

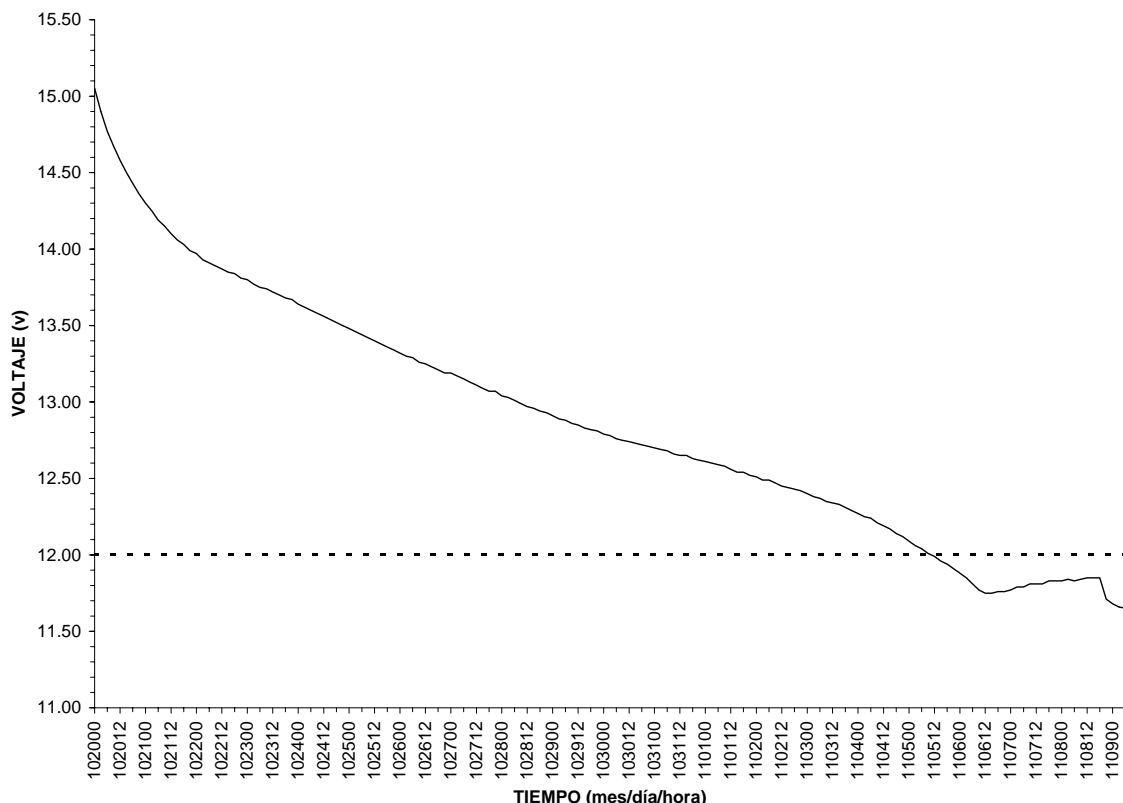
## 4. CONTROL DE CALIDAD Y MÉTODOS DE ANÁLISIS

### 4.1. ANÁLISIS DEL CONTROL DE CALIDAD DEL TRÍPODE 1

#### 4.1.1. VOLTAJE DEL SISTEMA

Los trípodes utilizan un conjunto de baterías responsables de suministrar la energía necesaria para el funcionamiento de los distintos sensores colocados en las patas de los trípodes. Para un correcto funcionamiento, según el fabricante, el sistema necesita un voltaje superior a 12 voltios. Por lo tanto, resulta necesario verificar a partir de qué fecha el sistema trabaja con un voltaje inferior a 12 voltios, considerándose que los datos obtenidos a partir de ese momento son, en principio, no fiables. Para tal fin, se representan los valores del voltaje del sistema registrados en el archivo de administración del TRÍPODE 1, los cuales se corresponden con una medida del voltaje al inicio de cada *burst* de muestreo.

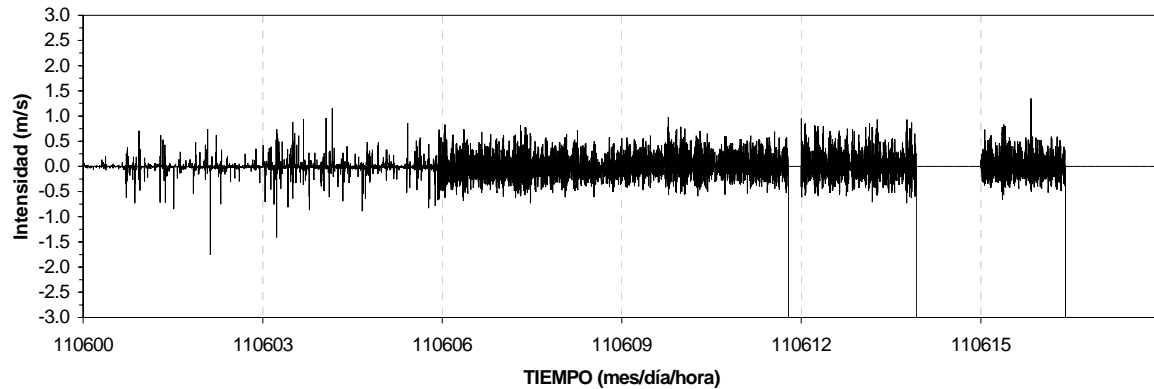
Como se aprecia en la Figura 4–1, el voltaje es decreciente en el tiempo llegando a ser inferior a 12 voltios entre las 9:00 y las 12:00 horas del 5 de noviembre. Pasado este momento el voltaje continúa decreciendo hasta las 12:00 horas del 6 de octubre, punto en el que se experimenta una recuperación del voltaje pero sin llegar a alcanzar nuevamente los 12 voltios en ningún momento.



**Figura 4–1.** Evolución del voltaje del TRÍPODE 1 entre las 0:00 horas del 20 de octubre y las 6:00 horas del 9 de noviembre.

Aparentemente, una vez el sistema se encuentra con un voltaje inferior a 12 voltios no se detectan anomalías en los datos. Sin embargo, a partir de las 9:00 horas del 6 de

noviembre se observa en los *bursts* como se produce un error de medida puntual en todos los sensores. Esto es, de repente se registra un valor de -99.00 para seguidamente medir 0.00 hasta el final del *burst* (caída del sistema) (ver Figura 4–2). En el caso del sensor de presión el comportamiento es distinto, de manera que se registra el valor -99.00 pero después se continúan almacenando datos de forma normal.



**Figura 4–2.** Ejemplo de la afectación en la toma de datos de la caída del sistema como consecuencia del descenso del voltaje. Valores de velocidades.

Este error se produce de manera sistemática desde entonces, pero a medida que pasa el tiempo y el voltaje suministrado por la batería es cada vez menor el fallo ocurre antes en los *bursts* almacenándose cada vez un menor número de datos distintos de 0.00 (ver Figura 4–2).

Por lo tanto, en lo que respecta al voltaje del sistema, puede considerarse que los datos son válidos durante prácticamente todo el periodo de estudio, pero a partir de las 9:00 horas del 6 noviembre debe tenerse en cuenta el cambio de comportamiento del sistema anteriormente mencionado.

#### 4.1.2. ORIENTACIÓN DEL TRÍPODE

Cada uno de los trípodes utilizados en la campaña de muestreo dispone de un compás para saber en cada *burst* la orientación del trípode respecto al Norte magnético. Del mismo modo que el voltaje, los registros de la orientación se almacenan en el archivo de administración de los trípodes. Los valores de la orientación del TRÍPODE 1 se representan en la Figura 4–3.

A primera vista se pueden observar los periodos de fondeo y desfondeo, los cuales vienen caracterizados por bruscas variaciones de la orientación en los *bursts* iniciales y finales.

Una vez fondeado, la orientación del trípode permanece prácticamente constante hasta las 21:00 horas del 24 de octubre, momento en el que se produce un cambio brusco en la orientación del sistema (aproximadamente  $21^\circ$ ). A partir de este instante la orientación vuelve a permanecer constante hasta las 9:00 horas del 6 de noviembre donde se registra un segundo escalón en la orientación de aproximadamente  $60^\circ$ .

Una posible explicación para el primer salto brusco de la orientación, dada su magnitud, es que se pudo haber producido un asentamiento del trípode inducido por la erosión del fondo durante el paso de la tormenta registrada durante los 6 primeros días de campaña. Por otro lado, el segundo escalón en la orientación del trípode también se produce

durante el paso de una tormenta pero, dado su valor, no es tan aceptable que pudiera ser debido a otro asentamiento del trípode.

