

# ESTUDIOS CORRENTOMETRÍA EULERIANA PUNTA FUERTE- CALDERA III REGION DE ATACAMA

Elaborado por:



GeoMar Ingeniería  
5 Norte 937, oficina 101, Viña del Mar  
Viña del Mar, Chile.

ENERO 2011

## CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1	GENERALIDADES .....	4
2	ANALISIS DE CORRENOMETRÍA EULERIANA.....	6
2.1	Capa Fondo (a 21 m bajo la superficie).....	6
2.2	Capa Media (a 13 m bajo la superficie) .....	12
2.3	Capa Superficial (a 5 m bajo la superficie) .....	18
3	VIENTO .....	24
3.1	Materiales y Métodos .....	24
3.2	Resultados .....	25
4	MAREAS (ADCP).....	29
4.1	Resultados .....	29
5	CORRELACIÓN CRUZADA.....	31
6	CORRIENTES RESIDUALES .....	36
7	CONCLUSIONES.....	43

## 1. INTRODUCCIÓN

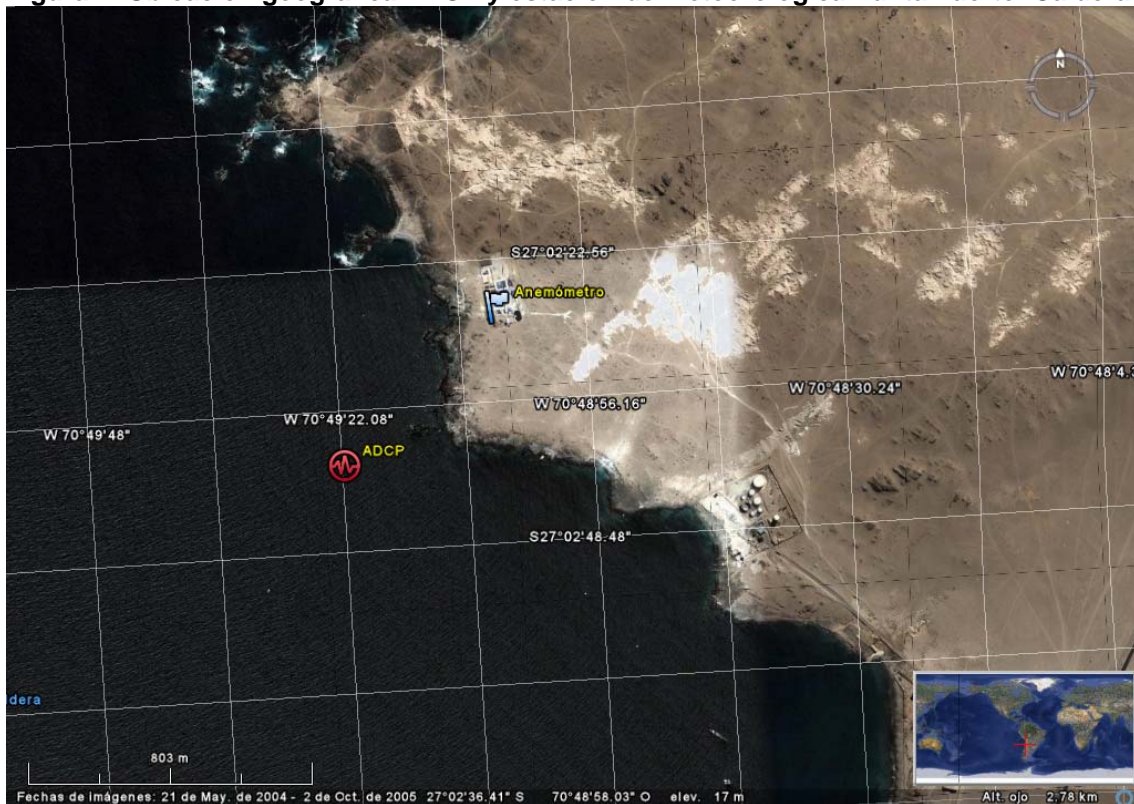
El presente informe contiene los resultados de la campaña de mediciones de correntometría Euleriana Marea y viento en el sector de Punta Fuerte-Caldera. Esta información ha sido sometida a un análisis estadístico a modo de obtener su comportamiento general y de este modo describir los patrones de mayor importancia de la corriente.

Toda la información utilizada corresponde a la campaña de terreno realizada por Geomar Ingeniería.

## 1.1 GENERALIDADES

Para realizar el estudio de Corriente Euleriana, marea y registro de vientos en el sector de Punta Fuerte se dispone de mediciones realizadas entre 09/Agosto/2008 y el 09/Septiembre/2008 a cargo de la empresa GEOMAR Ingeniería.

**Figura 1: Ubicación geográfica ADCP y estación de meteorológica Punta Fuerte- Caldera**



### Materiales y Métodos

Las mediciones se realizaron mediante el anclaje (fondeo) de un ADCP, Nortek modelo Continental y una estación de viento, la cual corresponde a un modelo 5013-5 marca Young, instalados en las siguientes coordenadas:

**Cuadro 1: Ubicación de los instrumentos (ADCP y Anemómetro).**

Estación	Coord. Norte	Coord. Este	Latitud	Longitud
ADCP	7.007.267	319.208	27° 02' 42.19"	70° 49' 21.96"
Anemómetro	7.007.670	319.661	27° 02' 28.6"	70° 49' 05.31"

El ADCP fue instalado en el veril 25 metros (app) con respecto al Nivel de Reducción de Sondas (NRS) (Figura 1). Este instrumento fue programado para medir y recolectar la información de dirección y magnitud de las corrientes a intervalos de 10 minutos, posibilitándose la emisión de series de tiempo horarias.

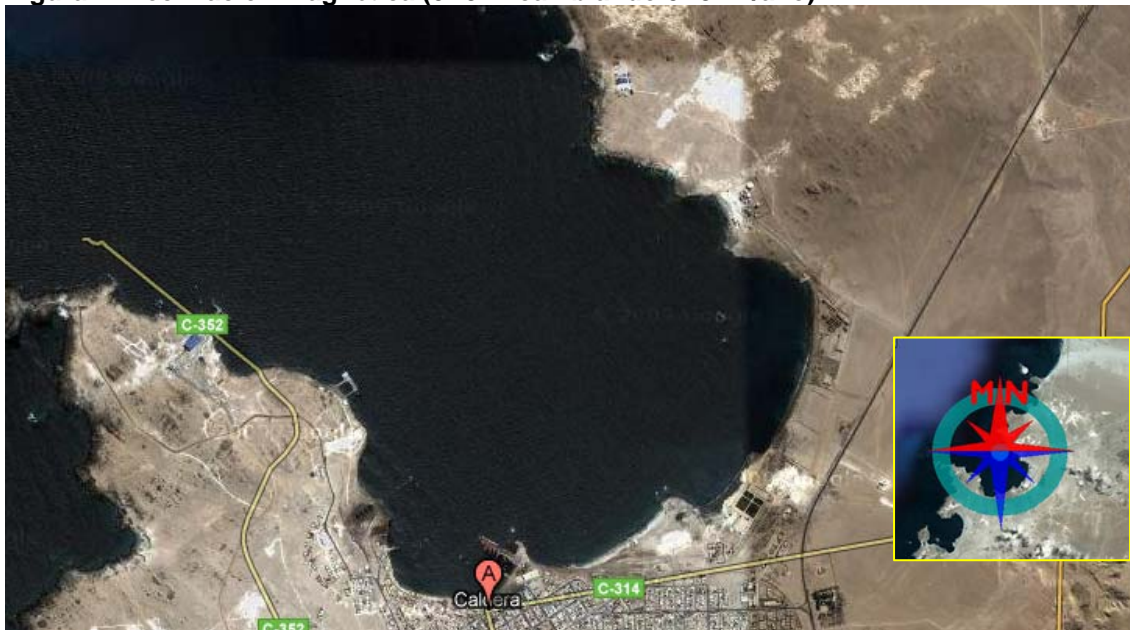
Del mismo modo el Anemómetro registra magnitudes medias y dirección media a intervalos de 10 minutos, posibilitando la emisión de serie de tiempo horaria

Una vez finalizado el período de mediciones, la información almacenada en las memorias sólidas de los instrumentos fue recuperada mediante el empleo de un computador e interfaces electrónicas conectadas a ellos.

Las mediciones cubrieron períodos de sicigia y cuadratura lunar (30 días de registro continuo)

Los registros de la dirección de las corrientes son referidos originalmente al norte magnético, sin embargo para el análisis de la información, la dirección es referida al norte geográfico, empleándose para tal efecto, la corrección de desviación magnética local, calculada utilizando el modelo geo-magnético del National Geophysical Data Center  
Figura 2

Figura 2: Declinación magnética ( $0^{\circ} 5' E$  cambiando  $0^{\circ} 9' W/año$ )



La información de corrientes fue sometida a un análisis estadístico de frecuencias por rangos de dirección y magnitud para una rosa de 8 direcciones. También fue procesada, obteniéndose valores horarios a los cuales se les calculó las componentes ortogonales (**Anexo A, Corrientes Horarias Caldera**). Con esta información se construyeron diagramas de dispersión, trazos, vector progresivo (DVP).

Posteriormente, a las series horarias se les realizó un análisis de tipo espectral (12 grados de libertad y 95% de confianza), se correlacionó con los datos de viento y marea (correlación cruzada) y se realizó una extrapolación de corrientes extremas en base a proyecciones de probabilidad del tipo Gumbel.

## 2 ANALISIS DE CORRENOMETRÍA EULERIANA

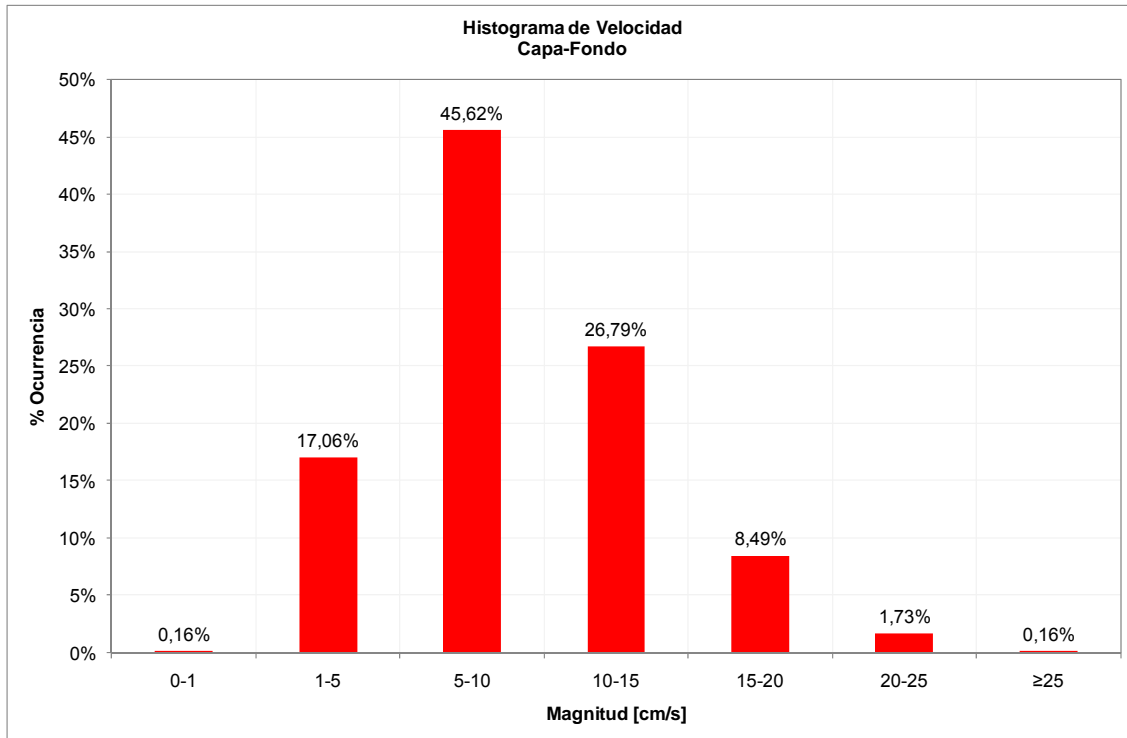
### 2.1 Capa Fondo (a 21 m bajo la superficie).

