos para la recogida de datos.

Este aparato recogerá los datos de velocidad y dirección de las corrientes marinas a diferentes profundidades, exactamente los recogerá en 10 celdas distribuidas homogéneamente entre el suelo y la superficie en secciones iguales.

De estas 10 celdas, la que nos interesará a nosotros es la más superficial ya que esta es la que está en contacto con las brisas marinas y por lo tanto la que más expuesta está a las posibles influencias de la incidencia del viento.

Como acabo de decir, la capa que se verá más afectada por la influencia de los vientos será la superficial, sin embargo, las capas situadas a más profundidad se verán afectadas a la vez por la influencia de esta capa superficial.

Los datos de velocidades y dirección de viento se tomaron desde el 18 de mayo de 2008 ininterrumpidamente cada 15 minutos hasta el día 5 de agosto del mismo año.

Los datos de velocidades y dirección de las corrientes marinas proceden del “adp” y las fechas de los fondeos son las siguientes, un periodo que abarca desde el 21 de mayo del 2008 hasta el 26 de mayo del mismo año, el “adp” toma medidas cada 5 minutos, así que existen datos cada 5 minutos.

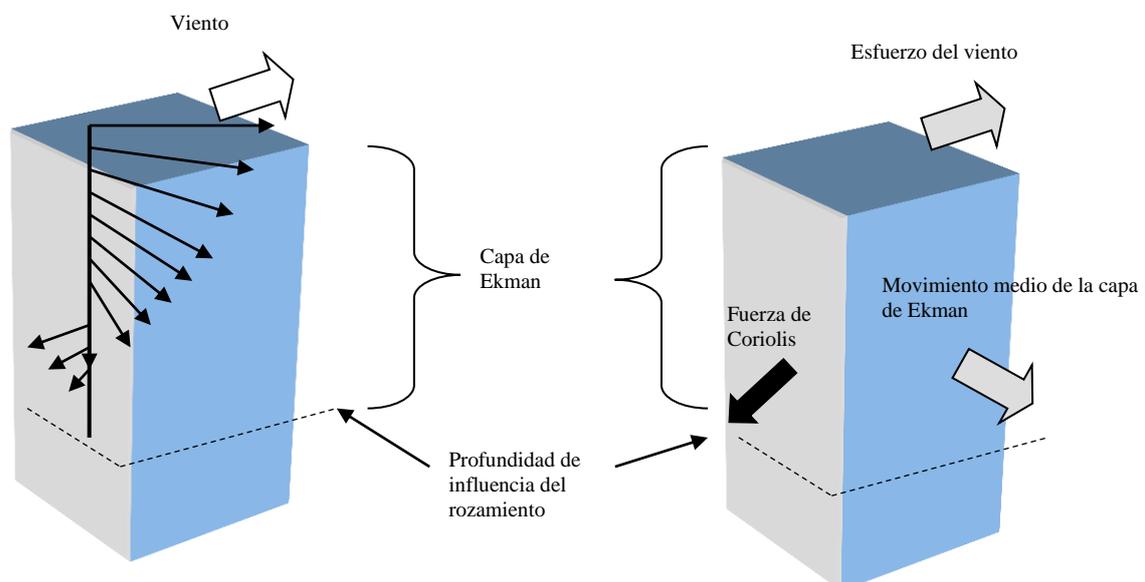
El otro periodo se encuentra localizado desde el 12 de julio de 2008 llegando hasta el 30 de julio del mismo año y también tomando medidas cada 5 minutos.

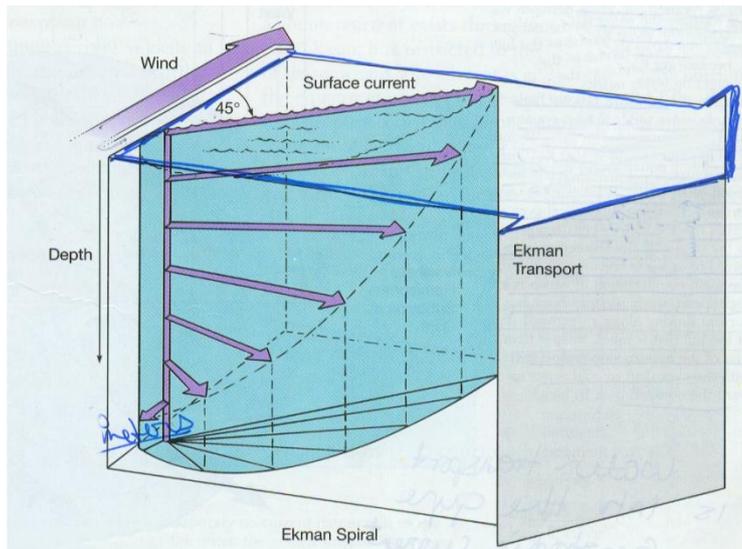
Como ya veremos más adelante, se han tenido que tratar los datos recogidos del “adp” para que se puedan comparar con los datos del viento ya que estos van de 15 minutos en 15 minutos y los obtenidos mediante el fondeo del “adp” cada 5 minutos tenemos datos así que hemos realizado las medias de cada 3 datos de los valores de las corrientes para poder así tener datos compatibles con los datos de los vientos que son cada 15 minutos.

En este estudio existen algunos conceptos muy importantes ya que tienen relación con los datos que podríamos obtener después de realizar el análisis así que vamos a intentar explicar que conceptos o definiciones tienen relación con este estudio.

Teoría de Ekman: Dado un viento constante soplando sobre un océano ilimitado (sin costas) el transporte neto de agua se produce en una dirección perpendicular a la del viento (hacia la derecha en el hemisferio Norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur). Esto, tal y como explica la teoría de Ekman (Pond y Pickard, 1983), es debido a la acción de la fuerza de Coriolis, originada por la rotación de la Tierra.

Lo que nos quiere decir la teoría de Ekman es que el movimiento neto del agua será de 90° a la derecha en el hemisferio norte, pero esto es gradual, en la capa más superficial también existe esta desviación a la derecha pero no es de 90° , es de unos 45° como vamos a poder ver en este esquema de la espiral de Ekman.



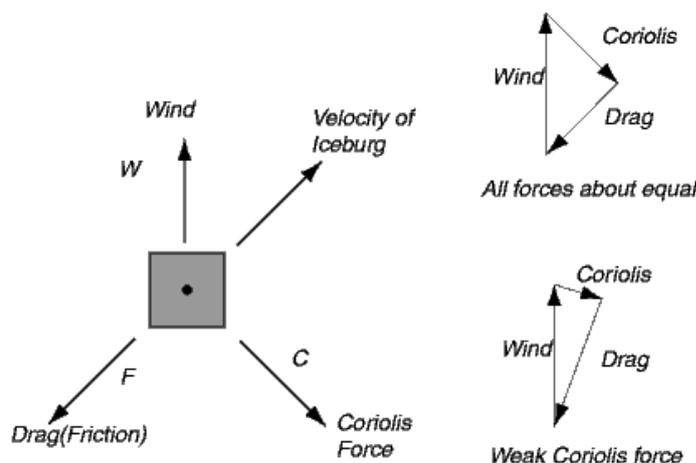


Valor neto de transporte

Esta es una representación de la espiral de Ekman y del efecto de Coriolis. La longitud y orientación de los vectores representan la velocidad y la dirección de las corrientes. Para la capa de Ekman (la columna de agua afectada por la acción de la espiral) la fuerza debida al viento está compensada por la fuerza de Coriolis, que en el hemisferio norte se dirige 90° a la derecha en relación al valor medio del movimiento de Ekman.

CAPA DE EKMAN: Es una capa de agua delgada y horizontal en la parte superior del océano que es afectada por el viento, que al soplar sobre la superficie mueve el agua por fricción, pero debido al efecto de la rotación de la tierra, Fuerza de Coriolis, el transporte neto es realmente a la derecha (o 90° , N) de la dirección del viento.

Fridtjof Nansen fue el primero en describir el papel del viento en el movimiento de los icebergs en el Ártico. Notó que el viento tiende a mover el hielo en ángulos entre 20 y 40 grados hacia la derecha de la dirección del viento.



En este dibujo podemos ver el balance de fuerzas que intervienen en el movimiento de las partículas.

Más tarde, Walfrid Ekman en 1905 reformula la teoría de Nansen asumiendo ciertas simplificaciones. Consideró un viento de velocidad constante soplando sobre un océano

de profundidad y extensión ilimitadas; el océano no tenía variaciones en densidad y su superficie se mantenía horizontal, de modo que la variación de presión en esta coordenada es nula.

De acuerdo con este esquema, el océano puede imaginarse como una superposición de capas de agua, cada una de las cuales es empujada por fricción por la superior, y a su vez empuja a la inferior por la misma causa. Además, puesto que están en movimiento, cada capa sufre la acción de la aceleración de Coriolis que, recordemos, desvía todo móvil, hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el sur.

La resolución de las ecuaciones del movimiento en estas circunstancias muestra que la situación de equilibrio entre las aceleraciones presentes (fricción y Coriolis), para el conjunto infinito de capas de este modelo de océano, corresponde a una velocidad de las capas exponencialmente decreciente con la profundidad. Además, Ekman encontró que la dirección de la corriente en la capa superficial es de 45° respecto a la del viento, desviándose progresivamente en la misma dirección conforme aumenta la profundidad.

Los vectores de la corriente forman así una estructura en espiral que se conoce como espiral de Ekman. Teóricamente la espiral de Ekman se desarrolla hasta una profundidad infinita, pero en la práctica el movimiento del agua es significativo entre la superficie y la profundidad a la cual la celeridad del agua es el 4% de la celeridad de la capa superficial (capa de Ekman, DE). Como consecuencia de esta espiral, el caudal neto de agua en la capa de Ekman (transporte de Ekman, M_x) se dirige a 90 grados hacia la derecha de la dirección del viento en el hemisferio norte y 90 grados hacia la izquierda de la dirección del viento en el hemisferio sur.