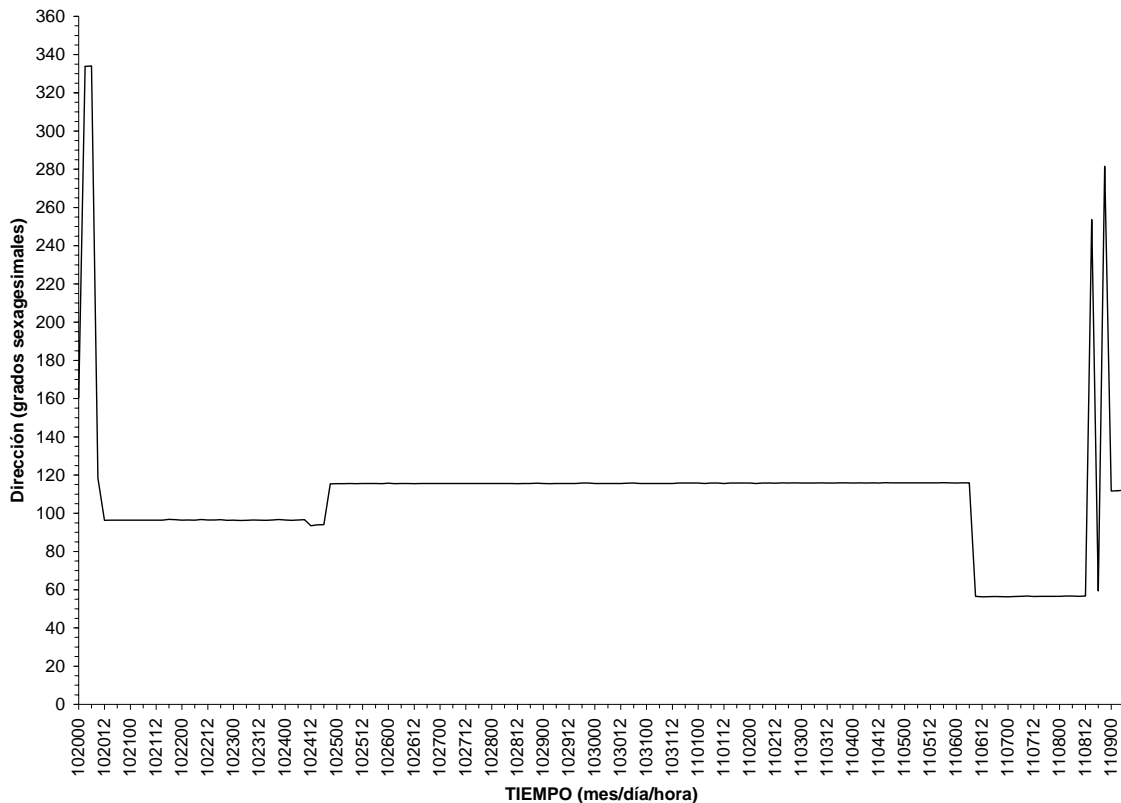


Figura 4-3. Evolución de la orientación del TRÍPODE 1 entre las 0:00 horas del 20 de octubre y las 6:00 horas del 9 de noviembre. Dirección respecto el Norte magnético.

Sin embargo, en este segundo caso se da la coincidencia que éste se produce justo en el *burst* en el que se tiene la primera caída del sistema provocada por la falta de voltaje (ver Figura 4-1). Por lo tanto, podría ser que el segundo salto en la orientación estuviera relacionado con esta incidencia. Además, esta hipótesis resulta coherente con el funcionamiento del compás pues registra la orientación del trípode al final del *burst* cuando los sensores no funcionan correctamente.

Las anteriores hipótesis sobre el porqué de los cambios repentinos en la orientación del trípode no son concluyentes. Por un lado, los valores de ambos saltos pueden perfectamente considerarse que no son aceptables para un asentamiento del trípode. Además, cabe resaltar que un asentamiento del trípode no induce necesariamente un cambio de orientación, es decir, una rotación respecto el eje horizontal del trípode no provocaría un cambio en la orientación. Por otro lado, la hipótesis que explica el segundo escalón como consecuencia de la caída del sistema no se ratifica en el TRÍPODE 2, como se verá más adelante.

### 4.1.3. RANGOS DE LAS VARIABLES

El siguiente paso a realizar es verificar si los datos registrados para cada una de las variables se encuentra dentro del rango admisible de valores de los instrumentos utilizados. En la Tabla 4-1 se establecen los distintos intervalos de medida válidos para cada tipo de sensor.

Tabla 4–1. Rangos de medida del EMCM, OBS, Druck PDCR 1830 y Compás KVH C100.

Sensor	Variable	Unidad	Mínimo	Máximo
EMCM	Velocidad	m/s	-2.5	2.5
OBS	Turbidez	Voltio	0	5
Druck PDCR 1830	Presión	decibar	0	35
Compás KVH C100	Orientación	grad. sexag.	0	360

Una vez obtenido el archivo con los resultados para el TRÍPODE 1 se han utilizado dos formas distintas de representación de éstos:

1. La primera es representar archivo por archivo y para cada una de las 10 variables contenidas en cada archivo los datos considerados como válidos (dentro de rango) y como no válidos (fuera de rango) en forma de columna apilada (ver *Anejo 2*). De esta manera, se tiene una representación gráfica compacta de la variación del número de datos no válidos tanto espacialmente como temporalmente; es decir, se puede apreciar la evolución del número de datos fuera de rango para cada uno de los sensores a distintas alturas en un mismo intervalo de muestreo así como la evolución de este número a lo largo de los distintos *bursts*.

La ventaja de esta representación reside en que permite apreciar fácilmente si existe una correspondencia entre las distintas variables medidas a una misma altura (velocidad y turbidez) y, también, si es apreciable una correspondencia en profundidad para un tipo de variable medida. Esto es, si para sensores que miden distintas variables (EMCM y OBS), pero situados a la misma altura, cuando en uno aparecen gran cantidad de valores fuera de rango en el otro también se reflejan, y si para sensores que miden la misma variable (OBS o EMCM), pero situados a distintas alturas, en el momento en que aparecen un número apreciable de datos no válidos en uno en los otros también aparecen.

2. La segunda forma de representación consiste en representar sólo el número de datos fuera de rango por sensor para todos los archivos de datos mediante gráficos de líneas (ver *Anejo 2*). Este tipo de representación permite ver la evolución del número de valores fuera de rango para un tipo de variable medida a una altura dada. De este modo es fácil establecer intervalos de tiempo en los que aparecen gran cantidad de datos fuera de rango o periodos de tiempo en los que se mantiene esta tendencia.

Los resultados obtenidos permiten establecer que no existen valores fuera de rango en ninguno de los sensores, excepto en el sensor OBS 1. En efecto, a partir de los gráficos de resultados descritos anteriormente se observa que no existen valores fuera de rango desde el inicio de la campaña hasta la caída del sistema (9:00 horas del 6 de noviembre) provocada por la falta de voltaje, momento a partir del cual se registra un único valor no válido (-99.00) por burst (ver *Anejo 2*).

En el caso del sensor OBS 1 (turbidímetro más cerca del fondo) sí aparecen gran cantidad de valores fuera de rango asociados al periodo de tiempo (6 primeros días de la campaña) en el que tiene lugar un importante aumento de las condiciones energéticas (ver *Anejo 2*). Estas condiciones de medida del sensor se denominan de saturación y se comentarán más adelante.

#### 4.1.4. ATERRAMIENTO DE LOS SENSORES

Una de las comprobaciones que deben realizarse antes de empezar a trabajar con los datos es determinar si se produce el aterramiento de alguno de los sensores situados

cerca del fondo. Así es, mediante una inspección visual de los datos (ver *Anejo 1*) se puede observar como los valores registrados por el sensor EMCM 1 experimentan un cambio brusco, más acusado en la componente transversal, a partir de las 21:00 horas del 23 de octubre, pasando de velocidades cercanas a 1 m/s en al anterior *burst* a velocidades casi nulas.

El mismo comportamiento puede apreciarse en el sensor OBS 1 que se encuentra a la misma distancia del fondo que el sensor EMCM1 (10 cm). Sin embargo, el aterramiento de este sensor se produce más tarde determinándose que este ocurre alrededor de las 15:00 horas del 24 de octubre.

El aterramiento de los sensores se puede explicar como consecuencia del paso del temporal registrado durante los 6 primeros días del periodo de estudio. En efecto, ambos sensores se aterran durante el intervalo en el que se tienen altas condiciones energéticas en las que normalmente se produce un aumento considerable del transporte en suspensión y de fondo de sedimentos, incluyendo la migración del fondo mediante formas de fondo (*e.g. ripples, ondas, dunas, etc.*). Si la intensidad de las tensiones inducidas sobre el fondo es suficientemente grande se produce el barrido del fondo (*i.e.* fondo plano). Finalmente, a medida que pasa la tormenta, los sedimentos que se encuentran en suspensión empiezan a decantar depositándose nuevamente sobre el fondo.

Por lo tanto, teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, es factible pensar que los sensores quedaron aterrados por los sedimentos depositados en la base del trípode.

Por último, cabe mencionar que al final de la campaña, cuando nuevamente se aprecia un aumento considerable de las condiciones energéticas, los sensores que se encontraban aterrados se desaterran y presentan un comportamiento que aparentemente puede considerarse normal.