Las corrientes observadas en esta capa presentaron una incidencia direccional asociadas al 1er y 2do cuadrante (Figura 4 y Figura 5), direcciones E (27.24 %), NE (20.40%) y SE (19.42%). En términos de magnitudes las mayores frecuencias se observan en el rango de 5 a 10 cm/s (45.62%) seguida de 10 a 15 cm/s (26.79%), la máximas velocidades se registraron de la componente SE con una velocidad de 27.93 cm/s, seguido de la componente E con una velocidad de 27.27 cm/s (Figura 3), siendo la velocidad media registrada durante este periodo de 9.11 cm/s.

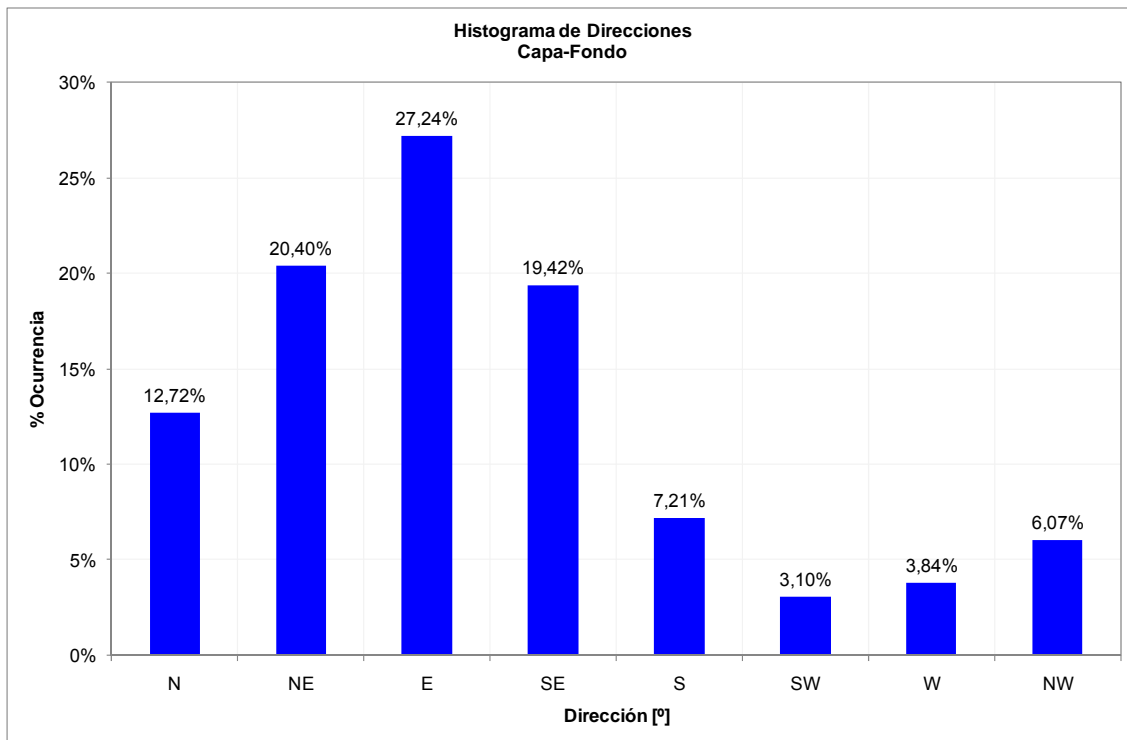
**Cuadro 2: incidencia de corrientes velocidad v/s dirección. Capa de fondo a 21 m bajo la superficie.**

Magnitud [cm/s]	Dirección [°]								Total % Ocurrencia
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
0-1	2	1	3		1				0.16%
1-5	117	115	137	110	98	55	65	62	17.06%
5-10	277	455	507	347	157	62	89	136	45.62%
10-15	130	261	388	269	51	19	16	58	26.79%
15-20	33	66	147	106	12	2	1	11	8.49%
20-25	6	9	29	28	2			3	1.73%
≥25	1	1	1	4					0.16%
Nº Datos	566	908	1212	864	321	138	171	270	4450
% Dirección	12.72%	20.40%	27.24%	19.42%	7.21%	3.10%	3.84%	6.07%	100.00%
Vel. Media	8.41	9.24	10.09	10.13	7.29	6.39	6.21	7.82	9.11
Vel. Máxima	25.99	26.31	27.27	27.93	22.06	16.92	15.71	24.04	27.93
Desvest	4.15	3.88	4.56	4.75	3.81	3.34	2.91	3.76	4.39

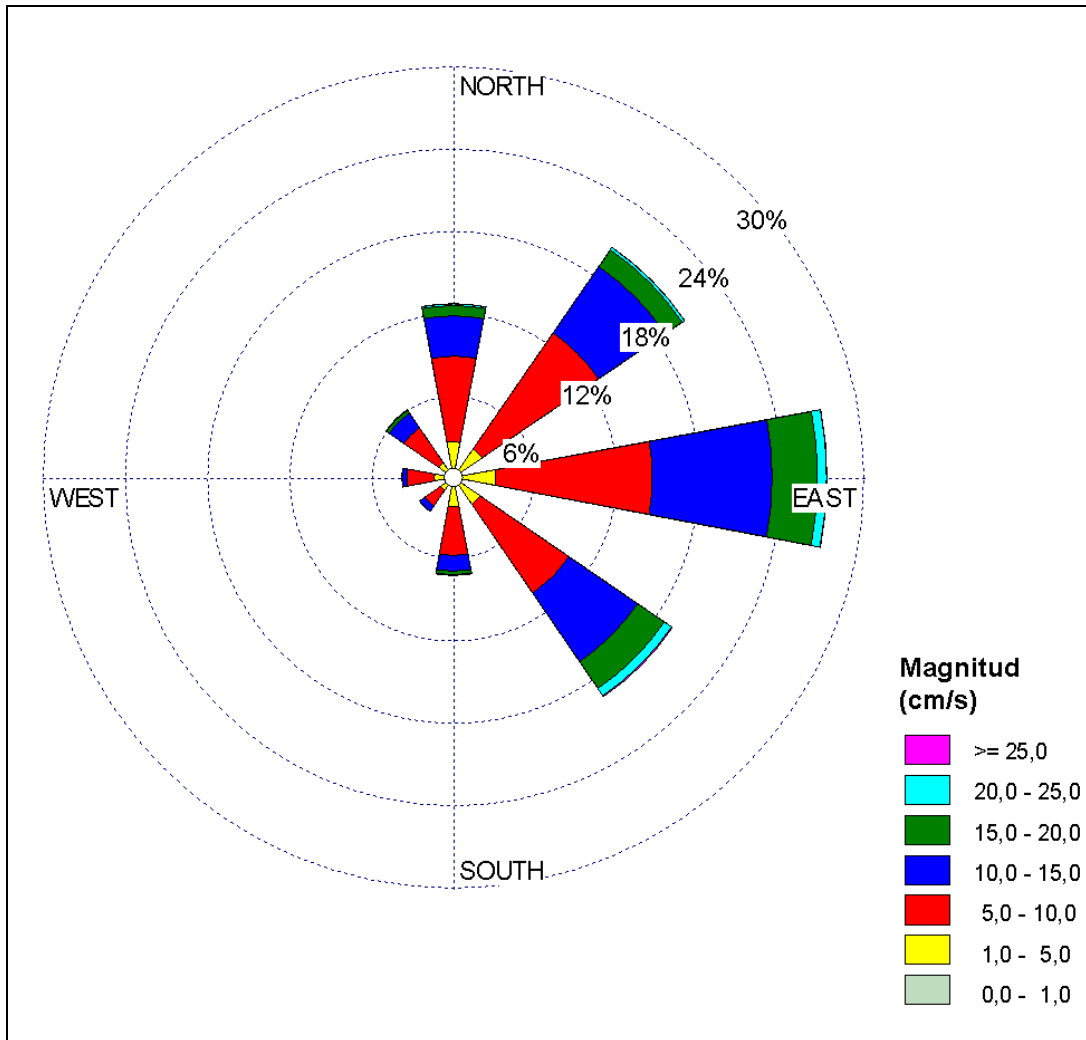
**Figura 3: Distribución de frecuencia de la magnitud de las corrientes de Fondo a 21 m bajo la superficie.**



**Figura 4: Distribución de frecuencia de la dirección de las corrientes de Fondo 21 m bajo la superficie.**



**Figura 5: Rosa de corrientes de Fondo medidas a 21 m bajo la superficie**



Para analizar las corrientes como serie de tiempo, éstas fueron reducidas a series horarias, calculándose las respectivas componentes ortogonales. Así se definen las componentes U y V de la siguiente manera:

Componente U : Weste – Este, positiva si el flujo va hacia el Este.  
 Componente V : Sur – Norte, positiva si el flujo va hacia el Norte.

Para las series de tiempo de componentes ortogonales, se obtuvieron los estadísticos básicos (mínimo, máximo, promedio y desv. estándar) (Cuadro 3).

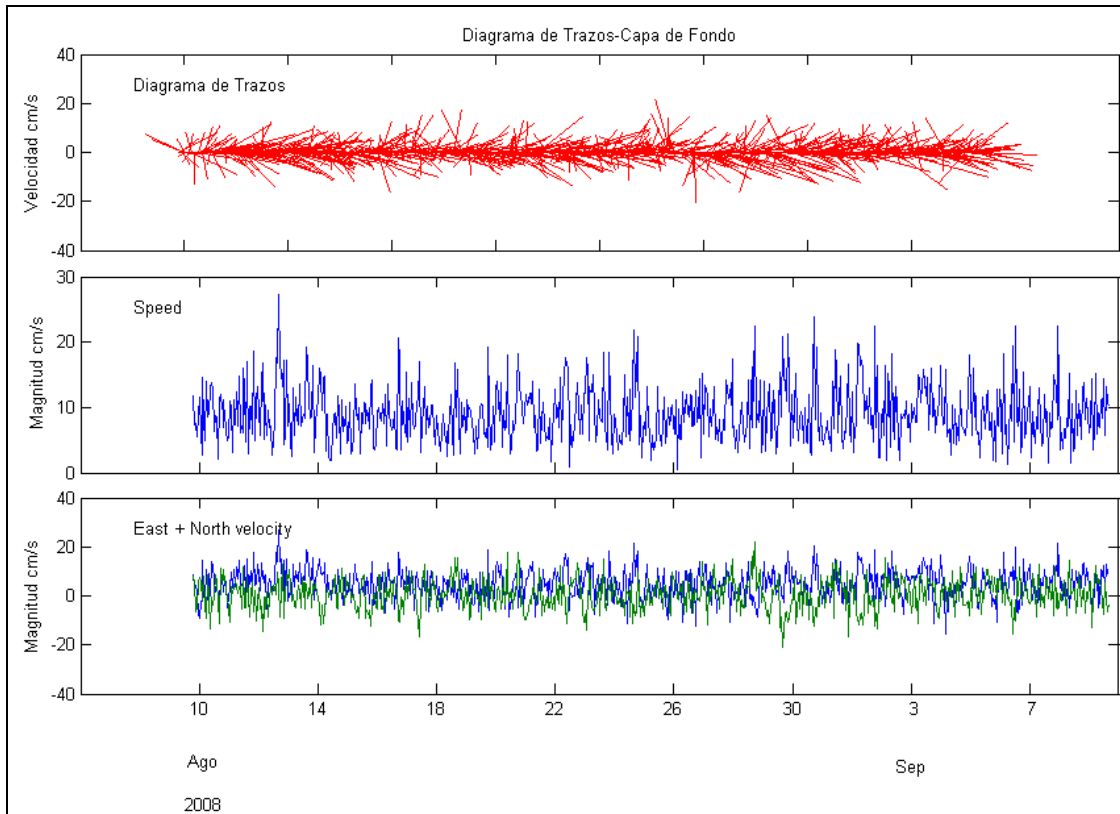
**Cuadro 3: Estadística básica de las componentes ortogonales U y V (cm/s)-Capa Fondo**