OBJETIVOS

Describir la hidrodinámica de la zona marina del entorno del emisario de Gandía entre finales de la primavera y verano.

Determinar si existe relación entre las velocidades y dirección del viento con las mismas características en las corrientes marinas, en tal de existir se estudiara que clase de relación existe y como modifica el viento a las corrientes marinas y en que magnitud.

2. Metodología

El ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) determina los vectores que caracterizan las corrientes marinas (módulo y dirección) en la columna de agua, mediante métodos acústicos (Efecto Doppler). Este instrumento es fundamental para entender las corrientes de nuestros mares, utilizándose en un gran número de proyectos oceanográficos

Los Perfiladores Acústicos de Corrientes Doppler (Por sus siglas en inglés ADCPs; Acoustic Doppler Current Profilers) tienen el transmisor y el receptor en una unidad. Para la medición, usan las reflexiones de las ondas acústicas desde las partículas presentes en el agua. El agua de mar contiene una multiplicidad de pequeñas partículas suspendidas y otra materia sólida que no podrían ser visibles al ojo humano, sin embargo, siempre reflejan el sonido.

Si el sonido se transmite en cuatro rayos inclinados en ángulo recto el uno del otro, el efecto Doppler en la frecuencia del sonido reflejado respecto al transmitido, permite conocer la velocidad de la partícula en la dirección del rayo emitido (velocidad radial). Se requieren por lo menos 3 rayos inclinados en la vertical para determinar las 3 componentes de la velocidad del flujo. Los diferentes tiempos de llegada indican que el sonido es reflejado desde diferentes distancias con respecto a los transductores, así que un ADCP proporciona la información no sólo sobre la rapidez de la corriente y su dirección en un punto del océano, sino en todo un rango de profundidad; es decir un ADCP produce un perfil de corriente contra profundidad.



Datos obtenidos

Para poder trabajar con todos los datos obtenidos se intentaran realizar gráficas que se puedan entender facilmente y en ellas se puedan ver la relación que pueda haber entre las corrientes y direcciones del viento y las marinas, he intentado realizar gráficas cogiendo valores hasta unos 5 o 6 dias de longitud que creo yo que es donde mejor se puede apreciar si existe o puede existir una relacion entre estas dos variables.

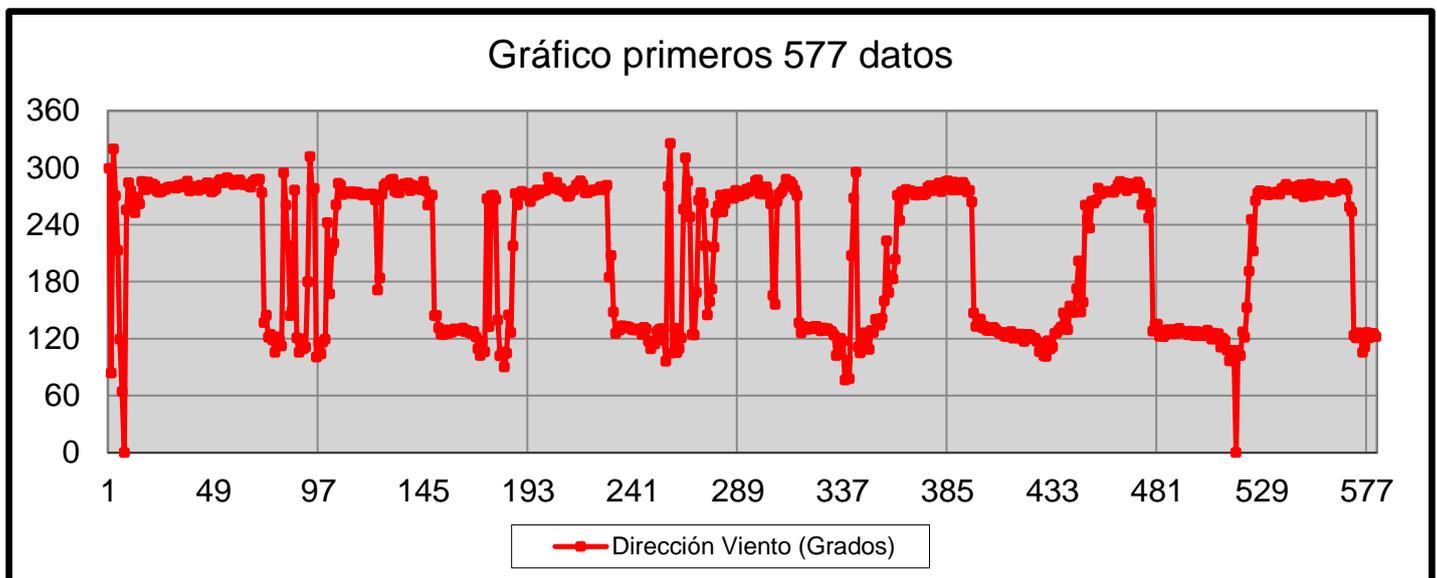
Sin embargo aunque en ciertos dias o ciclos del viento si que pueda verse esta relacion entre las dos direcciones, muchas veces no existe tal relacion o es muy confusa para poder relacionarla.

3. Resultados

Analizando los datos con excel y realizando gráficas de los valores por separado de las variables si que podemos ver que existe una relación de tiempo entre la secuencia de los valores de la dirección del viento. Esta relación no siempre ocurre así que no podemos generalizar pero si esto sucede suele ocurrir con los ciclos de los días.

En las gráficas he insertado líneas de división secundarias cada 96 datos, estos 96 datos se corresponden con la duración de un día (24h).

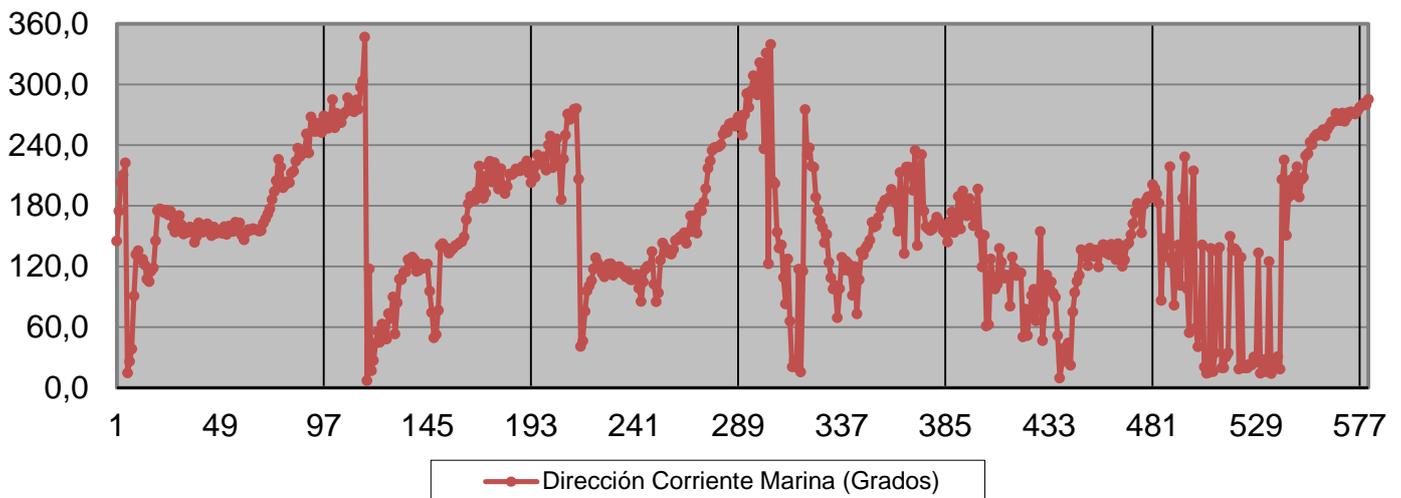
Por ejemplo inserto la gráfica de los 580 primeros datos, unos 6 días, del periodo comprendido entre el 12 hasta el 18 de julio de 2008 desde las 18:45 hasta las 20 horas.



En esta gráfica se puede ver cierta correlación de la dirección del viento según en qué momento del día nos encontremos aunque esta relación no es exacta sí que se puede ver con bastante claridad como en la primera parte del día al principio de la gráfica la dirección predominante suele estar en los 300° y después va fluctuando entre los 120° y otra vez los 300° aunque los valores del final esto es diferente ya que en el principio del día, la dirección del viento predomina entre los 120° mientras que en la segunda parte del día cambia totalmente a los 300° y en esta segunda parte de la gráfica sí que se ven bien estos valores.

Vamos a ver ahora la gráfica realizada en el mismo periodo de tiempo pero confeccionada con los valores de la dirección de las corrientes marinas.