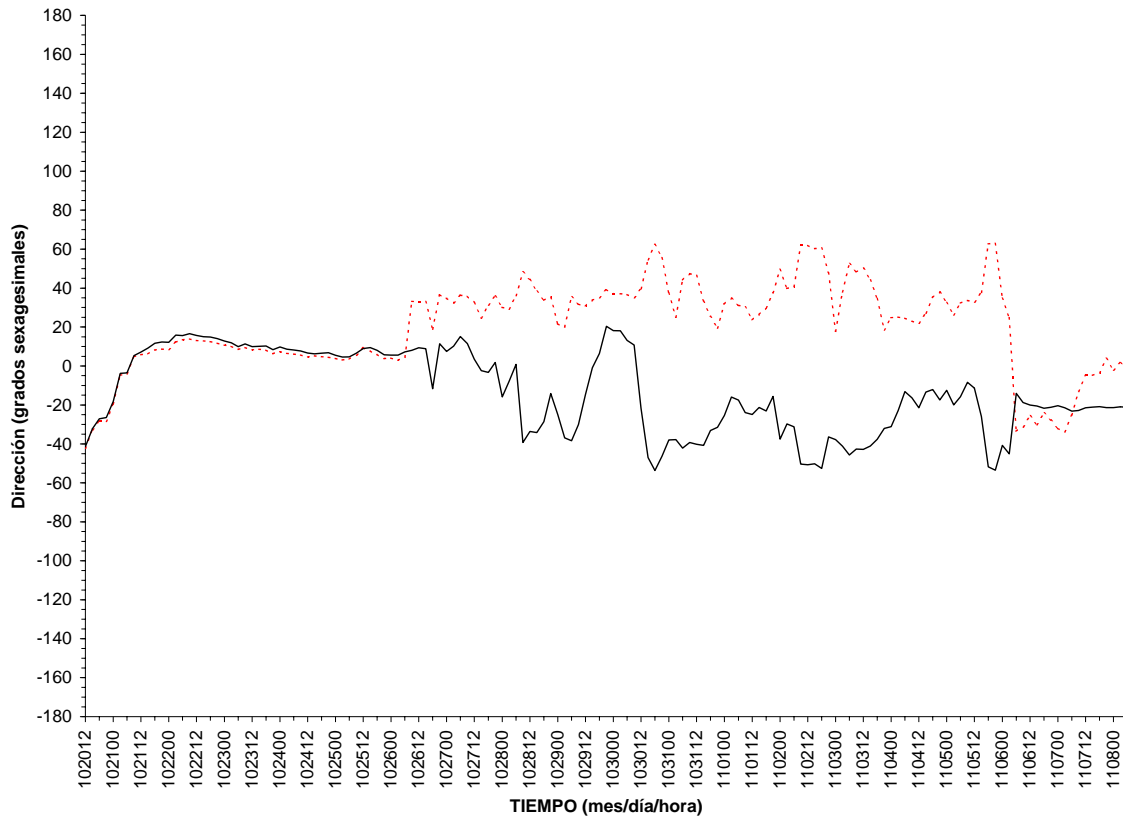
#### 4.1.5. OTRAS INCIDENCIAS

En el anterior apartado se ha comentado el aterramiento de los sensores más próximos al fondo, EMCM 1 y OBS 1. Sin embargo, en el caso del OBS 1, antes de producirse su aterramiento, el cual se ha determinado que ocurre a las 15:00 horas del 24 de octubre, tiene lugar la saturación del sensor. Se entiende como saturación aquellas condiciones de medida en las que debido a las altas concentraciones de sedimento en suspensión los valores registrados de la turbidez permanecen constantes con un valor igual a los 5 voltios. El valor de la turbidez de 5 voltios es el valor máximo al cual se limitaron las medidas de la concentración del sedimento en suspensión por motivos de precisión.

En el caso del TRÍPODE 1 se ha determinado que la saturación del OBS 1 tiene lugar a las 15:00 horas del 23 de octubre.

Por otro lado, cuando se desfondeó el TRÍPODE 1 se pudo observar como el sensor EMCM 2 se encontraba doblado verticalmente unos 90° respecto su configuración inicial. Exactamente no se puede determinar qué ocurrió, pero seguramente se produjo algún tipo de percance con las redes o cañas de algún barco de pesca de la zona.

Para intentar averiguar cuando tuvo lugar el anterior incidente se ha calculado la dirección del oleaje a partir los datos brutos obtenidos con el EMCM 2 y EMCM 3 (ver Figura 4–4).



**Figura 4–4.** Dirección del oleaje en el EMCM 2 (línea discontinua roja) y EMCM 3 (línea continua negra) del TRÍPODE 1 a lo largo de la campaña de estudio. Valores respecto el eje x de los sensores (a partir de los datos brutos).

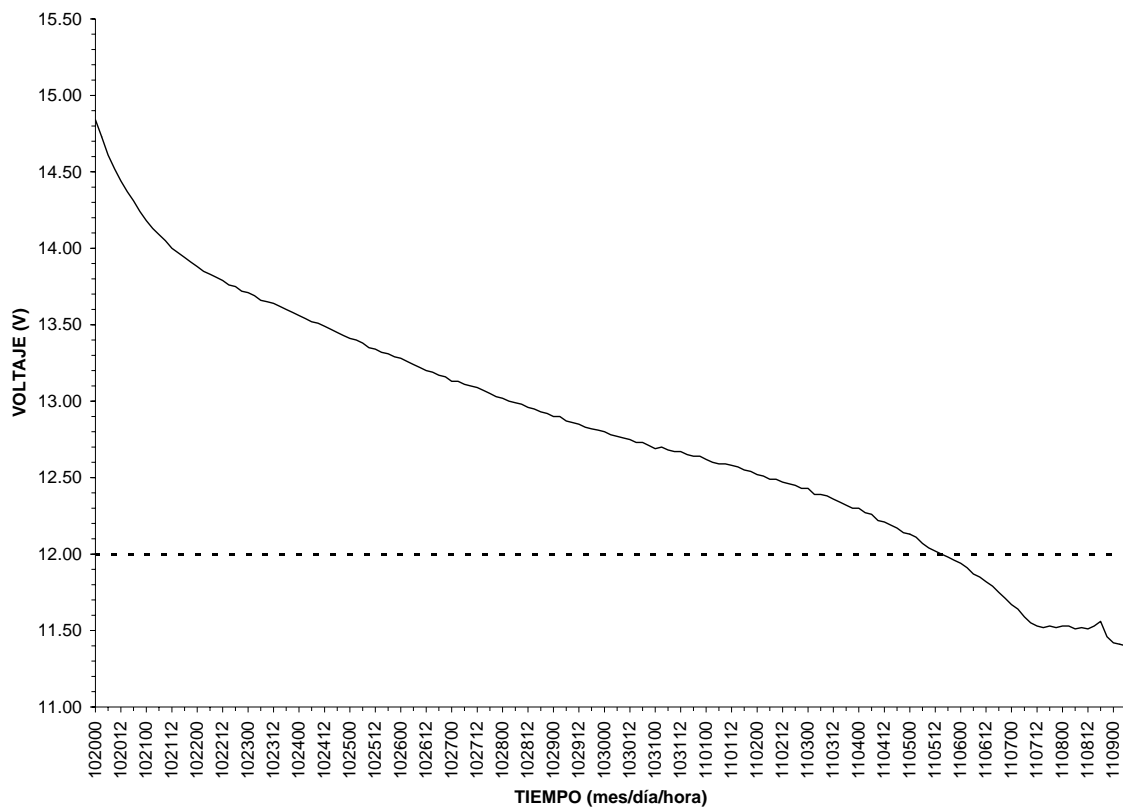
En base a anteriores estudios de Jiménez *et al.* (1999) y Gracia *et al.* (1999) se sabe que las direcciones calculadas en ambos niveles deben ser significativamente iguales dada la distancia que existía entre ambos sensores (41.5 cm), con una máxima diferencia entorno los 5° en condiciones normales.

En efecto, como puede observarse en la Figura 4–4 las direcciones del oleaje en ambos niveles son prácticamente iguales desde el principio del periodo de estudio. Sin embargo, a partir de las 9:00 horas del 26 de octubre se produce un salto brusco entre una y otra dirección que no es coherente con las anteriores hipótesis. Por lo tanto, se decide que el incidente tuvo lugar en esta fecha.

## 4.2. ANÁLISIS DEL CONTROL DE CALIDAD DEL TRÍPODE 2

### 4.2.1. VOLTAJE DEL SISTEMA

Como puede observarse en la Figura 4–6, y del mismo modo que ocurría en el TRÍPODE 1, el voltaje del TRÍPODE 2 es decreciente en el tiempo alcanzándose un voltaje inferior a los 12 voltios entre las 15:00 y las 18:00 horas del 5 de noviembre.



**Figura 4–5.** Evolución del voltaje del TRÍPODE 2 entre las 0:00 horas del 20 de octubre y las 6:00 horas del 9 de noviembre.

A partir de este momento el voltaje continúa disminuyendo hasta las 12:00 horas del 7 de noviembre momento a partir del cual se mantiene cercano a los 11.5 voltios hasta el final de la campaña.

Una vez el voltaje del sistema se encuentra por debajo de los 12 voltios no se aprecia ninguna anomalía en los registros de datos (ver *Anejo 1*).