Componentes Ortogonales	Mínimo [cm/s]	Máximo [cm/s]	Promedio [cm/s]	Desv St [cm/s]
U (weste-este)	-15.67	26.81	4.90	6.01
V (norte-sur)	-20.83	22.16	0.66	6.32



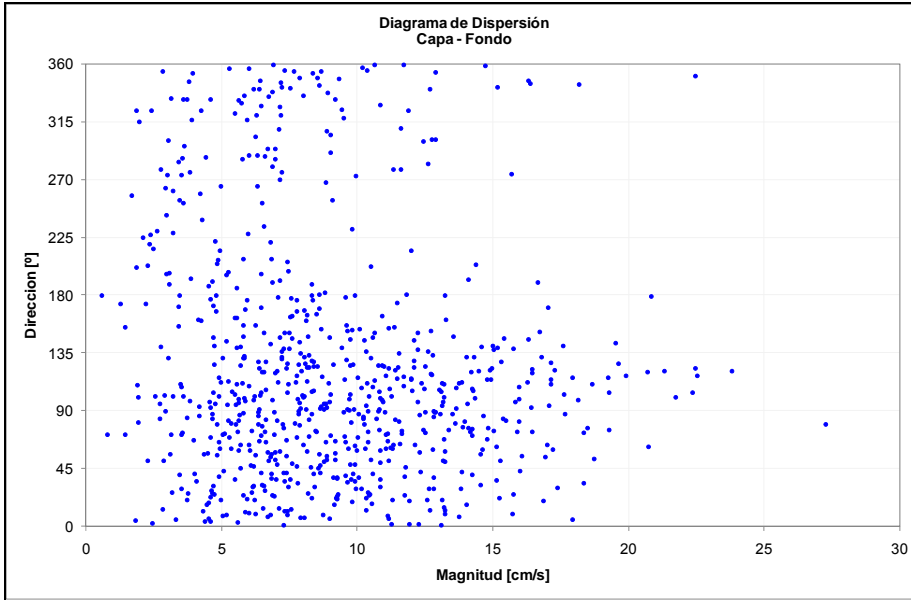
A partir del análisis del diagrama de trazos de las corrientes que se muestran en la Figura 6 y los resultados de los estadísticos (Cuadro 3) de las componentes ortogonales, se observó que las corrientes de fondo tienden a fluir hacia el 1er cuadrante, dirección E-NE aproximadamente, (componentes promedio U y V positivos, siendo U de mayor intensidad).

**Figura 6: Diagrama de trazos de velocidad de la corriente (panel superior), magnitud de la corriente (panel central) y componentes ortogonales de las corrientes de la capa de fondo a 20 m bajo la superficie U (azul) y V (verde), Punta Fuerte- Caldera 09 de Agosto al 9 de Septiembre del 2008**

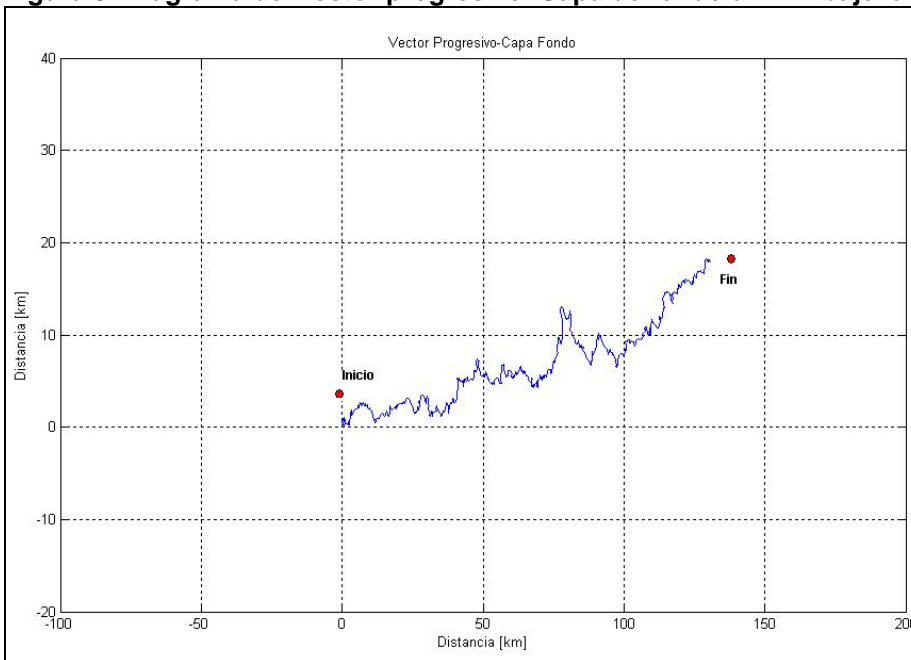


Para explicar el comportamiento de una partícula en el agua se construyó un diagrama de dispersión y vector progresivo (Figura 7 y Figura 8). Lo cual evidencia que la dirección de la corriente se presenta principalmente en el 1er y 2do cuadrante (Diagrama de dispersión), el diagrama de Vector progresivo muestra que la tendencia de la corriente adopta un flujo direccional hacia el E-NE. Durante los días de medición, se estima que una partícula se desplazaría aproximadamente 141 Km en dirección E-NE, con una velocidad estimada del orden de 4.7 Km/día, (considerando un periodo de medición de 30 días corridos)

**Figura 7: Diagrama de dispersión de las corrientes. Capa media a 21 m bajo la superficie.**

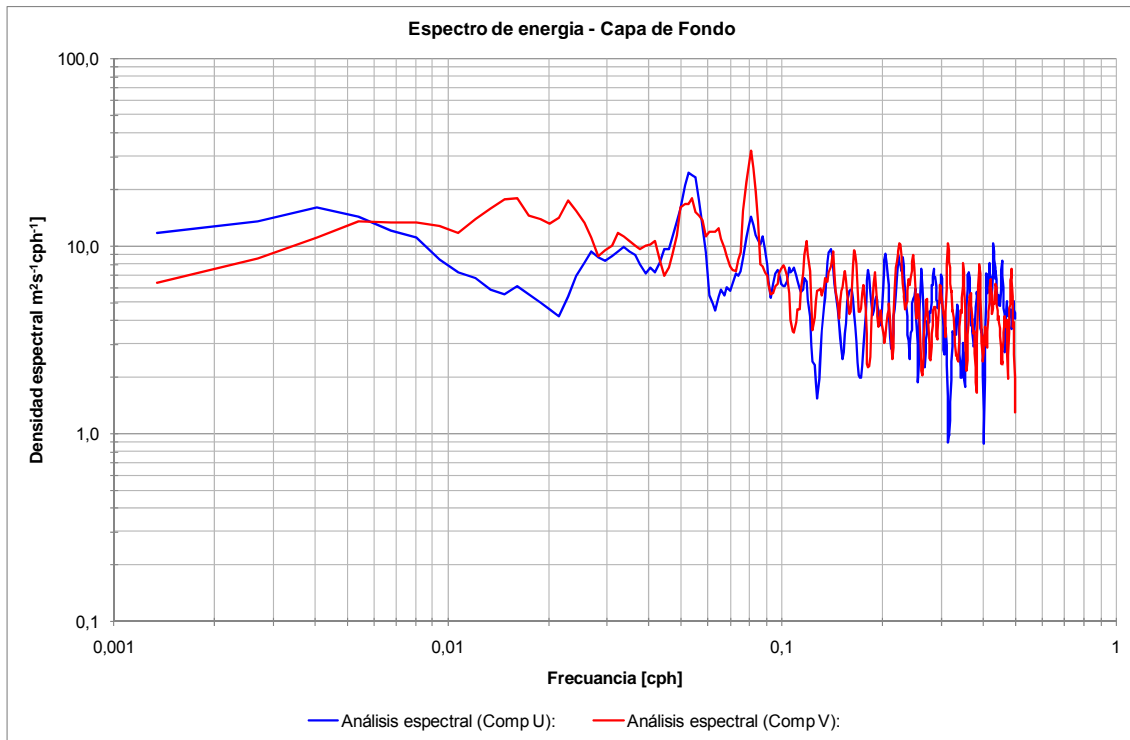


**Figura 8: Diagrama del vector progresivo. Capa de fondo a 21 m bajo la superficie.**



Para determinar el comportamiento de la corriente en el dominio de la frecuencia, se aplicó un análisis estadístico a nivel espectral. Este análisis permitió determinar la cantidad de energía (densidad espectral) que se encuentra asociada a las distintas bandas de frecuencia. Para tales efectos, en el análisis espectral se realizó considerando 12 grados de libertad y un nivel de confianza del 95%.

**Figura 9: espectros de energía de las componentes ortogonales de las series horarias (periodo cada 1 hora), Capa de fondo a 21 m bajo la superficie.**



En la figura de densidad espectral (Figura 9), se observa que la componente U (E-W) y V (N-S) de estas es posible advertir peak significativos en la frecuencias diurnas y semidiurnas 0.04  $cph$  (24 hrs) y 0.08  $cph$  (12.5 hrs).

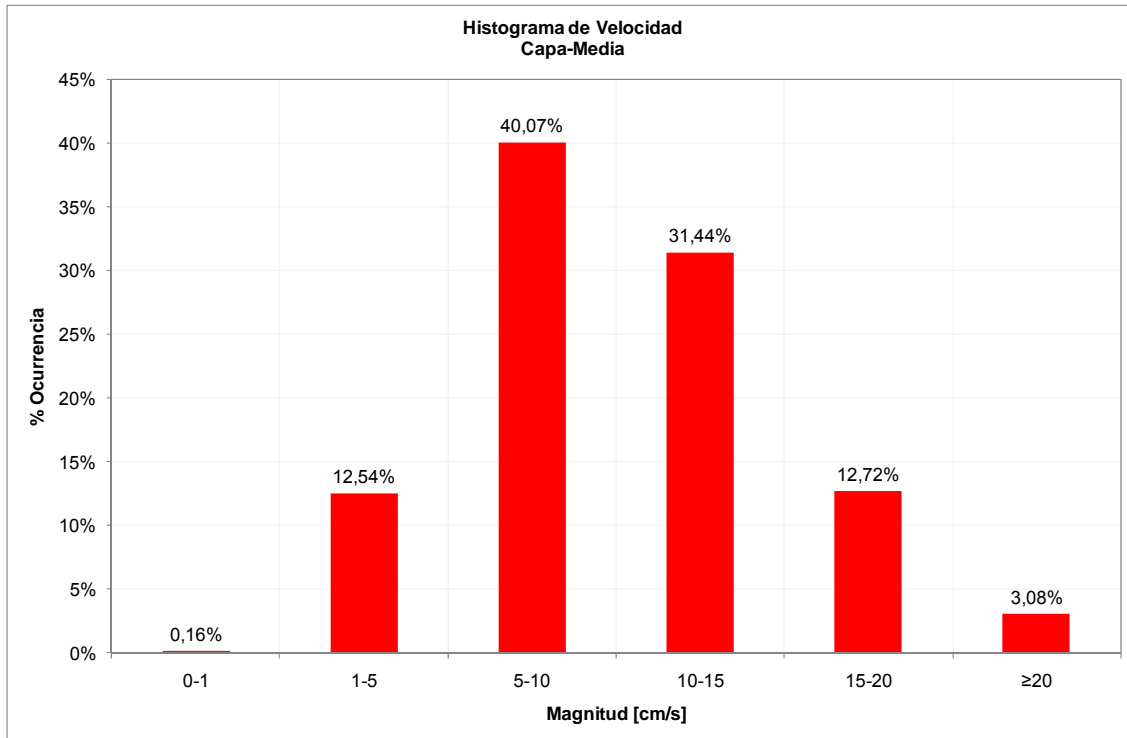
## 2.2 Capa Media (a 13 m bajo la superficie)