Gráfico primeros 577 datos



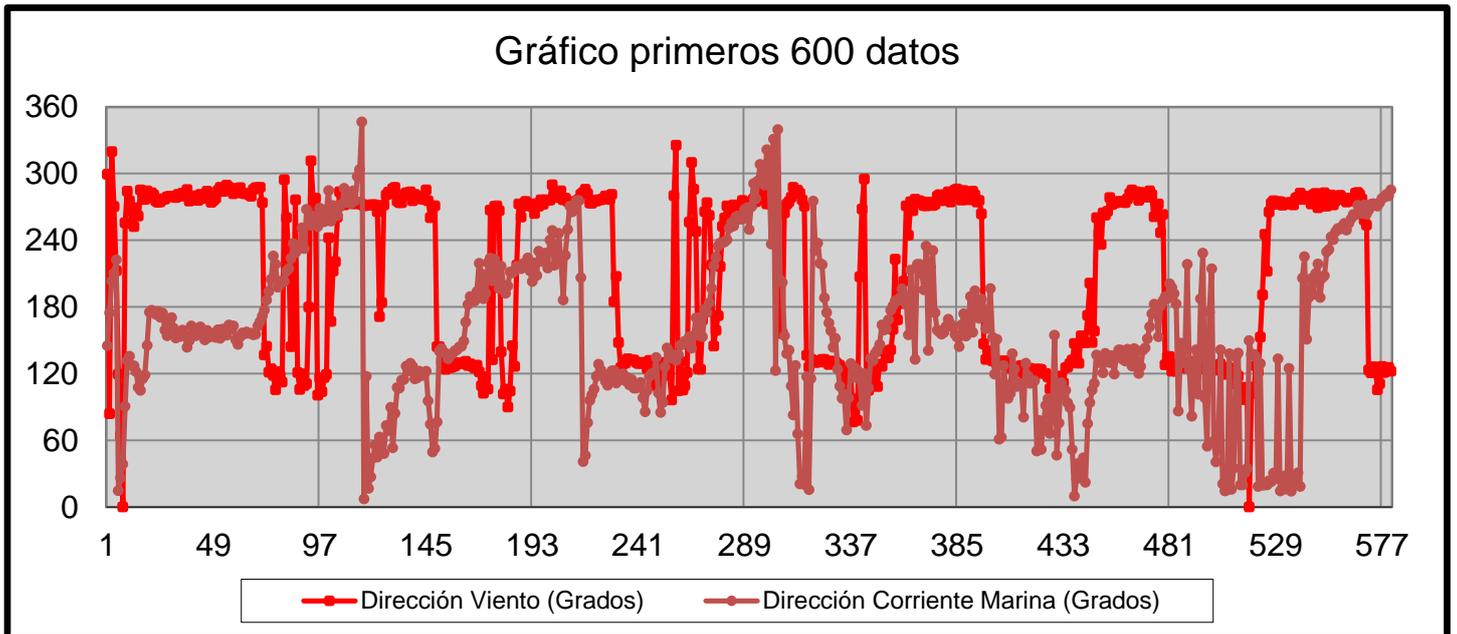
Aquí podemos ver una simetría parecida con el anterior gráfico, existe cierta correlación con la duración del día pero esta no es ni mucho menos exacta.

Podemos ver como al principio de los días, la dirección predominante de la corriente marina suele estar cerca de los 300° aunque esto cambia radicalmente al poco tiempo y pasa a tener direcciones de entre 60 y 120° .

Desde esta dirección y a lo largo del día, la dirección va cambiando lentamente hasta llegar a valores cercanos de los 300° y volviéndose a repetir el mismo ciclo por lo que también podemos decir que las corrientes marinas también fluctúan en base a la duración del día aunque al final de la gráfica esto ya no está tan claro.

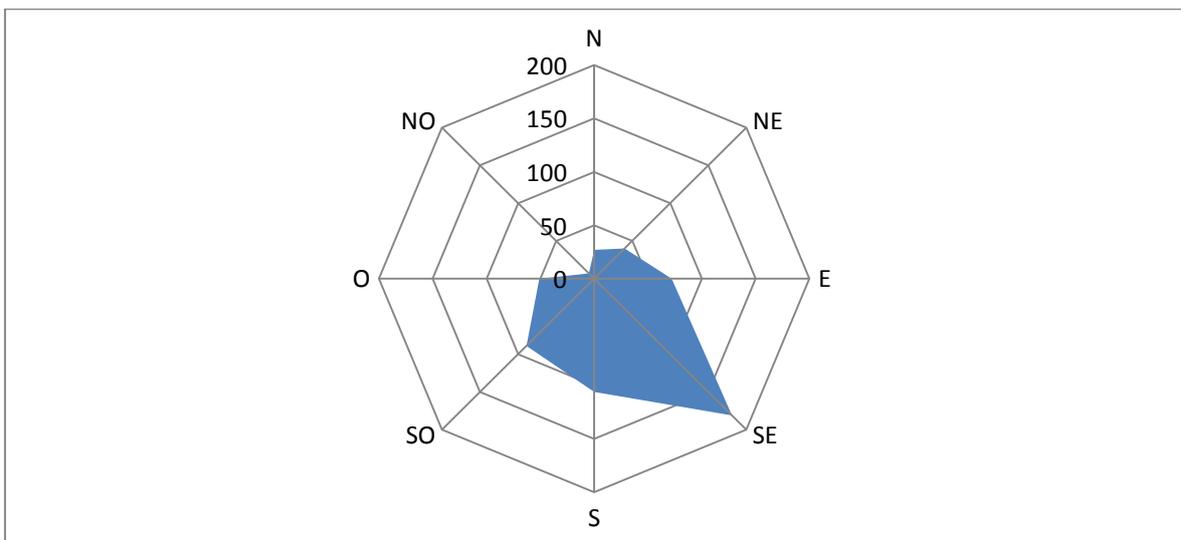
Con los datos analizados hasta ahora no podríamos llegar a concluir gran cosa ya que aunque sí que llega a poder verse cierto patrón, este es muy variable en función del tiempo.

Si superponemos las tablas de la dirección del viento y la dirección de la corriente marina sucede esto.



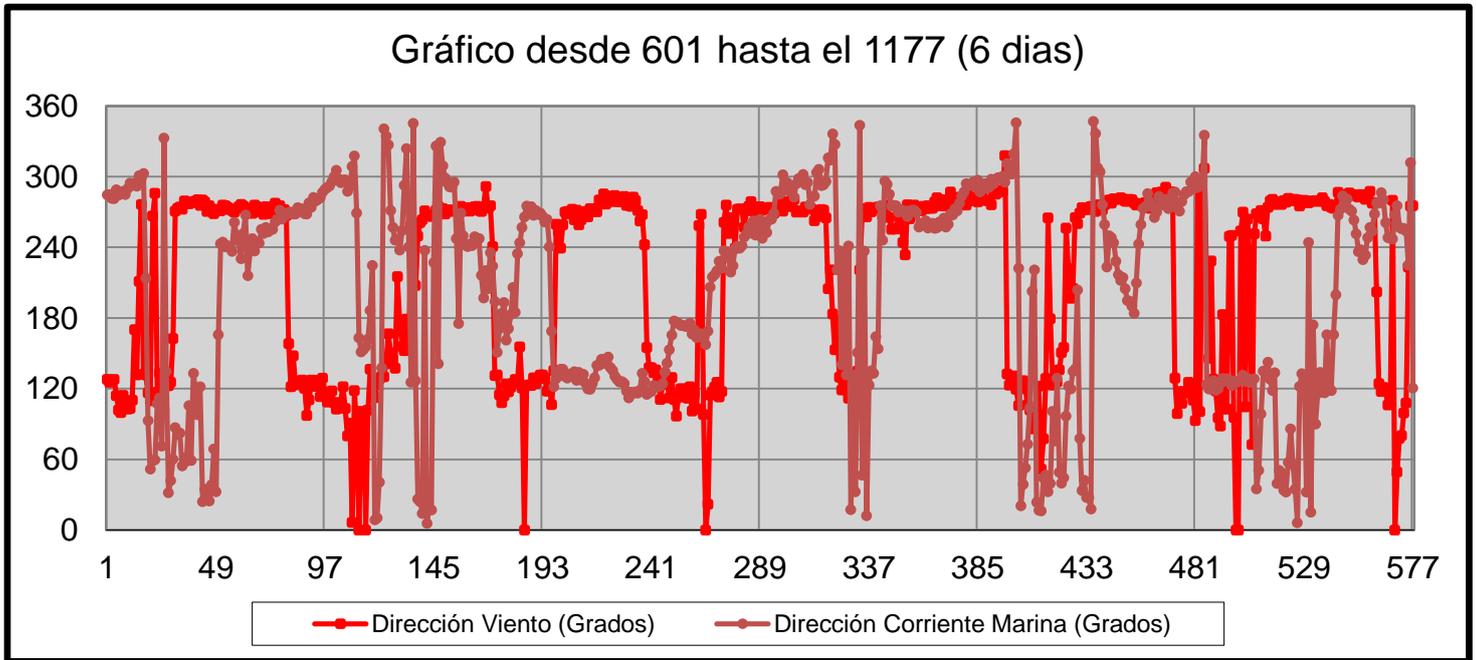
Podemos ver que la relación que hablábamos anteriormente es un poco difusa, en ciertos momentos del día se puede ver como las dos corrientes tienen la misma dirección sin embargo en otros momentos difieren bastante con lo que no podemos concluir nada específico.

Aquí también incluimos una gráfica en forma de rosa de los vientos que nos muestra la frecuencia de las direcciones de las corrientes marinas.

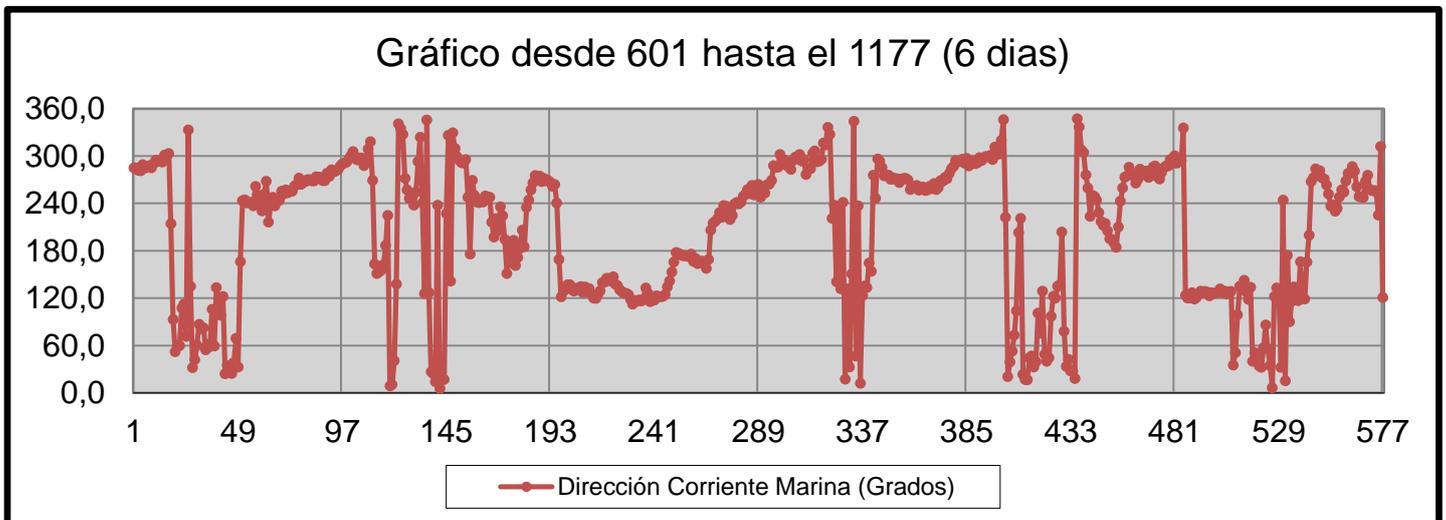


Podemos ver como la mayoría de las direcciones que toma son hacia el sureste o el sur. Es aquí donde se dirigen la mayoría de las corrientes superficiales que concierne a esta serie de datos y aunque antes podíamos ver que los datos oscilaban de una dirección a otra más o menos periódicamente, la mayoría de los datos nos dicen que las corrientes se dirigen al sur.