### 4.2.2. ORIENTACIÓN DEL TRÍPODE

A partir de los datos registrados en el archivo de administración del TRÍPODE 2 en la Figura 4–6 se representan los valores de la orientación.

A diferencia del TRÍPODE 1 no se observan cambios bruscos en la orientación del TRÍPODE 2 manteniéndose ésta prácticamente constante entorno los 140° durante toda la campaña. Las únicas variaciones que se aprecian en el registro de la orientación, al inicio y al final del periodo de estudio, se deben a las operaciones de fondeo y desfondeo del trípode.

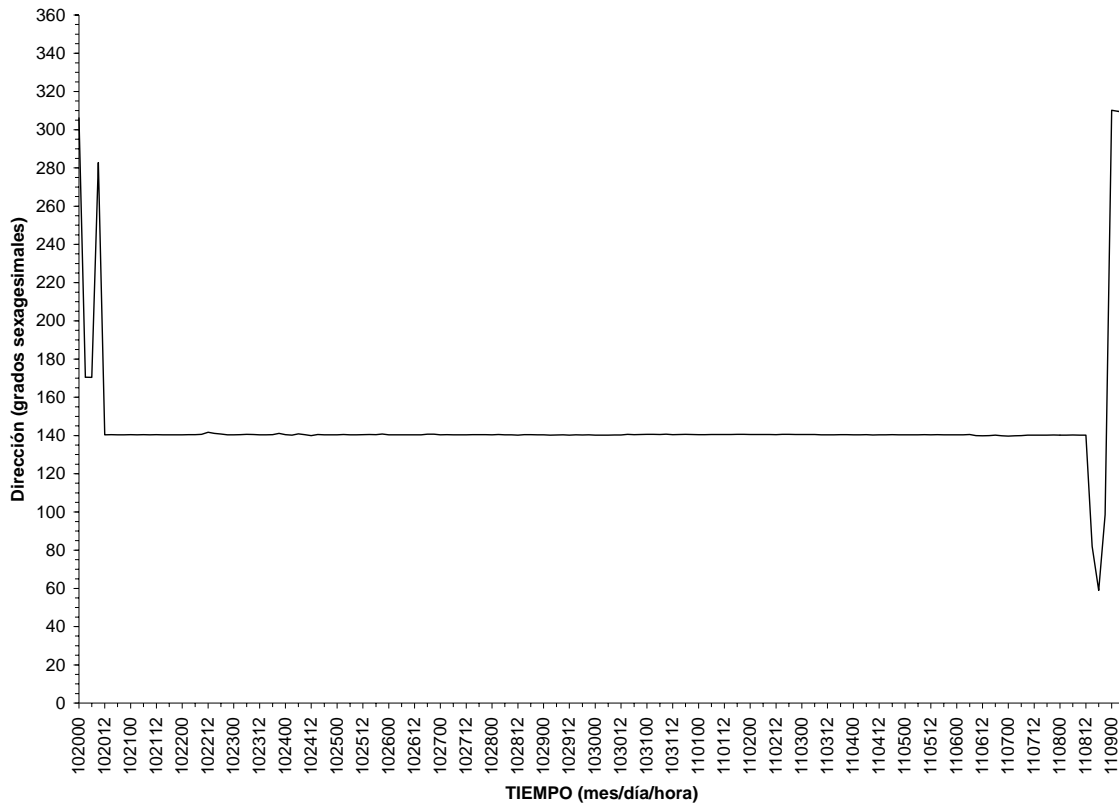


Figura 4-6. Evolución de la orientación del TRÍPODE 2 entre las 0:00 horas del 20 de octubre y las 6:00 horas del 9 de noviembre. Dirección respecto el norte magnético.

### 4.2.3. RANGOS DE LAS VARIABLES

Los distintos rangos admisibles de valores de los sensores del TRÍPODE 2 son los mismos que se han establecido para el TRÍPODE 1 y se encuentran representados en la Tabla 4-1. El procedimiento que se ha seguido para establecer la validez de las medidas registradas es el mismo que se ha utilizado para el TRÍPODE 1.

A partir de los resultados obtenidos se observa que no existen valores fuera de rango en los EMCM (correntímetros) ni en el sensor de presión. Sin embargo, en los tres OBS (turbidímetros) se aprecian gran cantidad de valores no válidos prácticamente durante todo el periodo de estudio (ver *Anejo 2*). Por un lado, en el OBS 1 aparecen gran cantidad de datos que se salen del rango de medida válido del sensor asociados al paso de la tormenta, periodo en el que se alcanzan las condiciones de saturación del sensor. Tras el paso de la tormenta se producen registros de la turbidez que sólo pueden considerarse erróneos y que están provocados por el aterramiento del sensor que ha tenido lugar durante el temporal.

Por otro lado, los OBS 2 y OBS 3 presentan un comportamiento distinto del anterior. Estos sensores presentan gran cantidad de datos no válidos repetidamente durante ciertos periodos de tiempo a lo largo de toda la campaña de estudio. A partir de los valores de la turbidez medidos en ambos sensores (ver *Anejo 1*) se observa que se detectan voltajes negativos cuando las velocidades registradas son pequeñas. La explicación que se ha encontrado para este comportamiento es que con valores muy pequeños de la concentración de sedimento en suspensión se produce un error de medida en los sensores y éstos registran valores negativos.



#### 4.2.4. ATERRAMIENTO DE LOS SENSORES

Del mismo modo que se produce el aterramiento de los sensores EMCM1 y OBS1 (los más cercanos al fondo) del TRÍPODE 1 también se aterran ambos sensores en el TRÍPODE 2.

Por un lado, si se observan los valores de la velocidad en el EMCM 1, en ambas componentes (x e y), entre las 9:00 y las 12:00 horas del 24 de octubre se tiene un comportamiento claramente distinto respecto el anterior *burst* de medida tanto en la magnitud de las velocidades registradas como en la forma del registro. Esto es, entre las 6:00 y las 9:00 horas del 24 de octubre el registro temporal de velocidades del sensor EMCM 1, tanto en la componente x como en la y, presenta velocidades que oscilan de manera continua entre 0.5 y -0.5 m/s. Sin embargo, a partir de las 9:00 horas las velocidades pasan a ser muy próximas a cero registrándose intermitentemente impulsos. Entre las 12:00 horas del 24 de octubre y las 18:00 horas del 25 de octubre se vuelven a tener registros de velocidades como los anteriores a las 9:00 horas del 24 de octubre. A partir de las 18:00 horas del 25 de octubre se considera que el sensor de velocidades EMCM 1 ha quedado completamente aterrado.

Así pues, parece ser que entre las 9:00 y las 12 horas del 24 de octubre se produce un aterramiento temporal del sensor EMCM 1 pero seguidamente se desaterra. El tipo de registro que se tiene en el anterior intervalo de tiempo es el mismo que se observa en el TRÍPODE 1, pero en este caso cuando el sensor queda aterrado no vuelve a desaterrarse. Por lo tanto, en base a los registros, se cree que inicialmente se produjo un aterramiento temporal del sensor pero que seguidamente se desaterró. Así, puede considerarse que el aterramiento se produce progresivamente al final del paso del temporal, cuando las condiciones energéticas empiezan a disminuir y el sedimento que se encuentra en suspensión empieza a depositarse nuevamente en el fondo aterrando el sensor.

Por otro lado, en el caso del OBS 1 se considera que el aterramiento se produce de manera definitiva a las 15:00 horas del 25 de octubre, momento en el que desaparece la señal de la turbidez para volver a aparecer a las 21:00 horas.

#### 4.2.5. OTRAS INCIDENCIAS

Como ocurría en el OBS 1 del TRÍPODE 1 también se produce la saturación del mismo sensor en el TRÍPODE 2. En efecto, a partir de una inspección visual de los datos registrados (ver *Anejo 1*) se observa como a partir de las 6:00 horas del 24 de octubre el valor de la turbidez permanece aproximadamente constante entorno los 5 voltios en el OBS 1.

A diferencia del TRÍPODE 1, cuando se desfondeó el TRÍPODE 2 no se apreció ninguna anomalía en el aspecto de los sensores. Para comprobar que las direcciones del oleaje en los niveles correspondientes al EMCM 2 y EMCM 3 (a 50 y 91 cm del fondo respectivamente) deben ser muy parecidas, con una diferencia máxima entorno los 5° (Jiménez *et al.* (1999); Gracia *et al.* (1999)), se calculan las direcciones del oleaje (respecto el eje x de los sensores) en ambos niveles a partir de los datos brutos.



**Figura 4–7.** Dirección del oleaje en el EMCM 2 (línea discontinua roja) y EMCM 3 (línea continua negra) del TRÍPODE 2 a lo largo de la campaña de estudio. Valores respecto el eje x de los sensores (a partir de los datos brutos).

Como puede observarse en la Figura 4–7 las direcciones del oleaje obtenidas en los dos niveles es prácticamente la misma durante todo el periodo de estudio. Por lo tanto, se considera que no ha tenido lugar ningún tipo de incidencia en los sensores.