Las corrientes observadas en esta capa durante el mismo periodo anterior presentaron similar tendencia direccional (Figura 11 y Figura 12), destacando las componentes del 1er y 2do cuadrante, E (37.08%), SE (25.42%). En cuanto a las magnitudes (Figura 10), estas se agruparon principalmente en el rango de 5 a 10 cm/s (40.07%) y de 10 a 15 cm/s (31.44%), las máximas velocidades de la corrientes se presentaron desde la componente SE con 67.53 cm/s seguido de la componente S con una velocidad de 34.23 cm/s, siendo la velocidad media de la corriente registra durante el periodo de medición de 10.21 cm/s

**Cuadro 4: incidencia de corrientes velocidad v/s dirección. Capa media a 13 m bajo la superficie**

Magnitud [cm/s]	Dirección [°]								Total
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	% Ocurrencia
0-1				1			3	3	0.16%
1-5	75	104	116	91	65	42	25	40	12.54%
5-10	123	382	601	401	146	49	27	54	40.07%
10-15	56	247	607	397	63	14	7	8	31.44%
15-20	13	84	269	181	14	2		3	12.72%
?20		18	57	60	2				3.08%
Nº Datos	267	835	1650	1131	290	107	62	108	4450
% Dirección	6.00%	18.76%	37.08%	25.42%	6.52%	2.40%	1.39%	2.43%	100.00%
Vel. Media	7.67	9.64	11.11	11.46	8.11	6.42	5.98	5.88	10.21
Vel. Máxima	18.50	25.17	27.83	67.53	34.23	17.25	14.53	16.10	67.53
Desvest	3.68	4.27	4.47	5.67	4.13	3.09	3.26	3.08	4.90

**Figura 10: Distribución de frecuencia de la magnitud de las corrientes de Fondo a 13 m bajo la superficie.**



**Figura 11: Distribución de frecuencia de la dirección de las corrientes de Fondo 13 m bajo la superficie.**

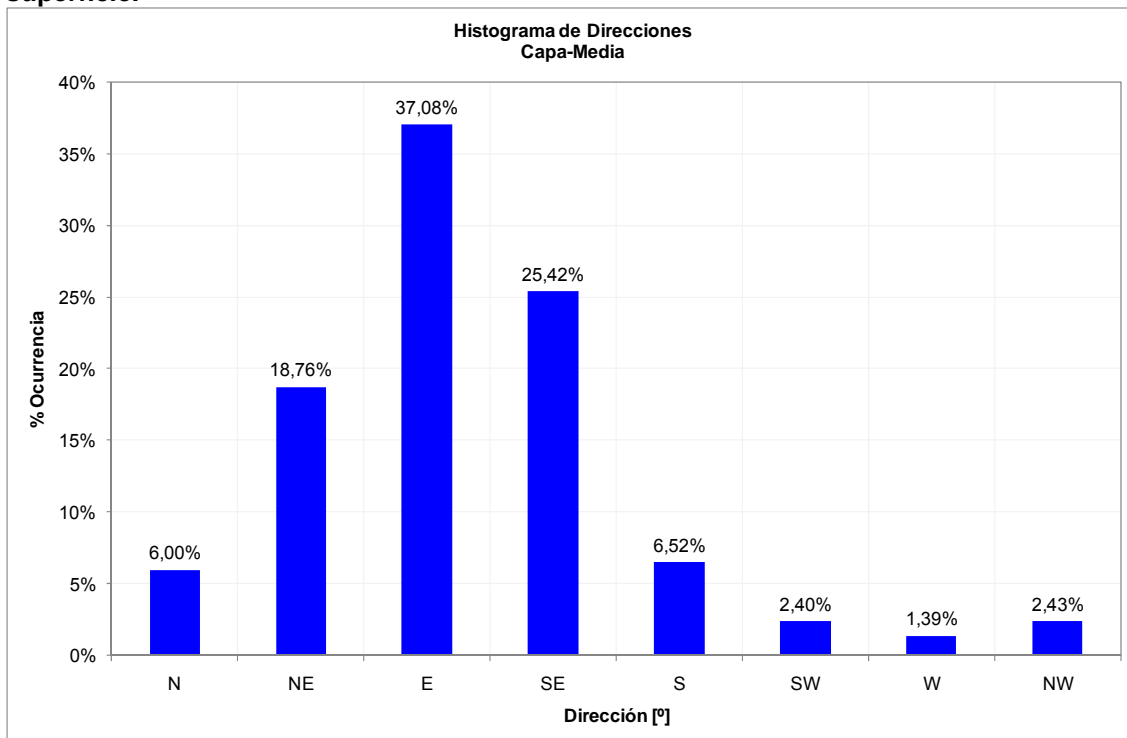
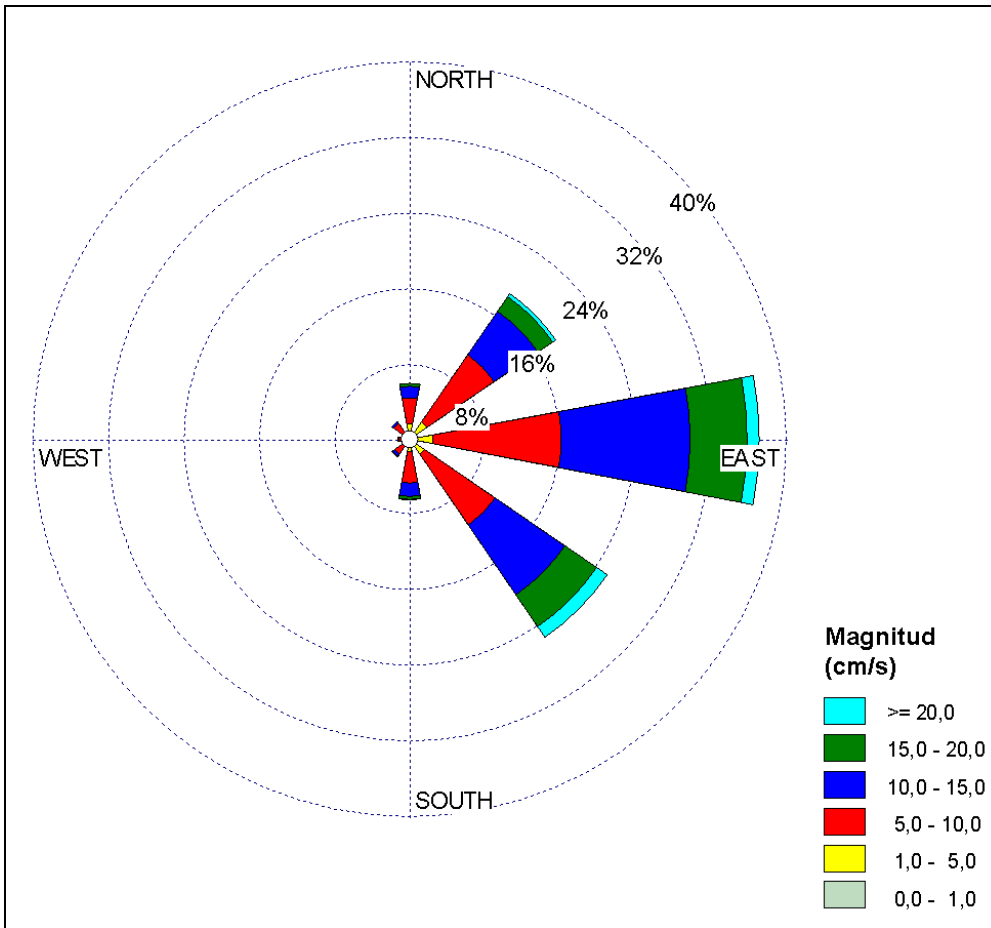


Figura 12: Rosa de corrientes, capa media a 13 m bajo la superficie.



Para analizar las corrientes como serie de tiempo, éstas fueron reducidas a series horarias, calculándose las respectivas componentes ortogonales. Así se definen las componentes U y V de la siguiente manera:

Componente U : Weste – Este, positiva si el flujo va hacia el Este.  
 Componente V : Sur – Norte, positiva si el flujo va hacia el Norte.

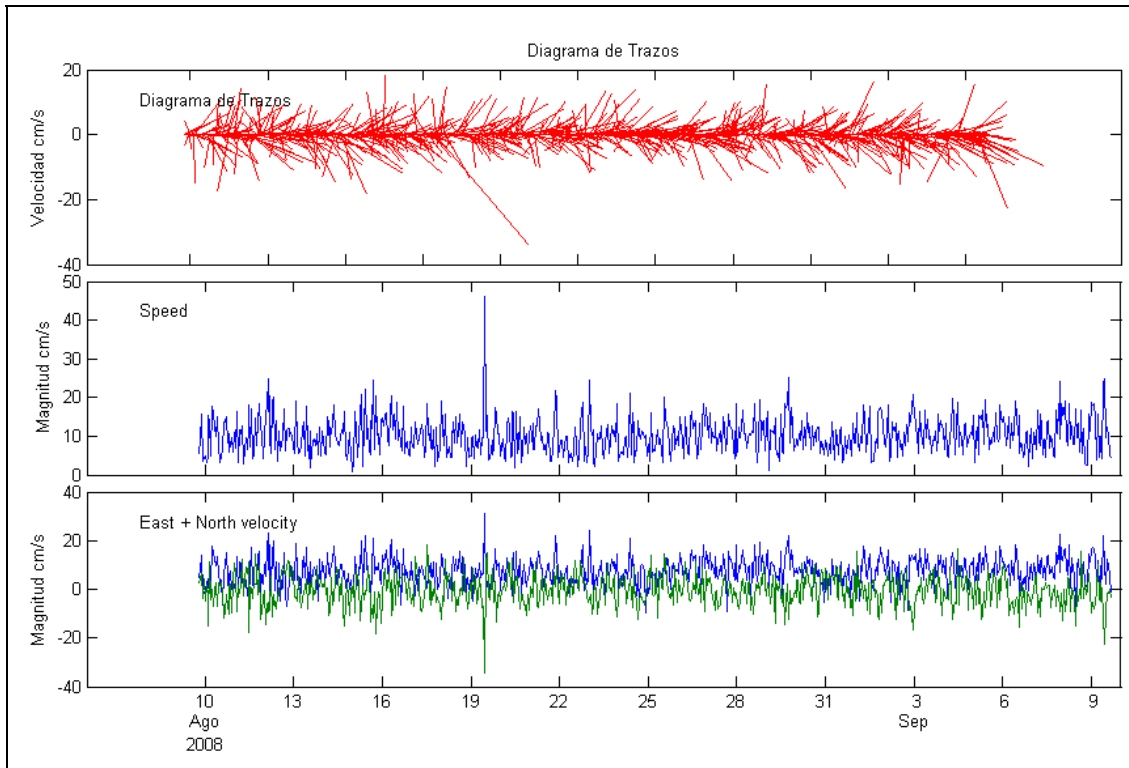
Para las series de tiempo de componentes ortogonales, se obtuvieron los estadísticos básicos (mínimo, máximo, promedio y desv. estándar) (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Cuadro 5: Estadística básica de las componentes ortogonales U y V (cm/s)-Capa Fondo