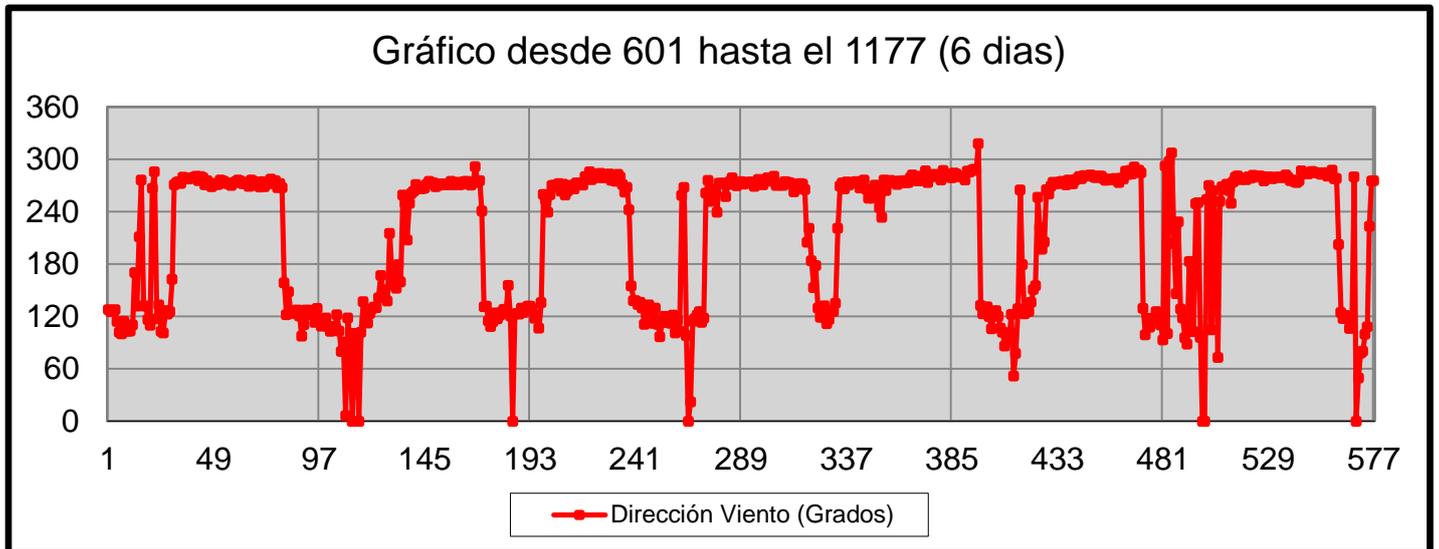
En una segunda tanda de datos, los siguientes 6 días podemos ver más o menos lo que hemos podido ver en la anterior gráfica. Que sí que existe una relación entre la dirección de la corriente marina y la dirección del viento aunque vuelve a ser un poco difusa. En ciertos momentos parece que las dos direcciones vayan parejas, totalmente relacionadas, y en otros momentos parece que tal relación no exista en absoluto.



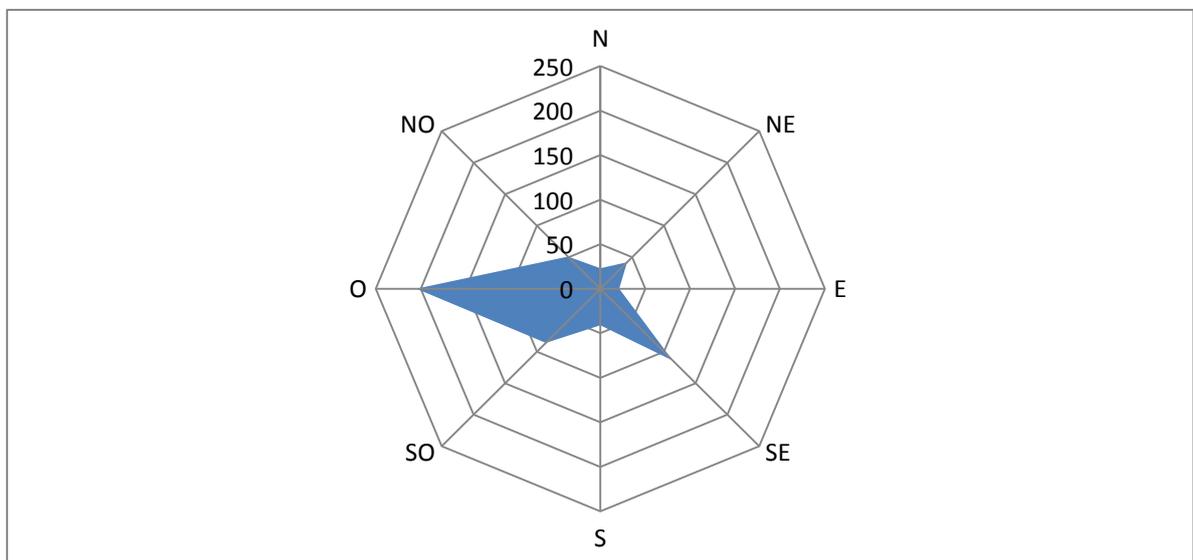
Si insertamos la gráfica de arriba con solo un parámetro sí que se aprecia que cada uno de ellos sigue un cierto patrón. Como por ejemplo que la dirección de la corriente marina suele variar entre los valores de 60 y 120 grados cuando estamos a mitad de día y suele estar en valores de 300 grados cuando se acaba el día y comienza otro.



Sin embargo las direcciones de las corrientes de viento llevan un patrón un poco más caótico ya que si bien podemos observar las fluctuaciones que realiza este parámetro que van casi siempre de los 280 grados hasta los 120, este patrón es un poco más raro ya que parece no seguir el ciclo del día.

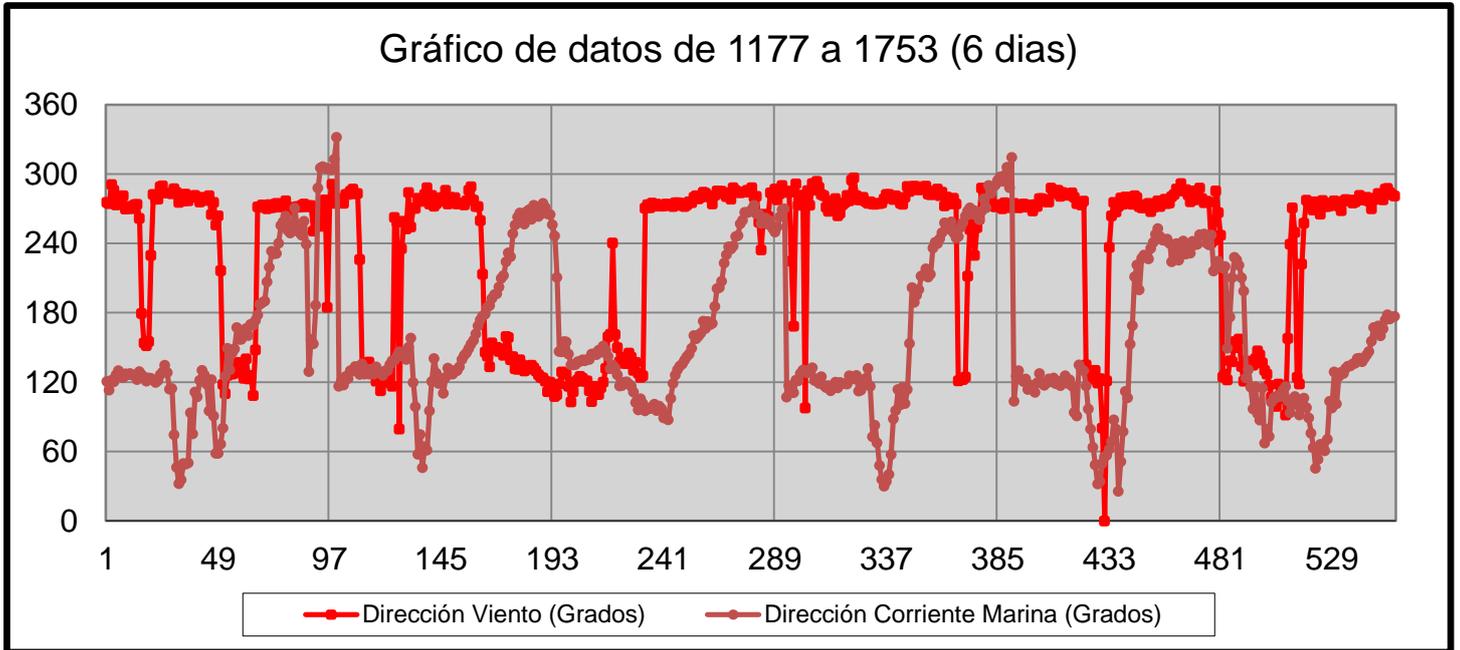


Introducimos también la gráfica con la rosa de los vientos con las frecuencias de la dirección de la corriente marina.