### 4.3. CORRECCIÓN DE LA DIRECCIÓN DEL OLAJE

En lo que respecta a la dirección del oleaje es necesario resaltar una incidencia que se ha observado cuando se ha obtenido ésta y que ha condicionado el resto de los resultados. En la Figura 4–8 se presenta la dirección del oleaje que se ha calculado a partir de los datos del EMCM 3 (nivel superior) del TRÍPODE 1 y del TRÍPODE. Estas direcciones se obtienen a partir de la proyección de las series temporales brutas de velocidades registradas en el nivel 3 de ambos trípodes. La dirección que se utiliza para proyectar en cada caso es la orientación del trípode almacenada en el archivo de administración del sistema correspondiente a cada uno de los trípodes. Como se ha comentado en anteriores apartados en relación a las orientaciones de los trípodes (ver apartados 4.1.2. y 4.2.2), la orientación del TRÍPODE 2 permanece prácticamente constante durante todo el periodo de estudio entorno los  $140^\circ$ . Sin embargo, en el TRÍPODE 1 se observa un primer escalón en la orientación del sistema, entre las 18:00 y 21:00 horas del 24 de octubre, de aproximadamente  $19^\circ$  (desde los  $96^\circ$  a los  $115^\circ$ ), y un segundo escalón, entre las 6:00 y las 9:00 horas del 6 de noviembre, de aproximadamente  $60^\circ$  (ver Figura 4–3 y Figura 4–6).

Como puede observarse en la Figura 4–8 las direcciones del oleaje obtenidas en ambos emplazamientos son muy parecidas, con una diferencia en valor absoluto entre una y otra que se mantiene, en media, entorno los  $2.5^\circ$  desde el inicio de la campaña hasta las

21:00 horas del 24 de octubre. En este instante se produce un salto entorno los  $19.5^\circ$  en la dirección del oleaje en la localización del TRÍPODE 1 sin producirse cambios significativos en la del TRÍPODE 2 respecto anteriores intervalos de tiempo. Esta diferencia entre una y otra dirección se mantiene hasta aproximadamente las 21:00 horas del 26 de octubre momento en el que la diferencia se sitúa entorno los  $12.5^\circ$ , en media, hasta las 6:00 horas del 6 de noviembre.



**Figura 4–8.** Dirección del oleaje respecto el norte a partir de los datos del nivel 3 del TRÍPODE 1 (línea continua negra), TRÍPODE 2 (línea roja discontinua trazo corto) y a partir de los datos modificados del TRÍPODE 1 (línea verde discontinua trazo largo) entre las 12:00 horas del 21 de octubre y las 6:00 horas del 6 de noviembre.

De lo comentado anteriormente resalta la diferencia que se produce entre las dos direcciones a partir de las 21:00 horas del 24 de octubre, sobretodo si se tiene en cuenta que justo en este instante también se produce un salto en la orientación del TRÍPODE 1 entorno los  $19^\circ$ . Una profunda reflexión acerca de los posibles motivos que pudieron ser la causa de dicho fenómeno resultó infructuosa dado que no se llegó a ninguna conclusión convincente (ver 4.1.2. *Orientación del trípode*).

Teniendo en cuenta lo anterior se acepta que la decisión más adecuada es considerar que se produjo un error en el archivo de administración del TRÍPODE 1, por lo que el cambio que se aprecia en la orientación del sistema realmente no tuvo lugar. Por lo tanto, para calcular la dirección del oleaje y el resto de resultados en lo que respecta al TRÍPODE 1 se adopta una orientación del sistema aproximadamente constante entorno los  $96.5^\circ$ , valor que resulta ser la media de la orientación de los *bursts* anteriores a las 21:00 horas del 24 de octubre. La nueva dirección del oleaje en el emplazamiento del TRÍPODE 1 se representa en la Figura 4–8.

## 4.4. CONCLUSIONES

En base a los análisis de los controles de calidad de los datos del TRÍPODE 1 y TRÍPODE 2 se ha establecido que el periodo de tiempo para el estudio del funcionamiento de la plataforma interna del delta del Ebro sea entre las 12:00 horas del 20 de octubre y las 6:00 horas del 6 de noviembre. Esta decisión se basa en el hecho de que más allá de las 6:00 horas del 6 de noviembre la toma de datos está condicionada por el voltaje del sistema, lo que se traduce en una reducción del número de datos registrados en cada *burst* (ver Figura 4–2) y, consecuentemente, en una pérdida de la representatividad de los resultados respecto a los otros *bursts*.

En lo que respecta al análisis de los movimientos de alta y baja frecuencia bajo altas condiciones energéticas del oleaje se establece que el intervalo de tiempo de análisis se centrará entre las 12:00 horas del 20 de octubre y las 6:00 horas del 26 de octubre. Esta elección está condicionada, principalmente, por el mal funcionamiento del EMCM 2 del TRÍPODE 1 a partir de las 6:00 horas del 26 de octubre, como consecuencia de lo que se cree que ha sido un percance con alguno de los pescadores de la zona. Por lo tanto, en todo este periodo se dispone de todos los datos de los niveles superior e intermedio de ambos trípodes. Además, en este periodo se observa una evolución completa desde unas condiciones de baja energía hasta unas condiciones consideradas de temporal (ver 5.3. *Características del oleaje*).

En ambos casos se ha tenido en cuenta que, a partir de cierto instante, los sensores más cercanos al fondo se aterran y dejan de registrar datos correctamente, por lo que a partir del momento que corresponda ya no se trabajará con los resultados obtenidos en este nivel.

## 4.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS

Una vez realizado el análisis de los datos de ambos trípodes y depurados éstos el siguiente paso es obtener las variables que permitan caracterizar los flujos de agua a diferentes escalas.

Inicialmente, se han *preprocesado los datos* de ambos trípodes para detectar posibles errores (e.g. valores fuera de rango, aterramiento de los sensores, otras incidencias, etc.) en los ficheros registrados mediante un análisis del control de la calidad de los datos cuyos resultados se han presentado en los anteriores apartados.

Seguidamente, se ha adoptado un *sistema de referencia local* paralelo a la orientación principal de la costa en el emplazamiento de la campaña, en frente de la barra del Trabucador (ver Figura 3-1), para proyectar las componentes de la velocidad. El eje longitudinal adoptado se encuentra a  $31^\circ$  respecto al Norte en el sentido de las agujas del reloj y la dirección transversal a  $90^\circ$ , de forma que las velocidades transversales positivas son hacia mar y las longitudinales positivas están dirigidas hacia el Norte.

*El nivel medio del mar* se ha obtenido a partir de la serie temporal de presión de la columna de agua y de presión atmosférica obtenidos en la estación meteorológica de la plataforma de extracción petrolífera Casablanca. Primeramente se ha calculado la media temporal del registro de presión de la columna de agua sobre la duración de un *burst* (40 min) y se le ha restado el valor de la presión atmosférica. El resultado se ha convertido en metros de columna de agua teniendo en cuenta la densidad del agua de mar ( $1025 \text{ kg/m}^3$ ) y sumándole 1.75 m, que es la distancia a la que se encuentra el sensor de presión del fondo.

Las corrientes de baja frecuencia se han obtenido por promedio temporal de los valores de velocidades registrados sobre la duración de un *burst* (40 min) para los correntímetros (EMCM).

Por otro lado, las condiciones del oleaje se han calculado mediante la componente oscilatoria de las series temporales de velocidad (*i.e.* restando la media a los valores) y de la serie temporal de presión de la columna de agua.

Para la determinación de *la dirección del oleaje* se han utilizado distintos métodos y se han comparado los resultados. Todos los métodos se han aplicado sobre las series temporales de velocidad en el nivel 3 (el más superficial) de ambos trípodes.

El primero de ellos ha sido el método de la varianza de la velocidad total (Madsen *et. al.*, 1993). Éste calcula la dirección y  $(u^2 + v^2)$  para cada valor de la velocidad oscilatoria (*i.e.* restando la media temporal). Utilizando incrementos de  $1^\circ$  en la dirección se calcula la suma de  $(u^2 + v^2)$  de los datos que presentan una dirección comprendida en un mismo sector de  $1^\circ$ . La distribución direccional se obtiene aplicando un suavizado con una ventana de  $11^\circ$ . La dirección del oleaje se considera la media de los centroides de los dos picos obtenidos en la distribución direccional.

El segundo método utilizado ha sido ajustar una recta a los datos de velocidad y considerar que la dirección del oleaje es la pendiente de la recta. En este método se puede utilizar indistintamente el campo de velocidades total u oscilatorio, pues la única variación que se produce es una traslación de la recta ajustada pero sin efectos sobre la pendiente de ésta.

El último método utilizado ha sido proyectar el campo de velocidades oscilatorio sobre la dirección de propagación del oleaje mediante el programa *Projwa2* (Jiménez, 2002). Este método se basa en rotar el campo de velocidades  $360^\circ$  con incrementos de  $1^\circ$  y calcular la varianza proyectada sobre la dirección correspondiente. La dirección del oleaje se obtiene como aquella que presenta una mayor varianza.