Componentes Ortogonales	Mínimo [cm/s]	Máximo [cm/s]	Promedio [cm/s]	Desv St [cm/s]
U (weste-este)	-9.81	31.01	7.35	5.73
V (norte-sur)	-34.18	18.43	-0.56	6.31

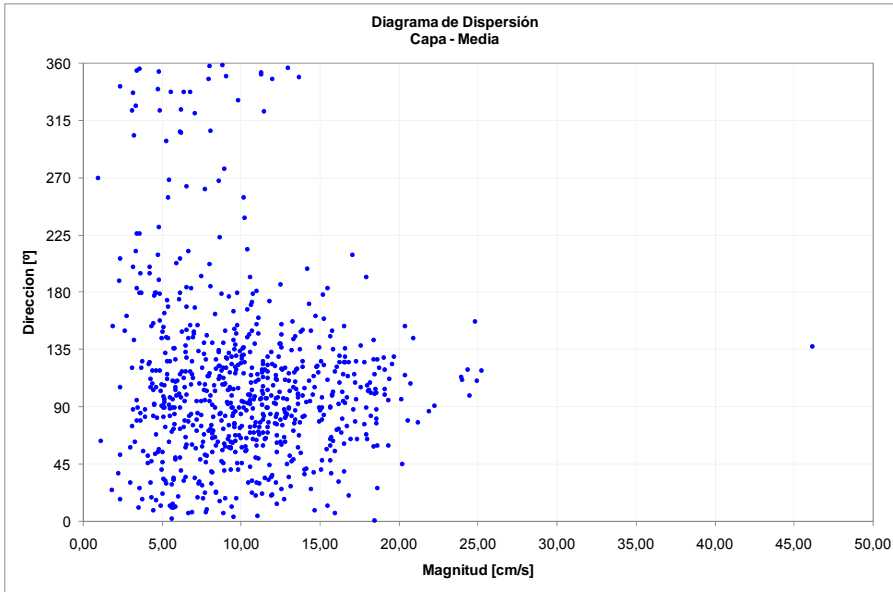
A partir del análisis del diagrama de trazos de las corrientes que se muestran en la Figura 13 y los resultados de los estadísticos (Cuadro 5) de las componentes ortogonales, se observó que las corrientes de la capa media tienden a fluir hacia el 2do cuadrante, dirección E-SE aproximadamente, (componentes promedio U positivo y V negativo, siendo U de mayor intensidad).

**Figura 13: Diagrama de trazos de velocidad de la corriente (panel superior), magnitud de la corriente (panel central) y componentes ortogonales de la corrientes de la capa media a 13 m bajo la superficie U (azul) y V (verde), Punta Fuerte- Caldera 09 de Agosto al 9 de Septiembre del 2008**

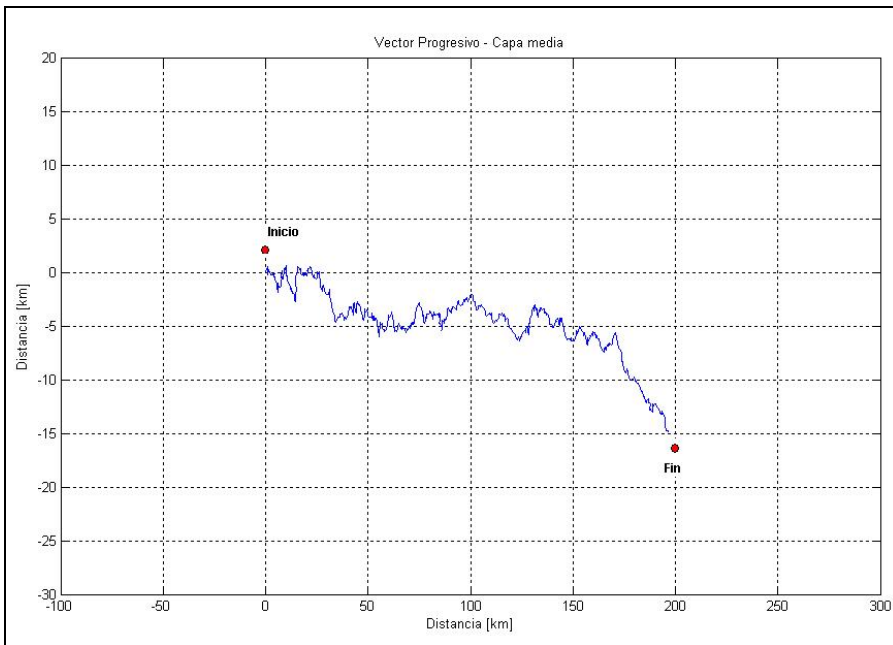


Para explicar el comportamiento de una partícula en el agua se construyó un diagrama de dispersión y vector progresivo (Figura 14 y Figura 15). En esta oportunidad las direcciones tienden a agruparse en torno a la dirección E (Diagrama de dispersión), sin embargo el diagrama de vector progresivo muestra que la tendencia de la corriente adopta sutilmente un flujo direccional hacia el E-SE. Durante los días de medición, se estima que una partícula se desplazaría aproximadamente 190 Km en dirección E-SE, con una velocidad estimada del orden de 6.35 Km/día, (considerando un periodo de medición de 30 días corridos)

**Figura 14: Diagrama de dispersión de las corrientes. Capa media a 13 m bajo la superficie**



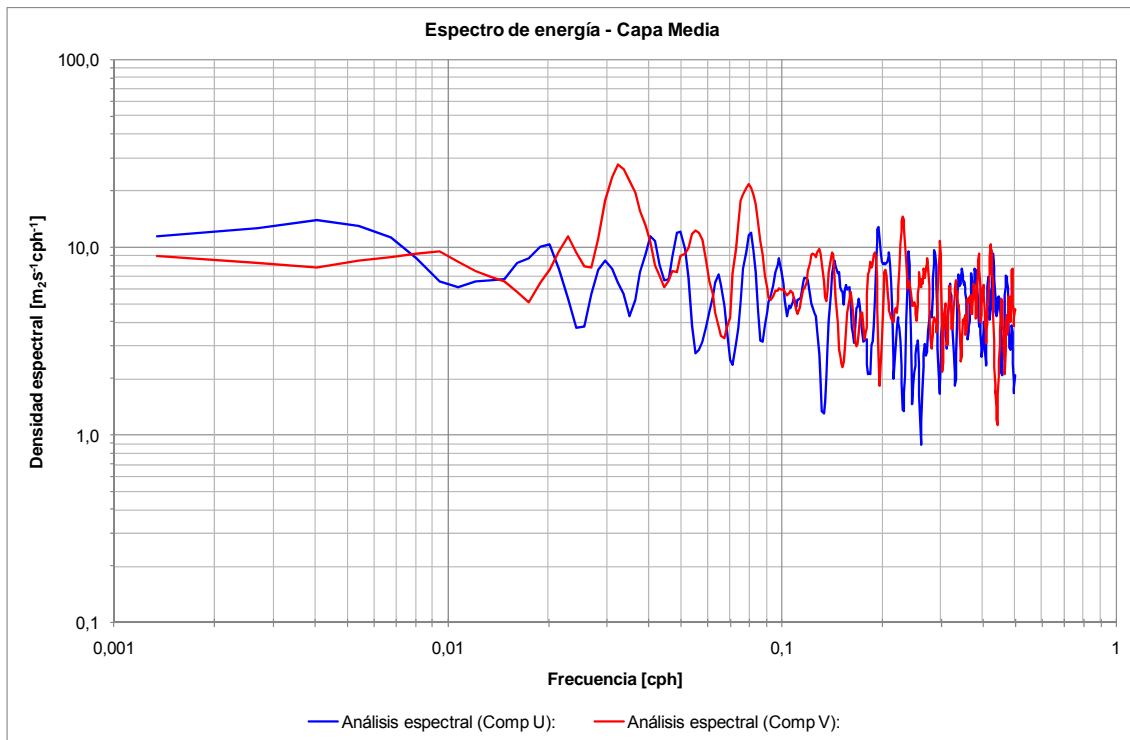
**Figura 15: Diagrama del vector progresivo. Capa media a 13 m bajo la superficie**





Para determinar el comportamiento de la corriente en el dominio de la frecuencia, se aplicó un análisis estadístico a nivel espectral. Este análisis permitió determinar la cantidad de energía (densidad espectral) que se encuentra asociada a las distintas bandas de frecuencia. Para tales efectos, en el análisis espectral se realizó considerando 12 grados de libertad y un nivel de confianza del 95%.

**Figura 16: espectros de energía de las componentes ortogonales de las series horarias (periodo cada 1 hora), Capa media a 13 m bajo la superficie.**



En la figura de densidad espectral de la capa media (Figura 16), se observa una mayor tendencia significativa en torno a la frecuencia semidiurna en ambas componentes,

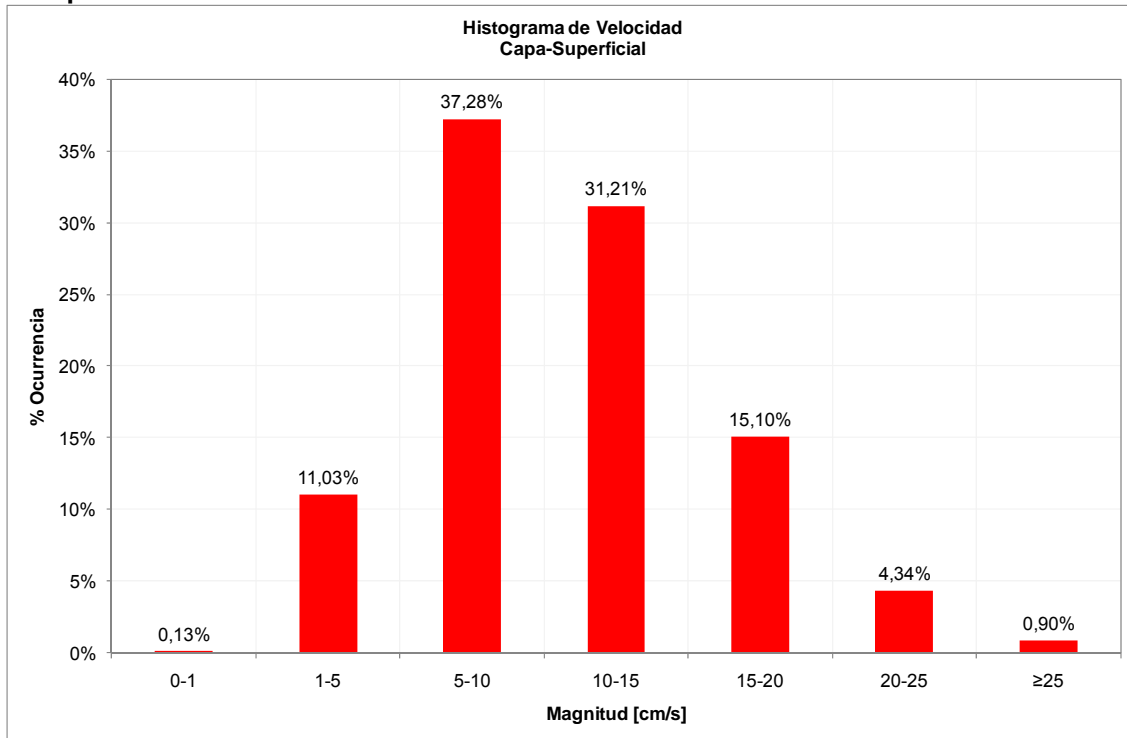
### 2.3 Capa Superficial (a 5 m bajo la superficie)