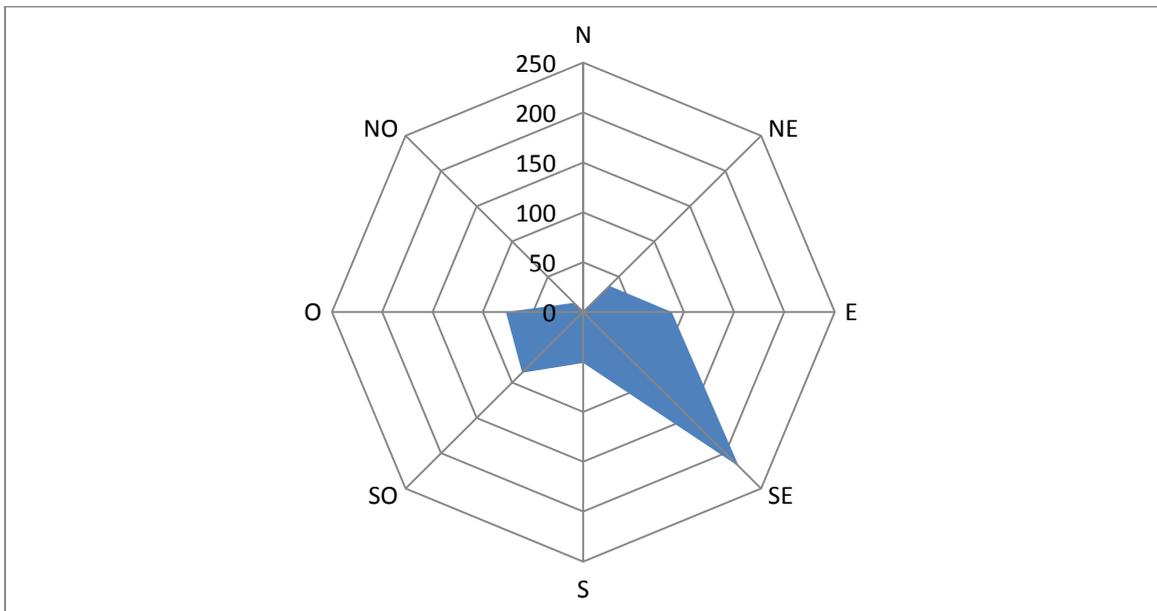


Este caso no coincide con el anterior ya que aquí la dirección más repetida es el oeste y en su defecto el suroeste aunque también haya bastantes hacia el sureste. Lo que no cambia de esta gráfica y la otra es la casi ausencia de datos hacia el norte.

En la última tanda de datos generada desde el día 24 de agosto hasta el día 30 de agosto vamos a ver como si existe una relación entre las dos variables, esta es muy poco visible.



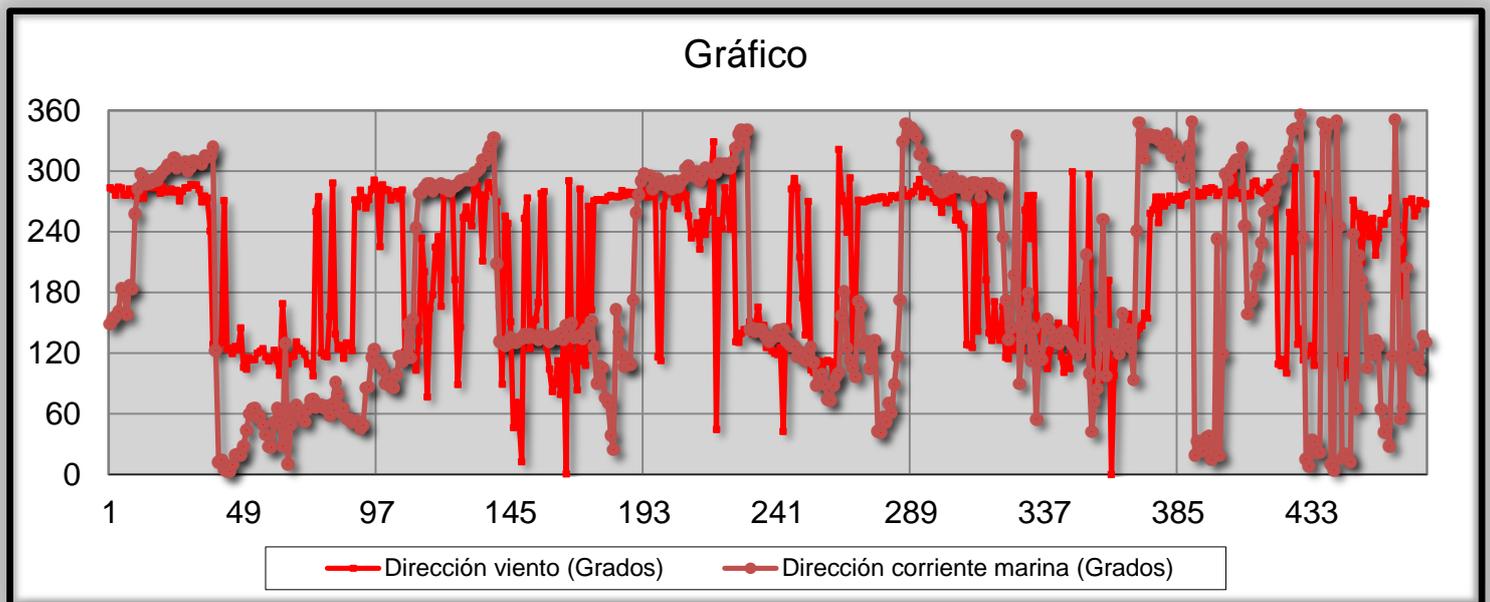
Esta secuencia de datos viene siguiendo a los datos analizados en anterioridad y a diferencia de los anteriores aquí no podemos distinguir prácticamente ninguna correlación entre las dos variables. Sí que podemos distinguir como la corriente marina sigue otra vez un cierto patrón diario aunque este no sea exacto ni mucho menos pero tal patrón sí que es visible, sin embargo, el viento en esta secuencia de datos de 6 días no sigue ningún patrón por lo que podemos ver y sin embargo la corriente marina sí que lo hace. Sería pronto para deducir que la dirección de la corriente marina se ve poco influenciada por la dirección del viento pero es lo que podemos ver en este gráfico



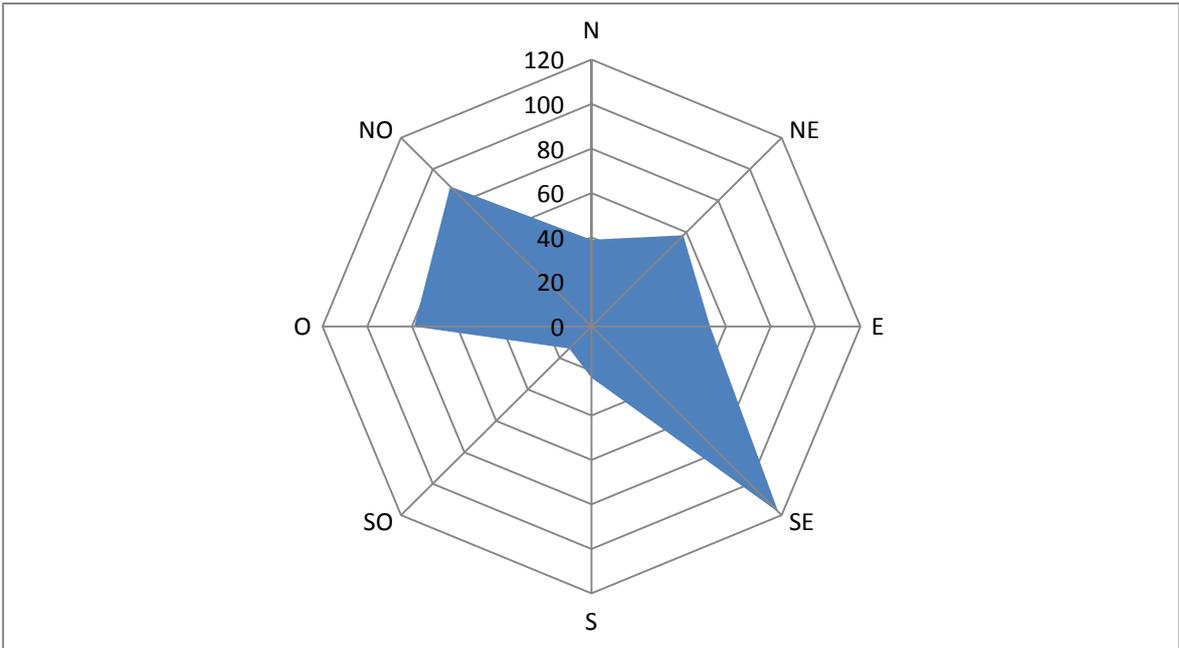
En la gráfica de las frecuencias que podemos ver arriba vuelven a repetirse muchísimos valores hacia la dirección del sureste, la mayoría de los datos indican que la corriente marina superficial en esos días se dirigía hacia el sureste. Tampoco cambia la ausencia de datos en la dirección del norte o noroeste o nordeste, prácticamente no existen datos en estas direcciones.

Vamos a seguir analizando datos pero ahora de otra secuencia diferente. En esta secuencia solo disponemos de 474 datos, lo que viene a ser unos cinco días pero estos son del mes de mayo de 2008, concretamente desde el 21 al 26 de mayo de 2008. El análisis de los datos es el mismo que anteriormente aunque los datos no provengan de las mismas fechas también son datos tomados con un “adp” fondeado ese tiempo y comparando los datos registrados con el “adp” con los datos de los vientos recogidos por la estación meteorológica en ese mismo periodo de tiempo.