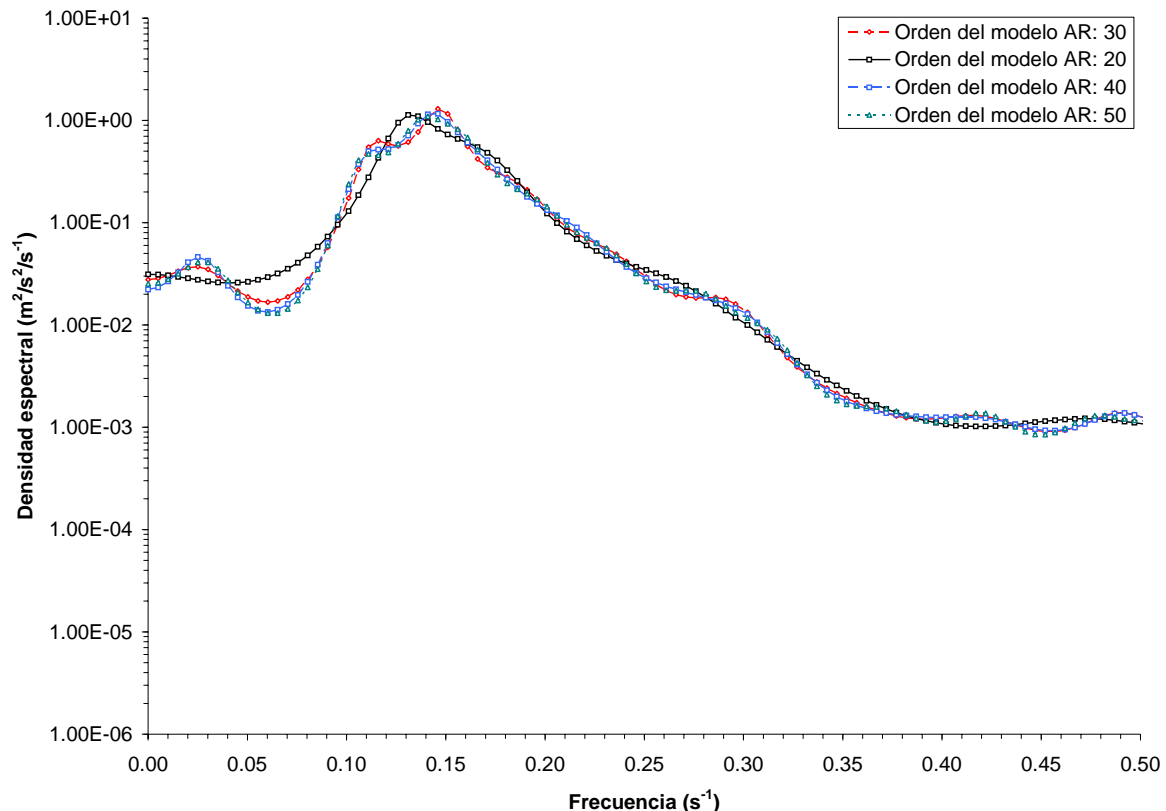
De los tres métodos utilizados el único que permite obtener la dirección real del oleaje (*i.e.* con el sentido de avance) es el método de la varianza de la velocidad total. Sin embargo, éste método pierde precisión a medida que el oleaje deja de ser unidireccional. Así, la dirección finalmente adoptada es la obtenida con el método de proyección del campo de velocidades oscilatorio sobre la dirección de propagación del oleaje teniendo en cuenta el sentido de avance del oleaje obtenido con el primer método.

*El periodo de pico del oleaje* ( $T_p$ ) y *altura de ola significativa* ( $H_s$ ) se han obtenido a partir de la densidad espectral de la componente oscilatoria de la presión (convirtiendo previamente las fluctuaciones de presión en metros de columna agua) considerando válida la teoría lineal de ondas de pequeña amplitud (ver *e.g.* Bishop y Donelan, 1987).

Para el análisis espectral de las series temporales construidas de las corrientes de baja frecuencia, del oleaje y de los datos meteorológicos se ha aplicado una estimación paramétrica de las densidades espectrales. Para ello se ha utilizado el programa *Burg* (Egozcue, 1985) basado en el método de Burg aplicando la recurrencia de Levinson-Durbin.

La utilización de la estimación paramétrica de las densidades espectrales requiere establecer previamente el orden del modelo autorregresivo que se ajusta a la serie temporal. El orden del modelo se puede entender como el equivalente del suavizado espectral que se aplica en la estimación no paramétrica. Así, en función del orden del modelo que se elige los resultados obtenidos varían.

A modo de ejemplo, en la Figura 4–9 se representan las distintas densidades espectrales que se obtienen para distintos órdenes del modelo autorregresivo (AR) (20, 30, 40 y 50) para la serie temporal de velocidad oscilatoria transversal registrada a las 12:00 horas del 24 de octubre correspondiente al nivel 3 del TRÍPODE 1.



**Figura 4–9.** Densidades espectrales obtenidas para distintos órdenes del modelo autorregresivo (AR). Serie temporal de velocidad registrada a las 12:00 horas del 24 de octubre en el nivel superior del TRÍPODE 1.  $0 < f < 0.5$  Hz. Escala logarítmica.

Como puede observarse, en función del orden del modelo autorregresivo se producen dos tipos de variaciones: la primera de ellas es la aparición de picos secundarios entorno del pico principal en las altas frecuencias (desdoblamiento). Este fenómeno se aprecia prácticamente en todos los bursts analizados a medida que se aumenta el orden del modelo autorregresivo, sobretodo cuando se supera cierto orden. La segunda variación que se observa es la aparición de un pico en las bajas frecuencias de muy pequeño contenido energético en comparación con el resto de las frecuencias. A diferencia de la primera, ésta variación sólo se produce en ciertos bursts.

En vista a las anteriores consideraciones se ha decidido adoptar un orden del modelo autorregresivo bajo para la determinación del periodo de pico ( $T_p$ ), el cual se obtiene a partir de la frecuencia con mayor densidad espectral asociada. El orden que finalmente se ha adoptado ha sido 20.

La altura de ola significativa ( $H_s$ ) se calcula a partir del área encerrada bajo la densidad espectral (*i. e.* varianza de la serie temporal), tomando la raíz cuadrada y multiplicando el valor obtenido por 4.04. Además, se ha aplicado un coeficiente corrector (1.25) para tener en cuenta las desviaciones entre las medidas y las hipótesis adoptadas.

Para el resto de variables utilizadas en el análisis de los flujos de agua (*e. g.* intensidad del viento, presión atmosférica, corrientes, etc.), las respectivas densidades espectrales

se han calculado adoptando un orden del modelo autorregresivo variable en función de la calidad de los resultados obtenidos. Sin embargo, se ha intentado mantener el mismo orden para variables del mismo tipo (*i.e.* dirección del viento, intensidad del viento, presión atmosférica, nivel medio del mar, velocidad de las corrientes, etc.). En la Tabla 4–2 se presentan los distintos órdenes utilizados para cada una de las variables analizadas.

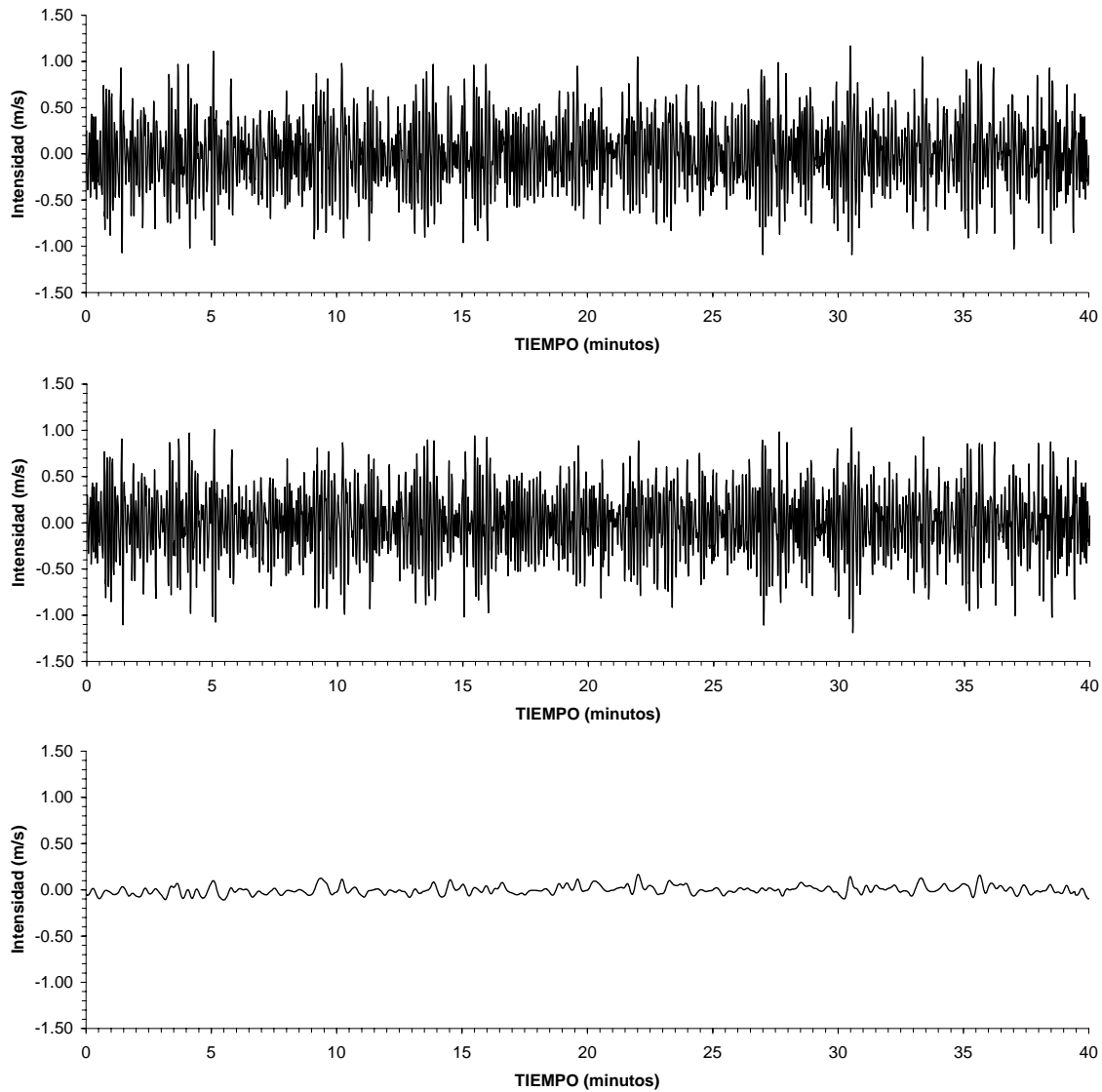
**Tabla 4–2.** Órdenes de los modelos autorregresivos utilizados para las distintas variables analizadas.