Finalmente en la capa superficial la tendencia direccional se mantiene, considerando las capas anteriormente evaluadas, direccionalmente las corrientes de mayor frecuencia se presentan principalmente desde el 1er y 2do cuadrante, destacándose las componentes E (33.33%), SE (27.35%) y NE (13.37%). En cuanto a las magnitudes (Figura 17) estas se agruparon principalmente en el rango de 5 a 10 cm/s (37.28%) y de 10 a 15 cm/s (31.21%), las máximas velocidades de la corrientes se presentaron desde la componente SE con un 43.75 cm/s seguido de la componente E con una velocidad de 36.78 cm/s, siendo la velocidad media de la corriente registra durante el periodo de medición de 10.85 cm/s

**Cuadro 6: incidencia de corrientes velocidad v/s dirección. Capa media a 5 m bajo la superficie**

Magnitud [cm/s]	Dirección [°]								Total % Ocurrencia
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
0-1			3		1		2		0.13%
1-5	50	89	87	82	67	42	31	43	11.03%
5-10	131	252	440	403	190	78	87	78	37.28%
10-15	44	177	541	419	108	35	29	36	31.21%
15-20	22	65	312	225	18	10	8	12	15.10%
20-25	6	9	85	75	12	4	1	1	4.34%
≥25	3	3	15	13	4	2			0.90%
Nº Datos	256	595	1483	1217	400	171	158	170	4450
% Dirección	5.75%	13.37%	33.33%	27.35%	8.99%	3.84%	3.55%	3.82%	100.00%
Vel. Media	8.74	9.71	12.24	11.85	9.14	8.40	7.86	8.08	10.85
Vel. Máxima	30.18	28.66	36.78	43.75	26.32	36.15	22.97	20.98	43.75
Desvest	4.92	4.46	5.03	5.30	4.66	5.08	3.94	4.18	5.17

**Figura 17: Distribución de frecuencia de la magnitud de las corrientes de Fondo a 5 m bajo la superficie.**



**Figura 18: Distribución de frecuencia de la dirección de las corrientes de Fondo 5 m bajo la superficie.**

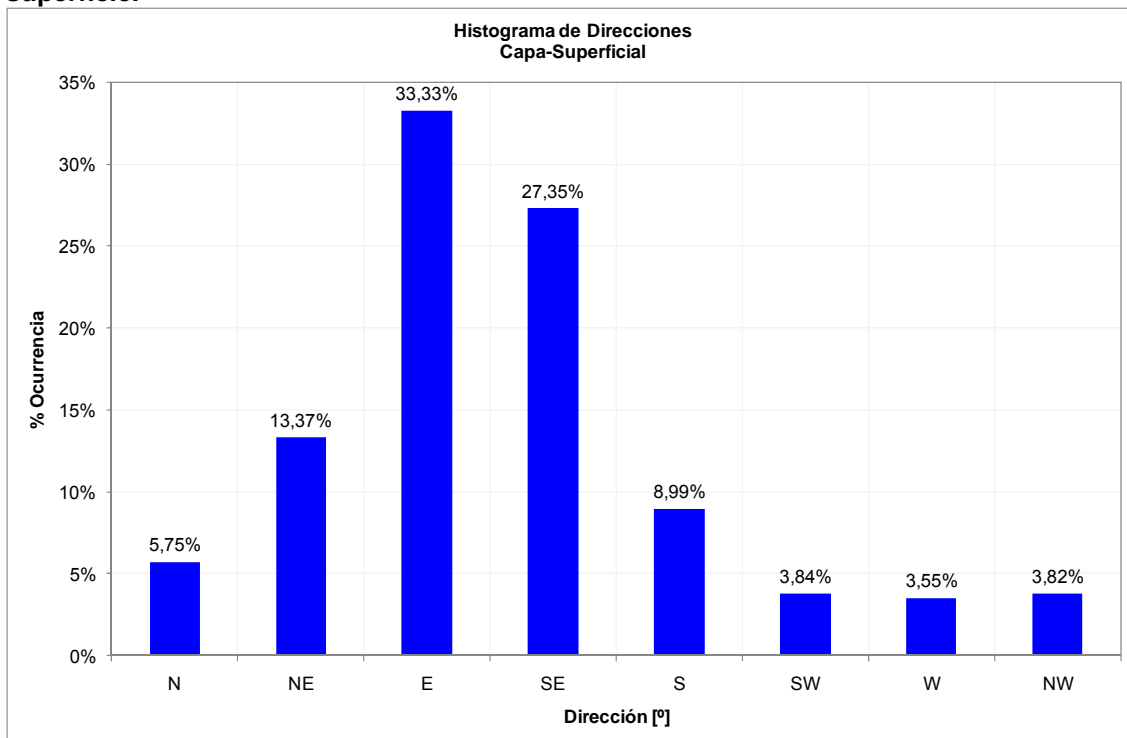
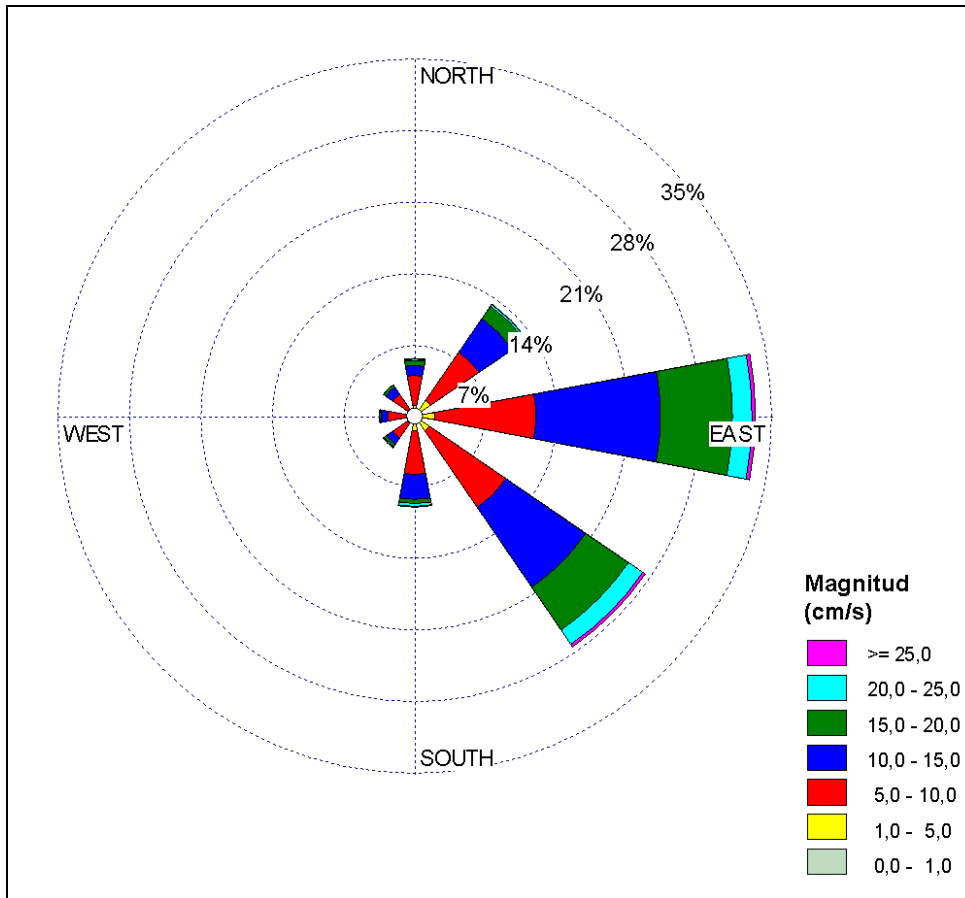


Figura 19: Rosa de corrientes, capa media a 5 m bajo la superficie.



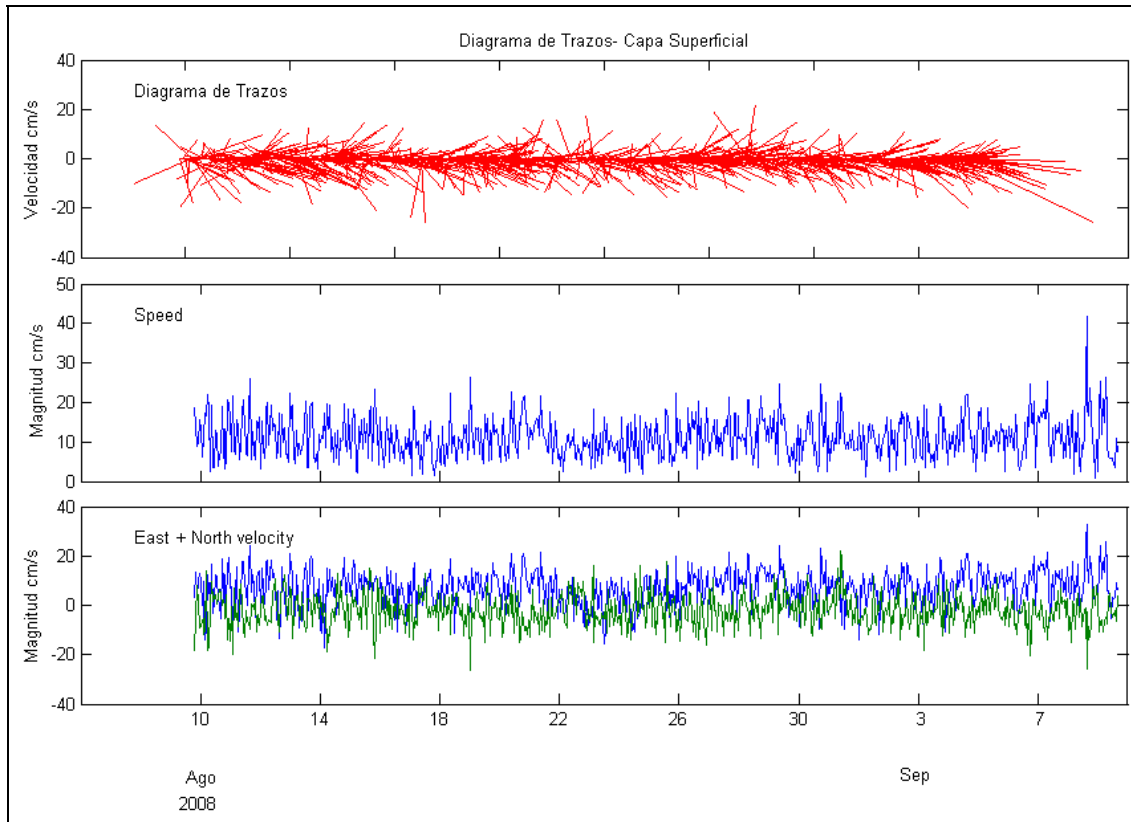
Para este caso se obtuvo la estadística básica de las componentes ortogonales (mínimo, máximo, promedio y desv. estándar) (Cuadro 7).