La grafica obtenida es esta:



Aunque se trate de otra serie de datos que no ocurre en julio como las analizadas anteriormente y se trate de una secuencia de mayo, también podemos ver que la dirección de la corriente marina sí que parece seguir un patrón cíclico debido al día sin embargo, la dirección de los vientos aunque si se observa bien también puede ser que se trate de un patrón este está mucho más difuso y no parece que siga el ciclo del día por lo que podemos decir que las corrientes del mar no están muy influenciadas por la dirección del viento.



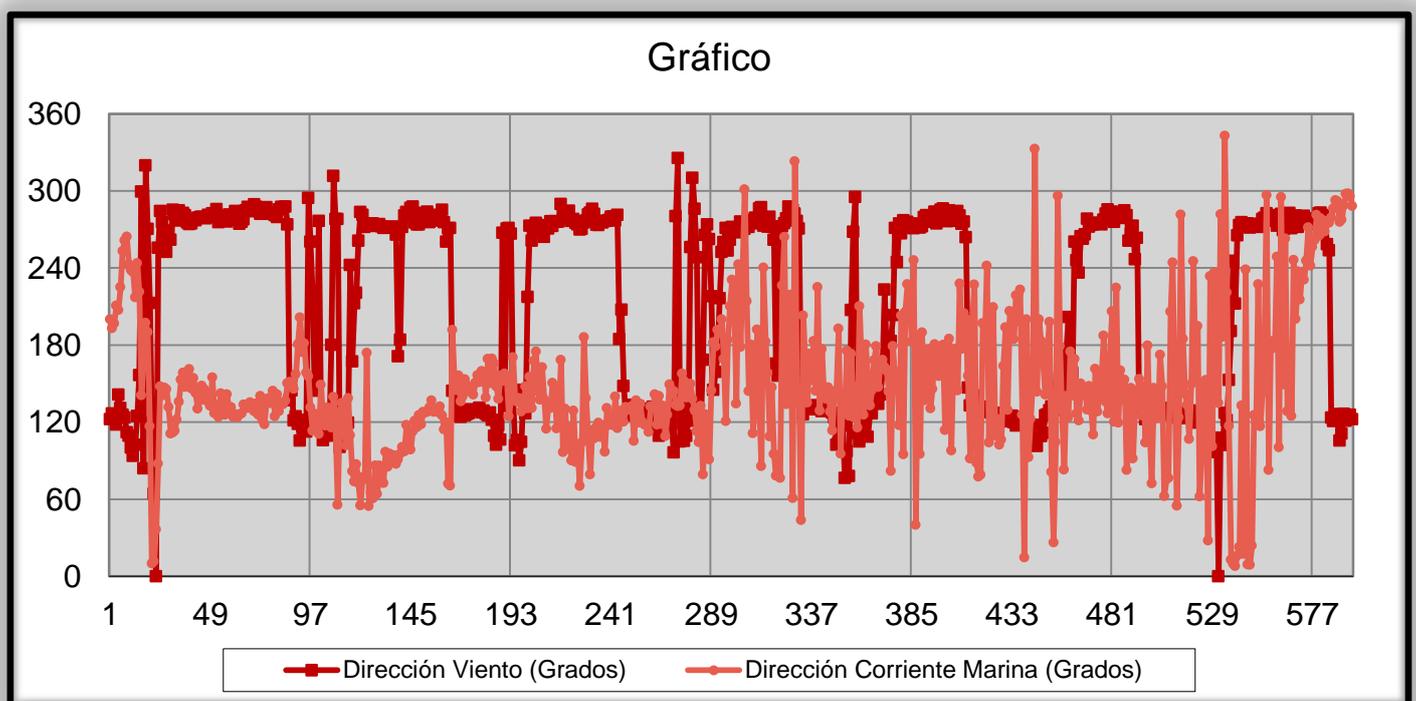
Continuamos viendo en la gráfica de frecuencias que la dirección más repetida continua siendo el sureste con unos 120 datos del total de 474 datos sin embargo en esta gráfica están todos los demás mucho más repartidos y sobre todo también existe una tendencia sobre el oeste y el noroeste.

Todo lo anteriormente analizado corresponde a la capa superficial del mar y que por lo tanto debería ser la que más influenciada se encontrara a la dirección del viento sin embargo, como hemos podido ver esta correlación existe muy poquitas veces y a la vez sí parece que existe es muy difusa en esta capa superficial del mar.

También he realizado graficas comparando la segunda capa de las corrientes del mar con las direcciones del viento por si pudiera existir una relación aunque si en la capa más superficial parecía no existir casi nunca es de esperar que esta relación con la segunda capa sea prácticamente nula.

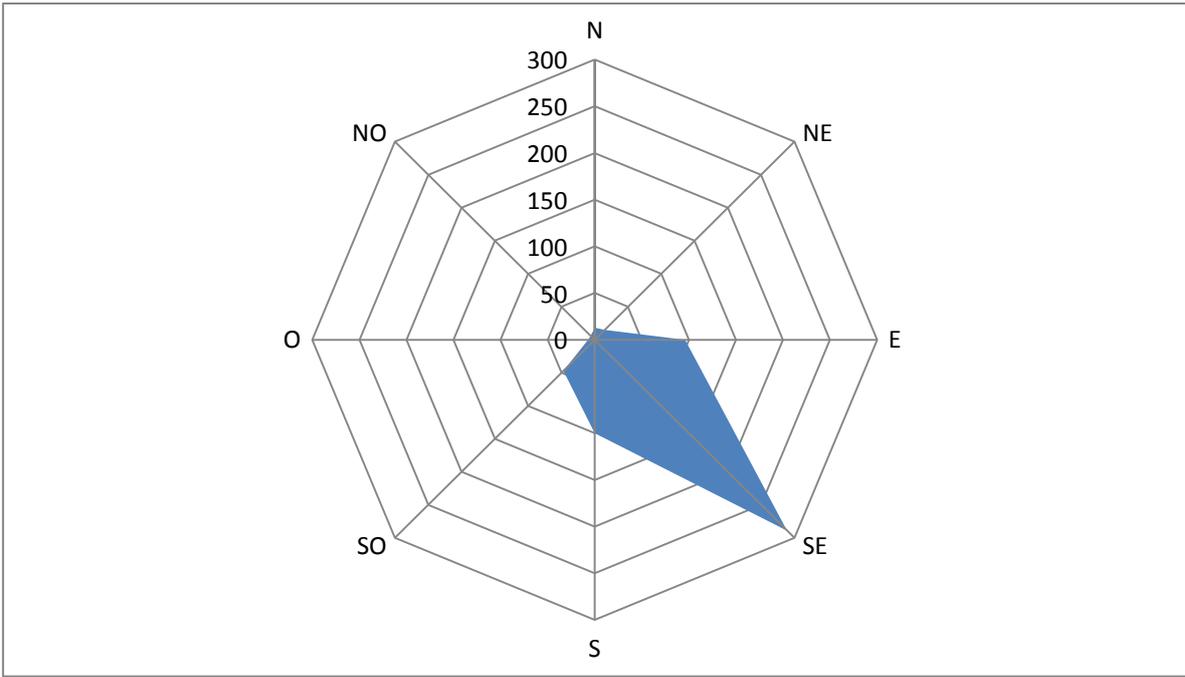
A continuación vamos a ver alguna grafica de esta segunda enfrente de la dirección del viento por si pudiera existir alguna relación.

Estas graficas van a contener la misma seria de datos de viento y en el mismo tiempo, lo único que va a cambiar va a ser la sustitución de la primera capa del mar por la segunda pero el tiempo de las secuencias de datos va a ser el mismo que el anterior análisis.

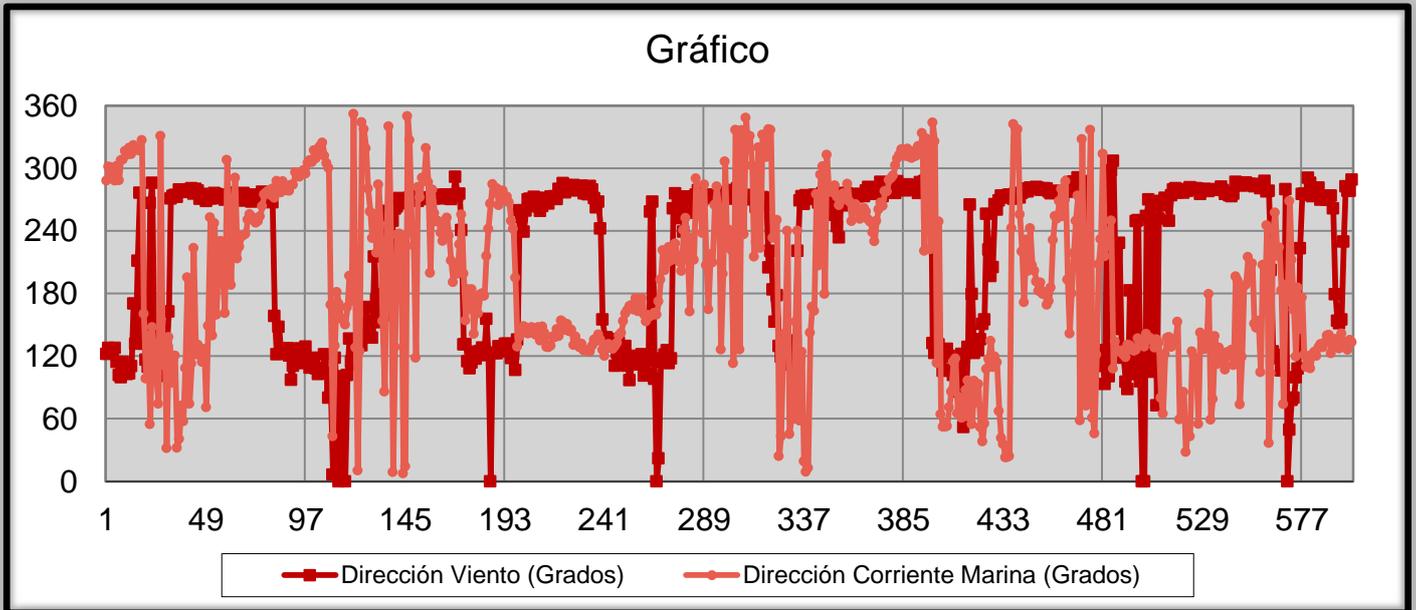


Esta grafica contiene los mismos datos de dirección del viento que las primeras tablas que puse, son del periodo de julio, desde el 12 de julio en secciones de datos que abarcan 6 días. En total 3 graficas de las cuales esta es la primera