VARIABLE	ORDEN DEL MODELO AUTORREGRESIVO	
	TRÍPODE 1	TRÍPODE 2
Dirección viento Casablanca		20
Intensidad viento Casablanca		20
Presión atmosférica Casablanca		20
MWL	20	20
Dirección oleaje	32	32
H <sub>m0</sub>	26	26
Corriente longitudinal nivel 3	30	34
Corriente transversal nivel 3	30	24
Corriente longitudinal nivel 2		30
Corriente transversal nivel 2		26
Dirección corriente nivel 3	36	36
Dirección corriente nivel 2		36

Para caracterizar los *movimientos gravitatorios e infragravitatorios* durante el periodo del temporal de Llevant (12:00 horas del 20 de octubre a 6:00 horas del 26 de octubre) se han determinado las siguientes características: energía (varianza), periodos asociados, asimetría y grupicidad del oleaje. El análisis se ha aplicado a las series temporales de velocidades oscilatorias (*e.g.* restando la media temporal) transversal y longitudinal obtenidas en el nivel 3 de ambos trípodes.

Para obtener la componente del campo de velocidades oscilatorio asociado a las altas y bajas frecuencias se ha aplicado un filtro tipo Kaiser-Reed (1977), adaptado a la frecuencia de muestreo (*i.e.* 2 Hz), para separar la señal de velocidad oscilatoria total en una componente asociada a los movimientos infragravitatorios (ondas largas) y otra componente asociada a los movimientos gravitatorios (oleaje). La frecuencia de corte que se ha adoptado a sido de 0.04 Hz (25 s). Un ejemplo del resultado que se obtiene se presenta en la Figura 4–10.

Calculando las densidades espectrales de la componente de alta y baja frecuencia, adoptando un orden del modelo autorregresivo de 50, se observa que se produce una transferencia de energía de las bajas a las altas frecuencias respecto a la energía detectada en la densidad espectral de la serie de velocidad oscilatoria total. Este fenómeno se debe a la eficiencia del filtro utilizado para separar la señal original. Por este motivo, la energía y periodo asociado a la componente infragravitatoria se han determinado a partir de las densidades espectrales correspondientes a las series de velocidades oscilatorias totales con un orden del modelo autorregresivo de 50 (ver Figura 4–11). La elección de este orden se basa en las consideraciones expuestas anteriormente.



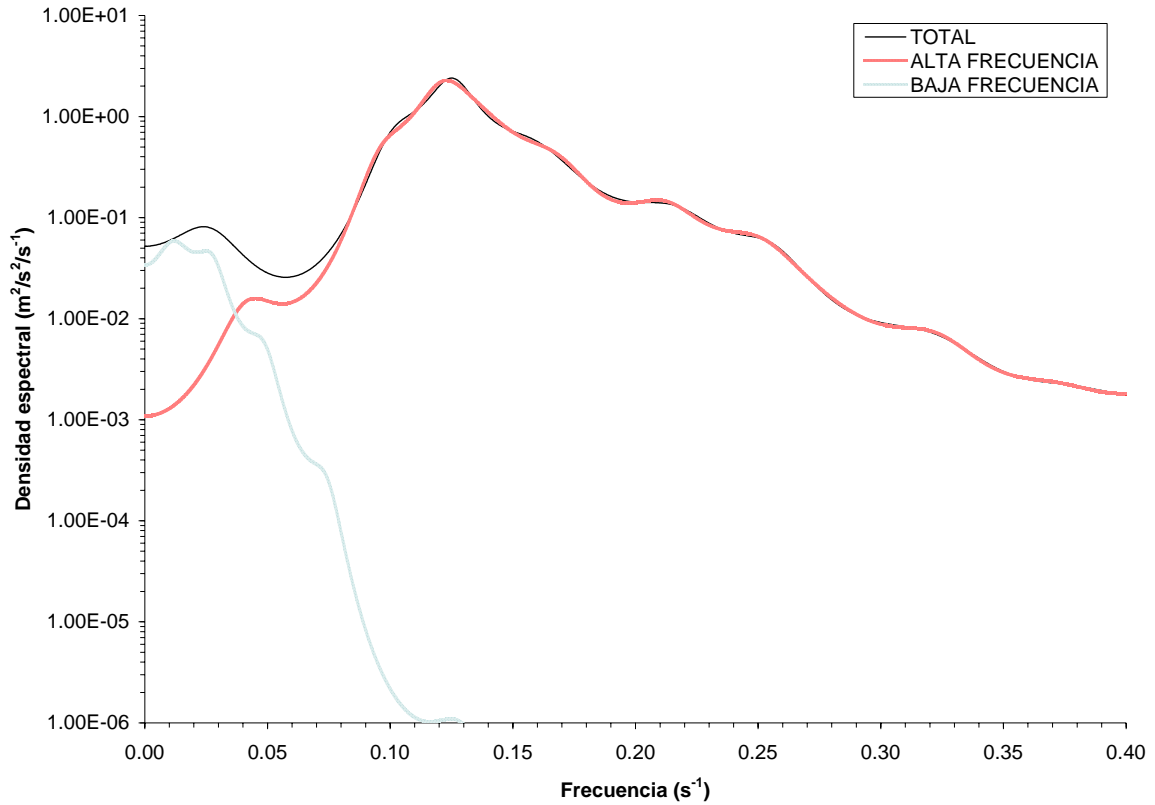
**Figura 4–10.** Ejemplo de resultado de la aplicación del filtro tipo Kaiser-Reed a una serie temporal de velocidad oscilatoria. Frecuencia de corte 0.04 Hz. De arriba abajo: (1) Serie temporal de velocidad oscilatoria total, (2) Serie temporal de velocidad oscilatoria asociada a los movimientos gravitatorios, (3) Serie temporal de velocidad oscilatoria asociada a los movimientos infragravitatorios.

La energía asociada a los movimientos infragravitatorios (varianza) se ha calculado a partir del área encerrada bajo la densidad espectral de la serie de velocidad oscilatoria total entre  $0.003 < f < 0.04$  Hz. El periodo que se ha asociado a esta banda corresponde a la frecuencia con la máxima densidad espectral. De igual modo, la energía asociada a los movimientos gravitatorios se ha obtenido a partir del área encerrada bajo la densidad espectral de la serie de velocidad oscilatoria total entre  $0.04 < f < 1$  Hz.