Cuadro 7: Estadística básica de las componentes ortogonales U y V (cm/s)-Capa Superficial

Componentes Ortogonales	Mínimo [cm/s]	Máximo [cm/s]	Promedio [cm/s]	Desv St [cm/s]
U (weste-este)	-17.30	32.80	6.95	7.37
V (norte-sur)	-26.30	22.23	-2.10	6.83

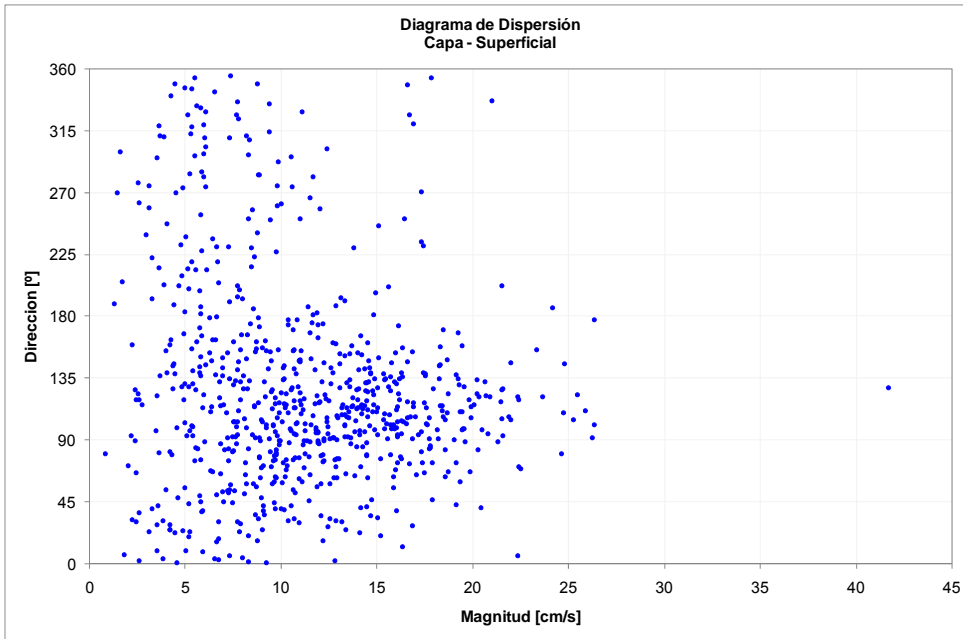
A partir del análisis del diagrama de trazos de las corrientes que se muestra en la y la Figura 20 resultados de los estadísticos de las componentes ortogonales Cuadro 7, se observó que la corriente superficial mantienen durante toda su trayectoria la tendencia de avance neto hacia el 2do cuadrante (componentes promedio U positivo y V negativo, siendo U de mayor intensidad).

**Figura 20: Diagrama de trazos de velocidad de la corriente (panel superior), magnitud de la corriente (panel central) y componentes ortogonales de la corrientes de la capa superficial a 5 m bajo la superficie U (azul) y V (verde), Punta Fuerte- Caldera 09 de Agosto al 9 de Septiembre del 2008**

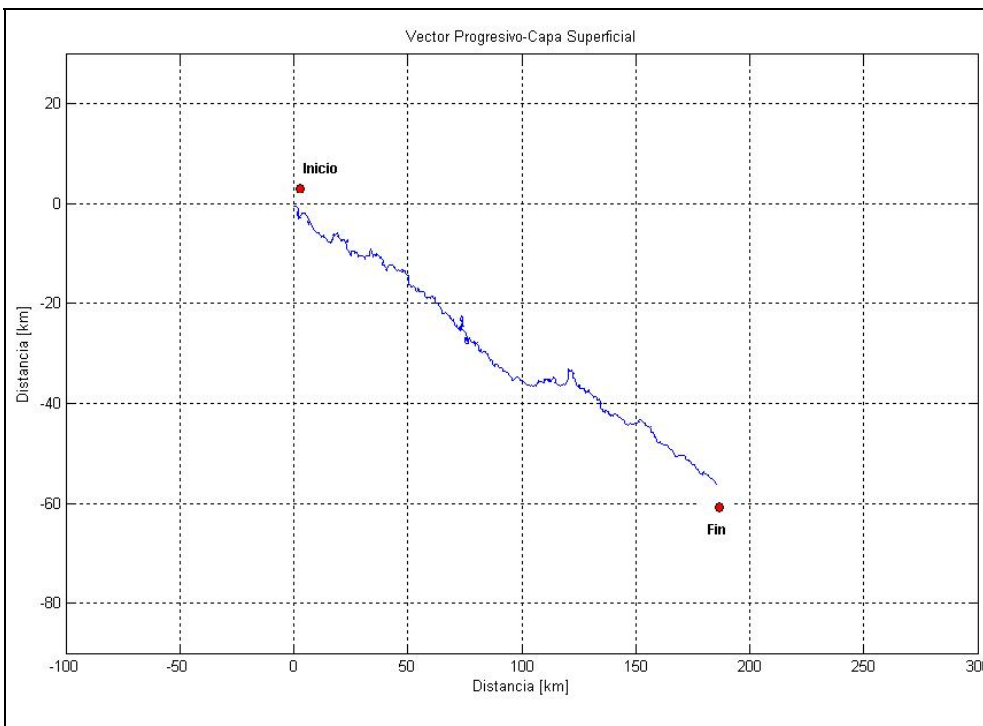


El diagrama de dispersión y vector progresivo (Figura 21 y Figura 22). Presentan una tendencia direccional entre el 1er y 2do cuadrante muy próximos a la dirección E, sin embargo, el diagrama de vector progresivo muestra un avance neto hacia el SE, Durante los días de medición, se estima que una partícula se desplazaría aproximadamente 188 Km en dirección SE, con una velocidad estimada del orden de 6.27 Km/día.

**Figura 21: Diagrama de dispersión de las corrientes. Capa media a m bajo la superficie**

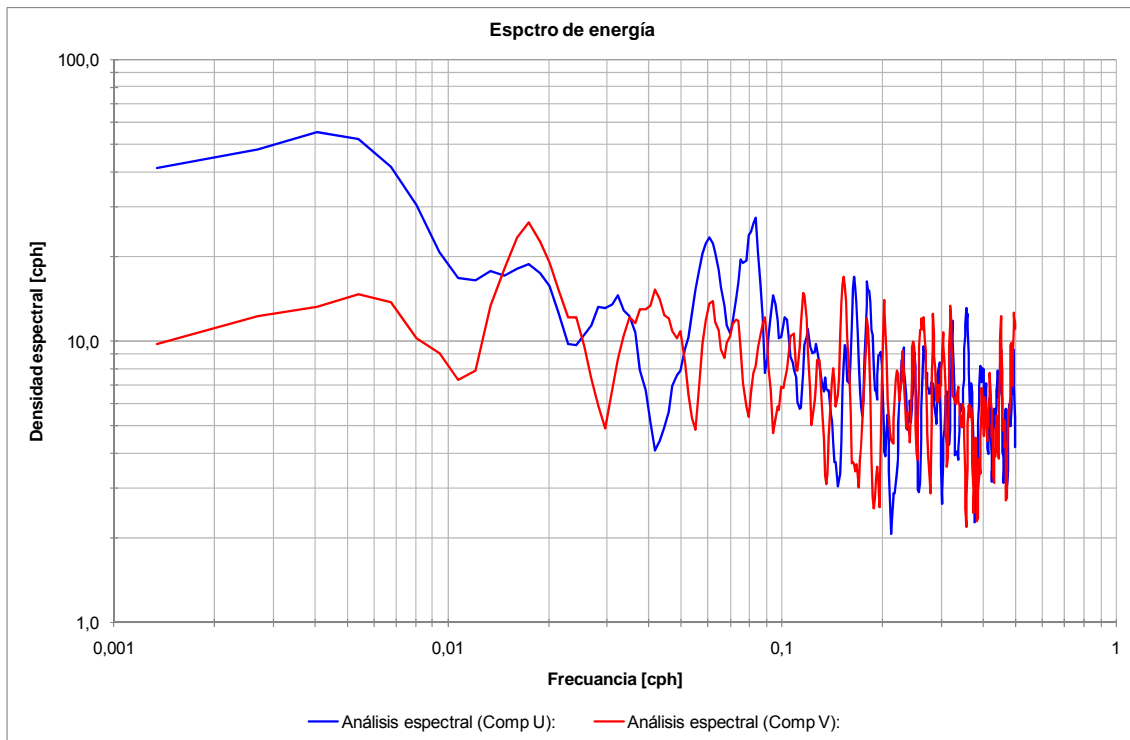


**Figura 22: Diagrama del vector progresivo. Capa media a 5 m bajo la superficie**



En el dominio de la frecuencia, la Figura 23 de densidad espectral muestra el mismo comportamiento de las capas inferiores donde la componente V (N-S) y U (E-W) se incrementa en las bandas de frecuencia bajas. Ambas componentes (U y V), sin embargo los peak energéticos se asocian principalmente a la banda semidiurna 0.08 cph (12.5 horas).

**Figura 23: espectros de energía de las componentes ortogonales de las series horarias (periodo cada 1 hora), Capa superficial 5 m bajo la superficie.**



### 3 VIENTO

#### 3.1 Materiales y Métodos

El estudio de vientos se efectuó con el objetivo de conocer el régimen local de vientos durante el período de mediciones y evaluar el efecto forzante de éste sobre las corrientes marinas.

Figura 24: Anemómetro marca YOUNG, modelo 05103-5



Para conocer el régimen local de vientos durante el período de mediciones de corrientes, se efectuaron mediciones de esta variable con un anemómetro instalado al interior de un cultivo marino ubicado en la punta Fuerte (coordenadas E: 319.661, N: 7.007.670; Datum WGS – 84). El instrumento utilizado corresponde a una estación meteorológica marca Young modelo 05103-5, de registro en memoria magnética, programado para obtener una observación promedio cada 10 minutos, posibilitándose de esta manera la emisión de series de tiempo horarias.

Las mediciones fueron realizadas en el período comprendido entre el 09 de agosto al 09 de septiembre de 2008. Un listado de las observaciones horarias registradas se presenta en el **Anexo C (Vientos Horarios Caldera)**.

Los vientos fueron procesados a través de un análisis de frecuencia de magnitud y dirección (rosa de 8 direcciones) en términos de estadística básica, espectral y de ciclo



diario. En el análisis de frecuencia, los vientos con magnitudes medias inferiores a 1 m/s fueron considerados calmas, debido a que éstos son muy débiles y poco importantes dentro del proceso de transferencia de energía desde la atmósfera al océano.

### 3.2 Resultados.

En términos de frecuencia de incidencia, los vientos observados presentaron un claro predominio de las direcciones asociadas al 3er cuadrante. De esta manera, las mayores ocurrencias fueron de 23.8% (dirección S), 16.3% (dirección SW) y 16.1% (dirección W). El resto de las direcciones se agrupó entre 2.6% y 10.8% (Cuadro 8).