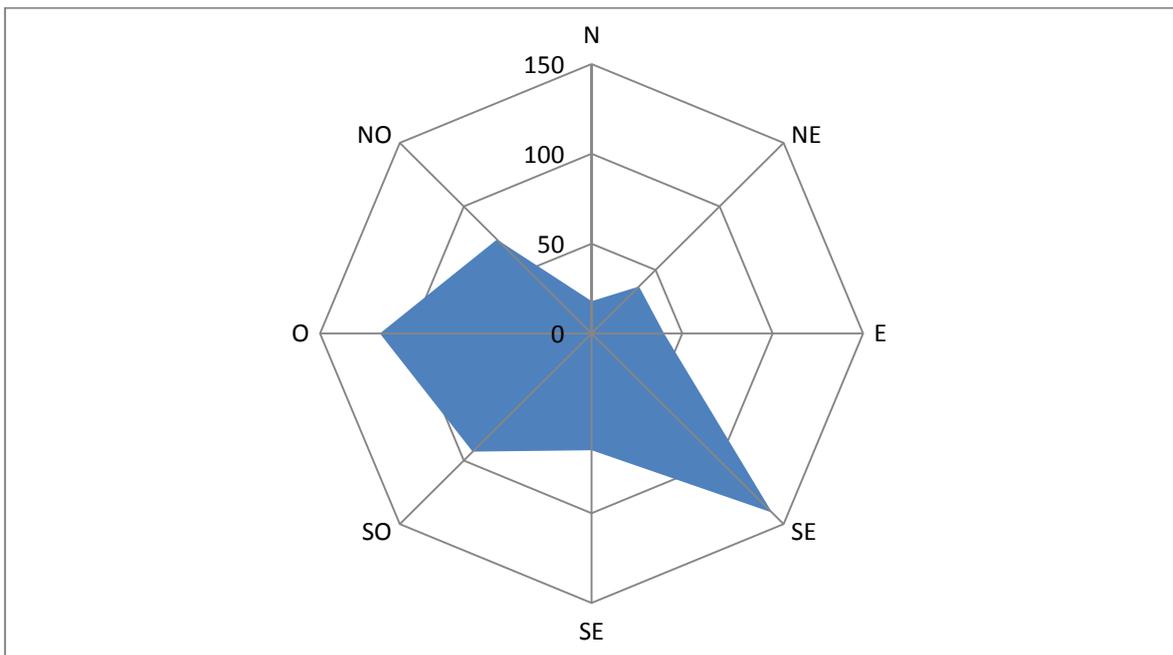
En esta primera grafica podemos ver como esta segunda capa de mar parece no estar influenciada por las corrientes de viento que se suceden y que no le podríamos encontrar prácticamente ninguna relación entre estas dos variables. Como ya habíamos visto anteriormente, el viento sí que sigue un cierto patrón que posiblemente sean los días pero las corrientes marinas de la segunda capa no tienen relación alguna con estas.



En el análisis de frecuencias de esta segunda capa comenzamos viendo lo que también estábamos viendo en la capa superficial. La mayoría de los datos se centran en la dirección del sureste mientras que en las demás direcciones prácticamente no existen datos.

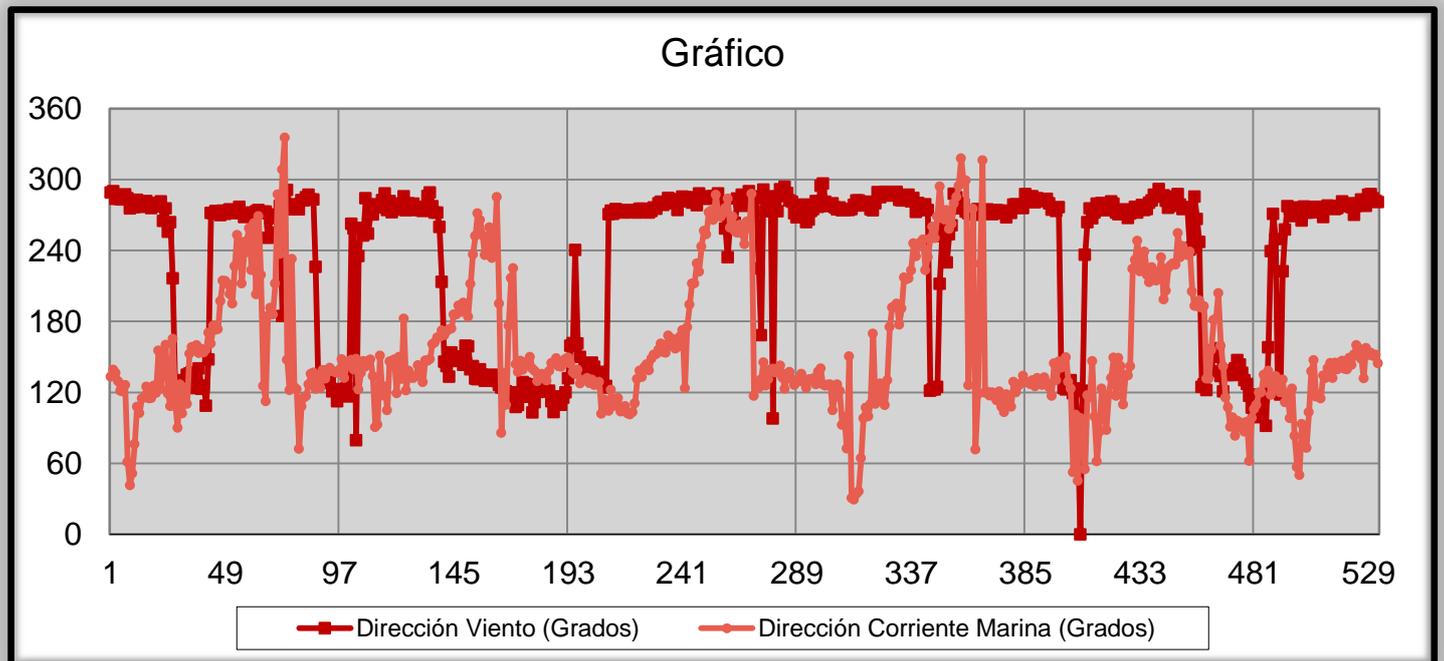


En la segunda secuencia de datos de julio sí que podríamos ver que puede existir cierta relación entre las dos variables ya que existen periodos que las direcciones de ambas variables coinciden bastante, sin embargo es una relación un poco difusa, no podríamos concluir nada ya que a veces sí que existe sin embargo otras veces no tiene nada de parecido.

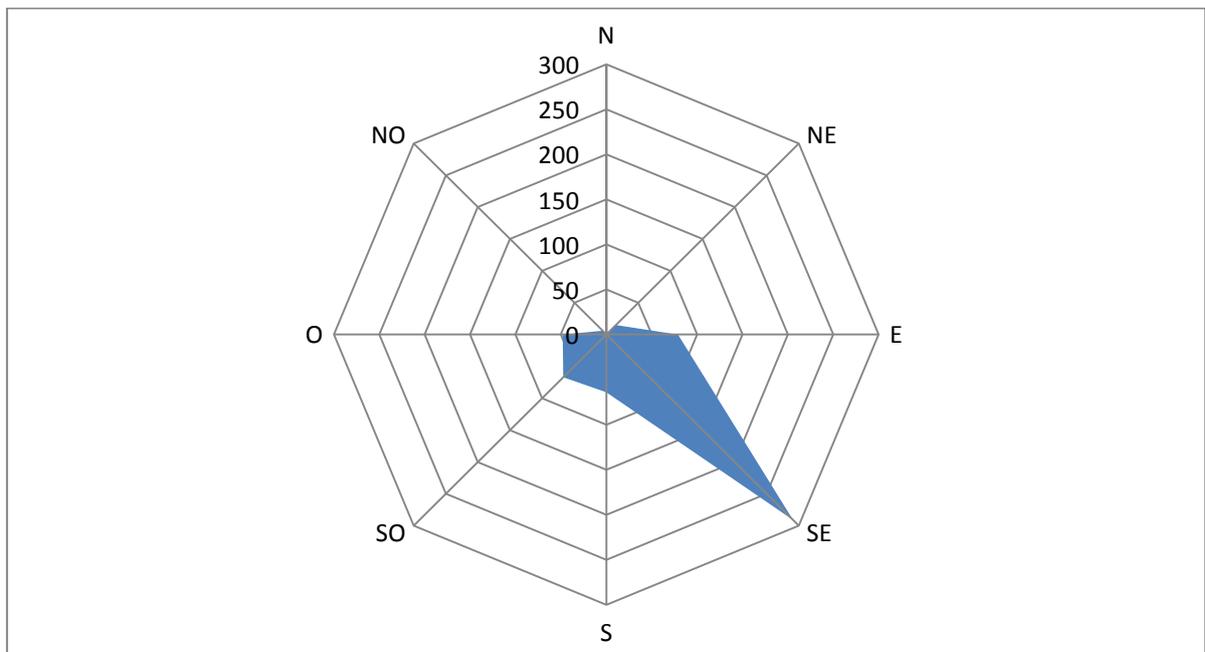


Podemos llegar a decir que la gráfica de frecuencias se parece mucho a la analizada anteriormente de su capa superficial aunque existen algunas diferencias ya que en la anterior la dirección dominante era el oeste y en esta gráfica también nos encontramos con muchos datos en esa dirección pero no es la predominante porque una vez más la que más se repite es la sureste.