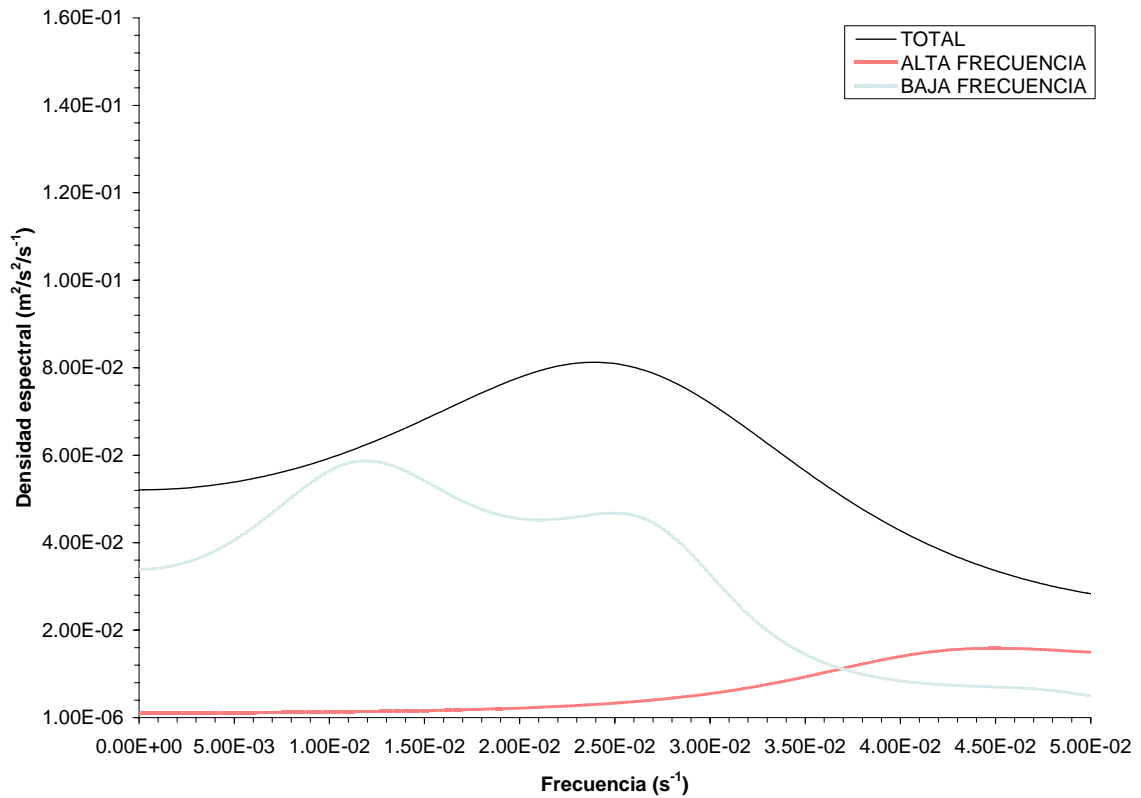
La  $U_{rms}$  se ha obtenido a partir de la desviación típica del módulo de la velocidad oscilatoria y multiplicando el valor obtenido por la raíz de 2 ( $(2)^{1/2} \cdot \sigma$ ).

La *asimetría de la onda* se ha calculado, tanto en la componente transversal como longitudinal, como la media temporal de la velocidad oscilatoria elevada al cubo ( $\langle U^3 \rangle$ ).





**Figura 4-11.** Densidades espectrales correspondientes al campo de velocidades oscilatorio total ( $U_{total}$ ), de alta frecuencia ( $U_{high}$ ) y baja frecuencia ( $U_{low}$ ) para  $0 < f < 0.4$  Hz. Orden de los modelos autorregresivos: 50. Serie temporal de velocidad registrada a las 9:00 horas del 24 de octubre en el nivel superior del TRIPODE 1. Escala logarítmica.



**Figura 4-12.** Densidades espectrales correspondientes al campo de velocidades oscilatorio total ( $U_{total}$ ), de alta frecuencia ( $U_{high}$ ) y baja frecuencia ( $U_{low}$ ) para  $0 < f < 0.05$  Hz. Orden de los modelos autorregresivos: 50. Serie temporal de velocidad registrada a las 9:00 horas del 24 de octubre en el nivel superior del TRIPODE 1.

Posteriormente, las series de velocidades correspondientes a los movimientos de alta frecuencia han sido tratadas con el programa *Envolver* (Jiménez, 2002) para hallar su envolvente. La *envolvente* se calcula aplicando a la serie de velocidades oscilatoria gravitatoria la transformada de Hilbert calculada mediante un filtro en el dominio del tiempo cuyos coeficientes son los obtenidos por Rabiner y Schafer (1974) para la transformada de Hilbert. Un ejemplo del resultado que se obtiene se presenta en la Figura 4–13.

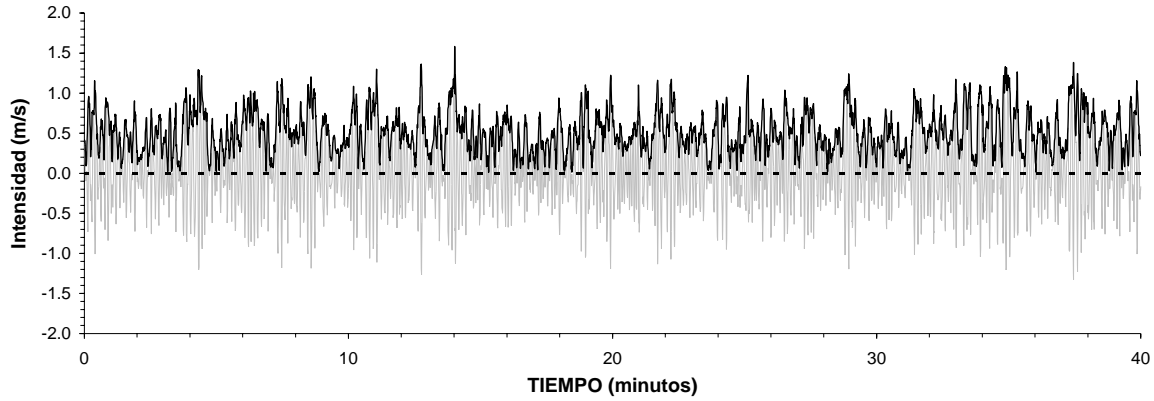


Figura 4–13.. Serie temporal de velocidad oscilatoria de alta frecuencia (línea gris) y su respectiva envolvente (línea negra). Serie registrada a las 6:00 horas del 24 de octubre en el nivel superior del TRÍPODE 1.

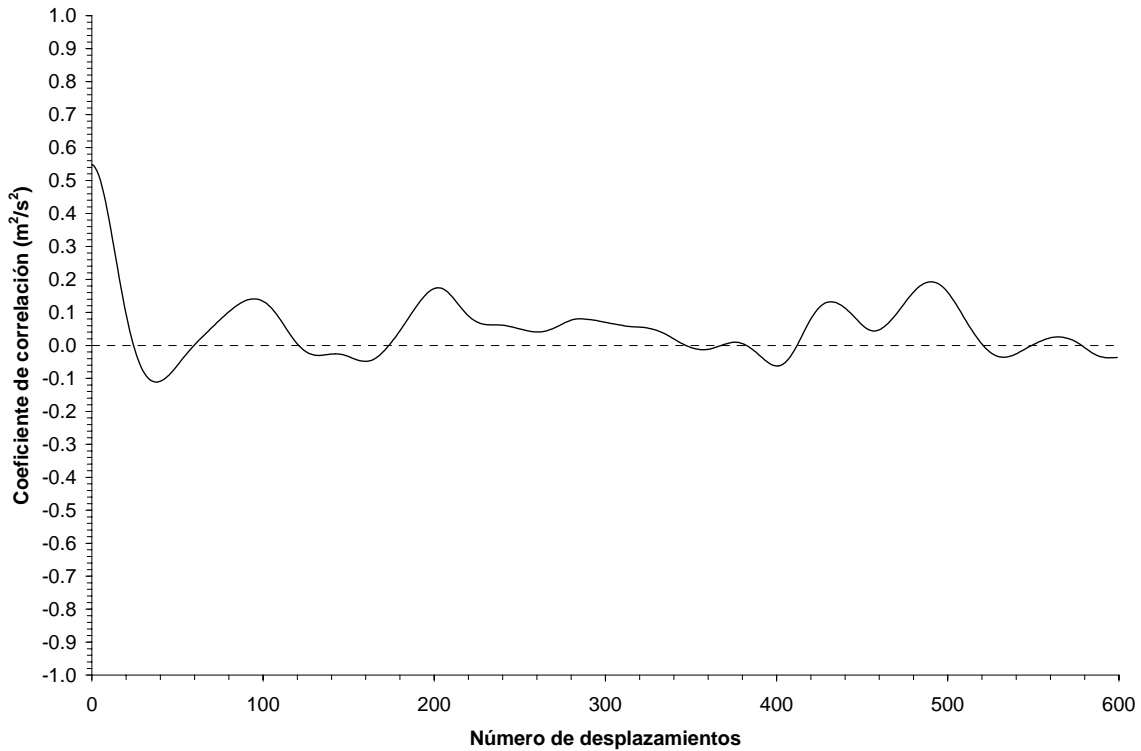


Figura 4–14. Coeficientes de correlación obtenidos entre la serie de velocidad oscilatoria infragravitatoria y la envolvente de los movimientos de alta frecuencia. Número máximo de desplazamientos: 600. Serie temporal de velocidad registrada a las 6:00 horas del 24 de octubre en el nivel superior del TRÍPODE 1.

Para saber si las oscilaciones de largo periodo están o no relacionadas con las de alta frecuencia, con la envolvente obtenida se mira la correlación lineal de ésta con la serie temporal de velocidades oscilatorias infragravitatorias desfasando ambas series con incrementos de 0.5 s (*i.e.* desplazamiento hacia delante en el tiempo de la envolvente de velocidades oscilatoria gravitatoria) (ver Figura 4–14).