Vamos a pegar la última gráfica de esta secuencia de datos:

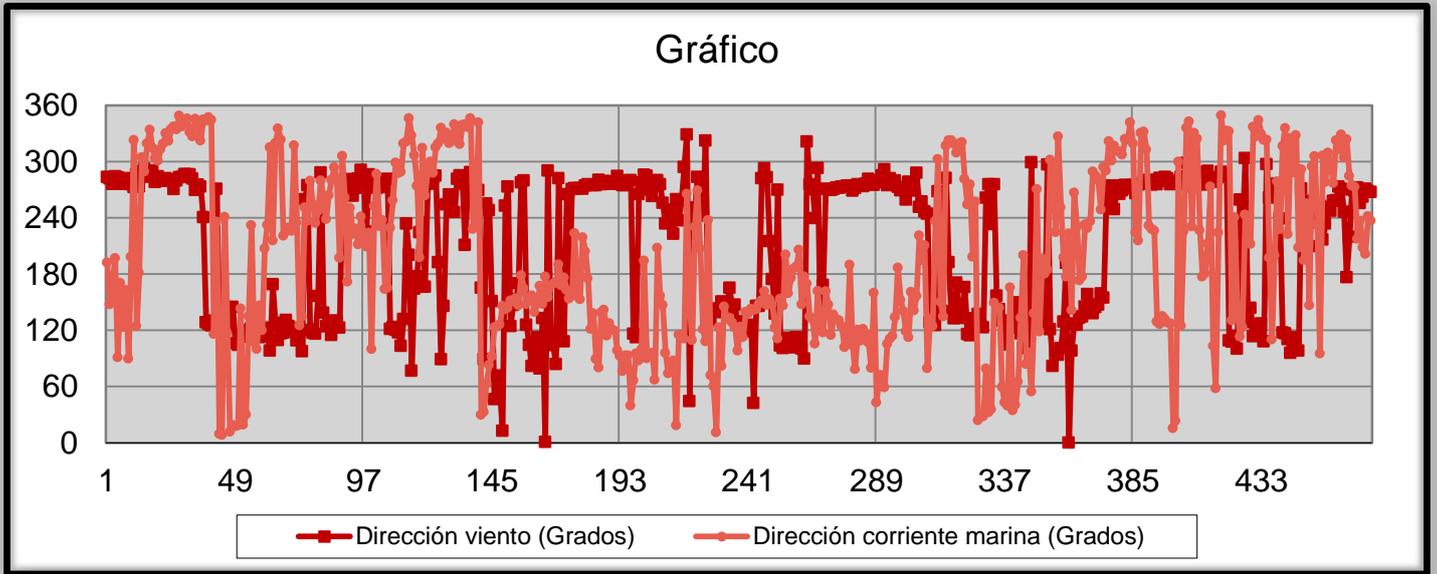


Aquí como en la primera gráfica realizada con la primera secuencia de los datos podemos ver como las dos variables no tienen ninguna relación en prácticamente ningún punto y que por lo tanto, no existe prácticamente influencia directa entre la corriente de aire y la corriente marina en la segunda capa.

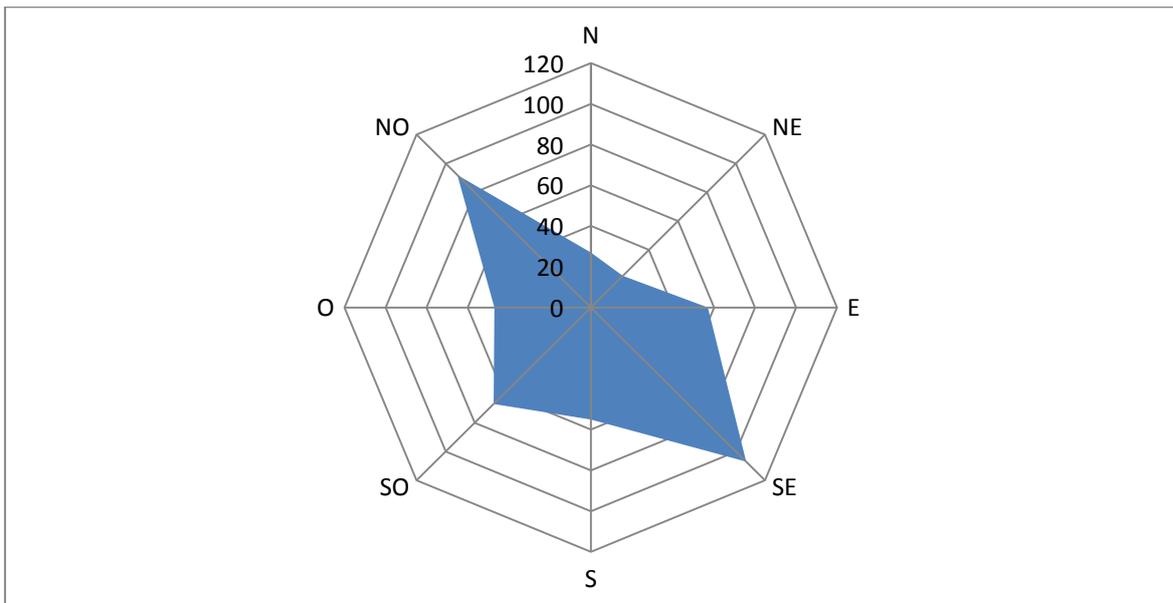


En su capa superficial esta gráfica ya mostraba su gran predominancia de datos en la dirección sureste y esto no cambia en la segunda capa de agua, total predominancia de la dirección sureste.

Ahora vamos a introducir la última tanda de datos pero estos no pertenecen a la misma secuencia que la anterior. Esta proviene de un periodo del mes de mayo que anteriormente ya habíamos analizado pero con los valores de la primera capa de agua. Ahora vamos a realizarlo con la segunda capa para si pudiera existir relación alguna. Los datos para recordarlo provienen del 21 al 26 de mayo, unos 474 datos en total.



Esta es la última tanda de datos comparando la segunda capa del mar y tampoco podemos ver ninguna relación entre las direcciones del viento y la dirección de la corriente del mar en su segunda capa.



También es muy parecida a su anterior capa la superficial, la mayoría de los datos se centran en las direcciones sureste y noroeste aunque en la anterior tenía muy pocos datos de la dirección suroeste que esta sí que tiene aunque también predomina la dirección de siempre, la sureste.

4. Discusión de los resultados

En la primera comparación que hemos realizado entre los datos de la corriente de la capa superficial del mar y la dirección de la corriente de viento hemos podido ver como en ciertos momentos sí que podía existir una relación lineal entre ambas variables. También podemos ver como el viento suele realizar ciclos dependiendo del momento del día en que se encuentre y aunque esto no sucede siempre a las mismas horas sí que se puede ver un cierto patrón en las direcciones de las corrientes de viento. Sin embargo en las corrientes del mar esto sucede pero solo a veces, el viento es uno de las variables que más influye en la dirección de la capa superficial del mar sin embargo no es el único por ello solo en ciertas ocasiones sí que puede entreverse una relación entre estas dos variables pero es muy difusa ya que enseguida estas relaciones se perdían.

Estudiando un poco los datos también he descartado una relación retardada de los datos, por si el efecto que ejercía la fuerza del viento podía hacerse visible en las direcciones de la corriente marina pero al cabo de cierto tiempo y esto tampoco sucedía, las corrientes del mar podían parecerse en ocasiones pero solo eso, no tenían ningún patrón, o solo escasas veces con lo que no se puede concluir que exista una relación aparente entre estas dos variables.

En el caso de la segunda capa recogida con el “adp” relacionándola con las direcciones del viento por si acaso en profundidad se podría hacer visible alguna relación entre estas dos variables aunque era bastante probable que si en la capa más superficial era muy difusa o inexistente esta relación, era de esperar que en su segunda capa no existiera y así ha pasado. Como los datos obtenidos son bastante poco numerosos para nada podemos concluir en algo general pero para los datos que he estado manejando en esta segunda capa sí que podríamos concluir en que no existe relación entre estas dos variables.

5. Conclusiones

Para el estudio que estamos realizando, ver si podía haber peligro ante un gran vertido realizado por el emisario de la playa de Gandía y a la vez unos vientos fuertes en dirección hacia la costa y por lo tanto una contaminación de la costa de ese vertido podremos concluir que esto es muy complicado que suceda ya que se produce una gran dilución en un emisario de estas características aunque esto no tenga que ver con mi trabajo es así y por otra parte en referente a las direcciones de las corrientes marinas en función de la dirección de la fuerza del viento no son nada concluyentes y por lo que podemos ver en los datos analizados, unos vientos muy fuertes en dirección a la costa no tendría por qué provocar las mismas corrientes en el mar en la misma dirección y que el vertido llegara a alguna de las playas cercanas a la costa aunque esto de cercana también se tendría que matizar ya que el emisario se encuentra a 2km de la playa más cercana y esto es bastante lejano para transportar ese vertido hasta una playa.

Como conclusión de los datos analizados podríamos decir que aunque no podemos asegurar que no pase nada ante unos vientos con mucha fuerza y en dirección a la costa y esto de que no podamos asegurarlo es porque la dirección de las corrientes del mar están influenciadas por multitud de factores, sin embargo solo teniendo en cuenta el viento no creo que fuese suficiente para hacer llegar un vertido del emisario a ninguna playa cercana.

6. Bibliografía

Münchow, A. and Garvine, R.W. 1993. Buoyancy and wind forcing of coastal current. **Journal of marine research**, **51** (2): 293-322.

Souto, C.; Fariña-Busto, E.; Alvarez, L.; Rodríguez, I. 2001. Wind and tide current prediction using a 3D finite difference model in the Ría de Vigo (NW Spain). **Scientia Marina**, **65** (S1): 269-276.

Stewart, R. H. 2006. **Introduction to Physical Oceanography**. Texas A & M University. 344 pp.

Visbeck, M.. 2002. Deep Velocity Profiling Using Lowered Acoustic Doppler Current Profilers: Bottom Track and Inverse Solutions. **Journal of atmospheric and Oceanic thecnology**, **19**:794-807.