**Cuadro 8: incidencia velocidad y dirección del viento**

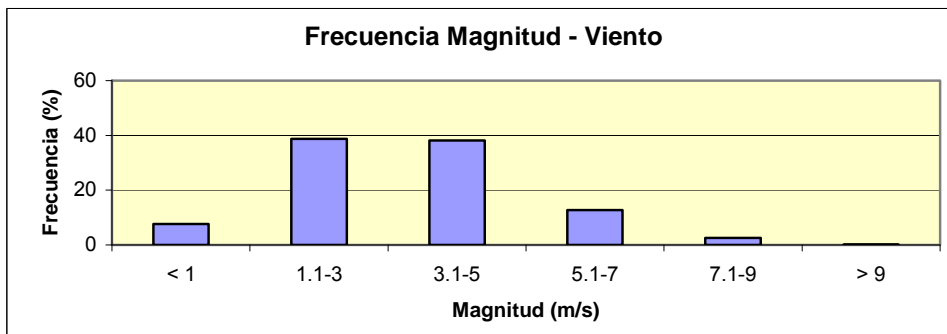
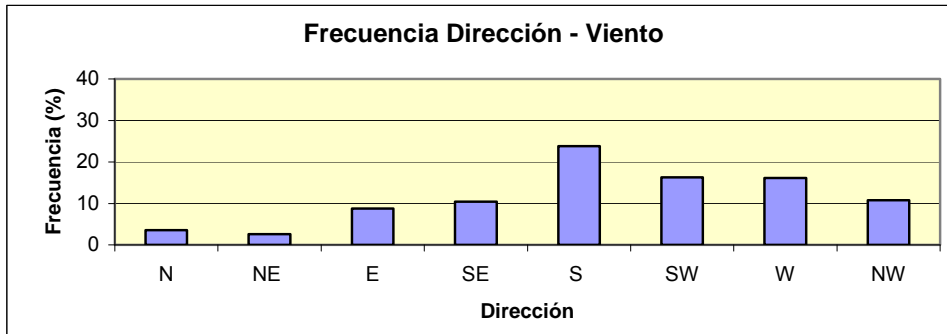
Estación: Caldera  
 Fecha: 09 de agosto al 09 de septiembre de 2008

MAGNITUD (m/s)	FRECUENCIA (%) DE INCIDENCIA DE VIENTOS DIRECCION (NG)								Total (%)
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
<= 1	0.7	0.8	1.0	1.3	1.1	1.1	0.9	0.8	7.7
1.1 - 3.0	1.6	2.4	7.5	7.5	5.3	3.6	6.0	4.7	38.7
3.1 - 5.0	1.1	0.2	1.3	2.6	12.6	6.1	9.1	5.3	38.2
5.1 - 7.0	0.9	0.0	0.0	0.2	4.5	5.4	0.9	0.8	12.7
7.1 - 9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.2	0.1	0.0	2.6
> 9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
% Efectivo	3.6	2.6	8.8	10.4	23.8	16.3	16.1	10.8	92.3

DIRECCION	VALORES MEDIOS Y MAXIMOS	
	MEDIO (m/s)	MAXIMO (m/s)
N	3.5	7.2
NE	2.1	3.6
E	2.3	4.8
SE	2.6	7.3
S	4.2	9.8
SW	4.6	8.4
W	3.4	7.4
NW	3.3	7.0
Todas	3.6	9.8

Las mayores ocurrencias de magnitud ocurrieron en los rangos de 1.1 a 3.0 m/s, con un porcentaje de 38.7%, seguida del rango 3.1 a 5.0 m/s (38.2% de las mediciones). El rango de 5.1 a 7.0 m/s agrupó un 12.7% de las mediciones (Figura 25). El máximo de magnitud se registró en la dirección S (9.8 m/s).

**Figura 25: incidencia de velocidad y y dirección del viento**



Los vientos registrados durante este período de mediciones se mostraron de mediana intensidad, encontrándose un 0.1% de la información sobre 9.0 m/s. Por último, un 7.7% de las mediciones se ubicó en la categoría calma (Cuadro 8)

Para determinar el comportamiento del viento en el dominio de la frecuencia, se aplicó un análisis estadístico de tipo espectral estándar (12 grados de libertad y 95% de confianza). El análisis espectral de las componentes ortogonales del viento (Figura 26) mostró mayor energía en la componente U respecto a su similar V, en la banda de frecuencia diurna (0.04 cph) atribuible posiblemente al ciclo diario del viento. En las bajas frecuencias, la componente V del viento mostró mayor energía, no obstante ésta fue menor que la detectada en la banda diurna.

**Figura 26: Autoespectros de Vientos, Caldera (12 g.l.).**

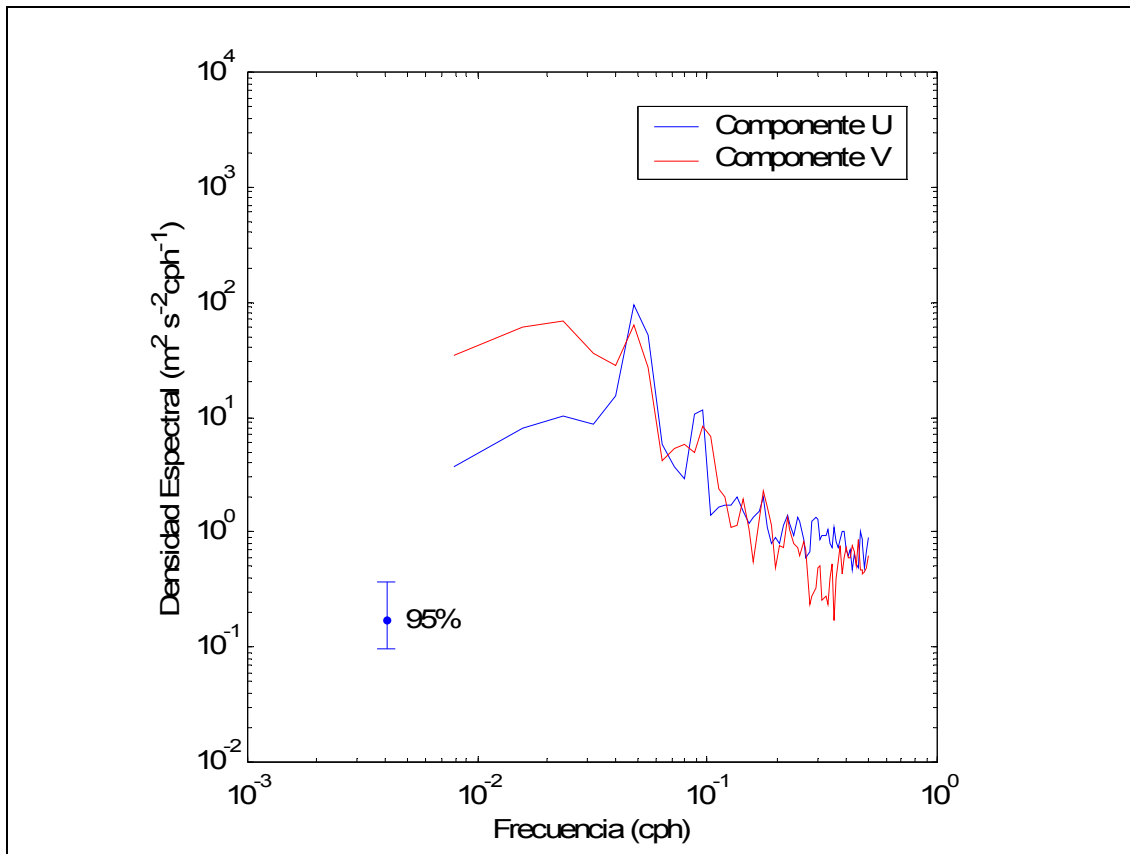
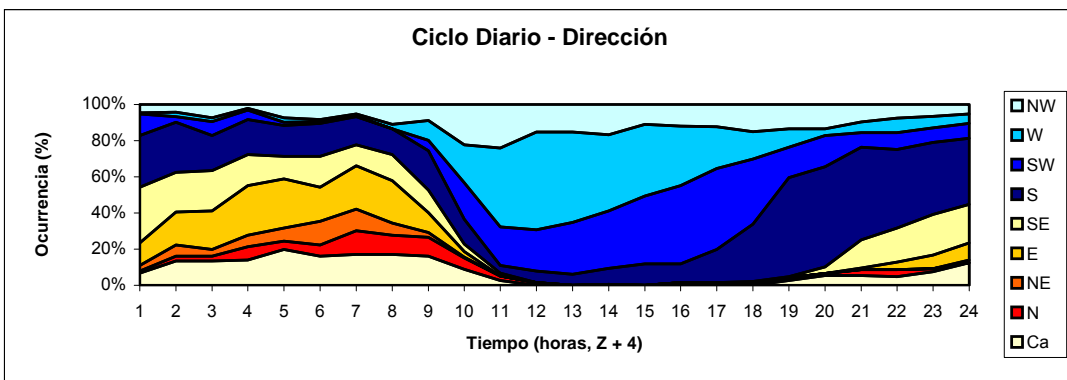
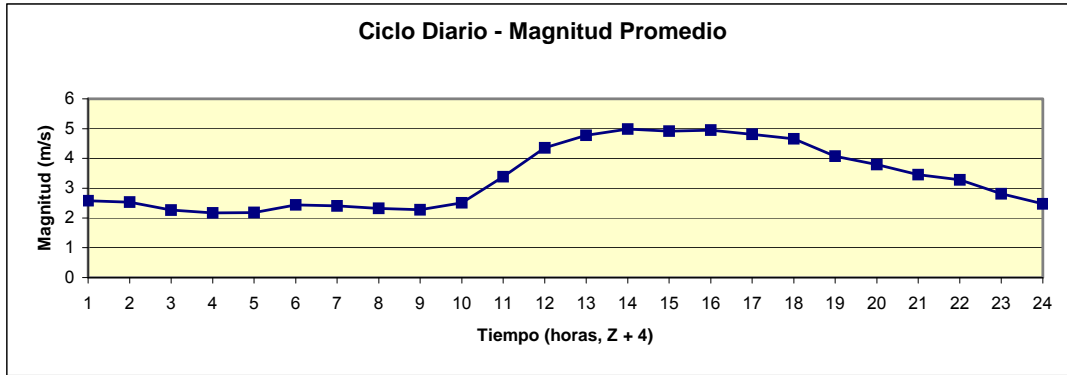


Figura 3.4.2.2.

Finalmente, los vientos en el área evidenciaron un ciclo diario en términos direccionales y de magnitud promedio (Figura 27). En horas de la mañana, se produce una mayor ocurrencia de bajos valores de magnitud (mínimo de 2.17 m/s), para luego aumentar a valores máximos en torno a 4.98 m/s (14:00 horas, Z + 4). Direccionalmente, durante el día (10:00 horas) y hasta las 24:00 horas, predominan las direcciones asociadas al 3er cuadrante. A partir de esta última hora, sigue predominando la dirección S, aunque también se hacen presente las direcciones SE y E. También, se observa en horas de la noche y madrugada la presencia de calmas.

Figura 27: Ciclo diaria de la velocidad y dirección del viento



## 4 MAREAS (ADCP)

Las observaciones continuas del nivel del mar se realizaron durante un periodo de 30 días. Para estos efectos, se utilizó un sensor de presión instalado en el ADCP que sirvió para medir la correntometría Euleriana.

Las mediciones se iniciaron el 09 de agosto de 2008, extendiéndose hasta el día 09 de septiembre de 2008 (**Anexo E Marea Horaria ADCP Caldera**), en un punto con las siguientes coordenadas:

Sector	Coordenada Norte	Coordenada Este	Inicio Mediciones	Final Mediciones
Caldera	<b>7.007.267</b>	<b>319.208</b>	09/08/2008	09/09/2008

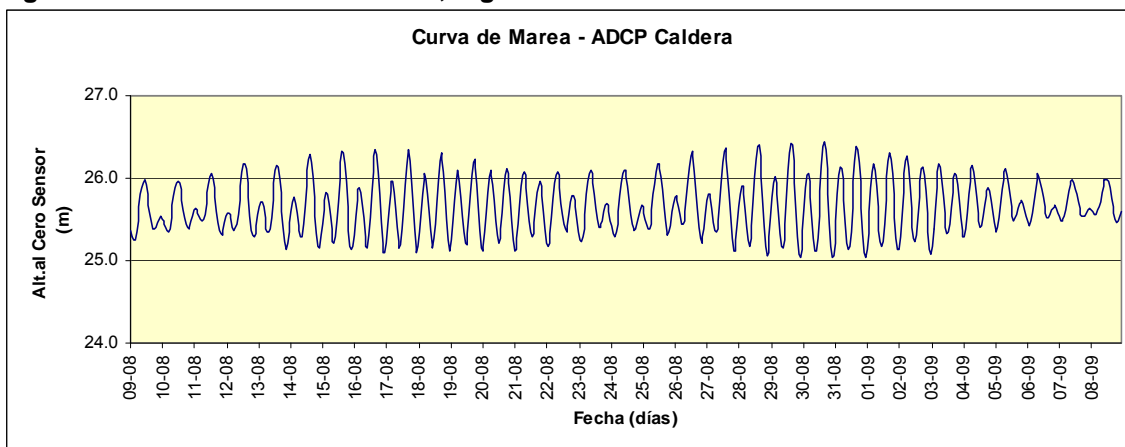
(Datum WGS - 84)

El instrumento mide la presión absoluta en el punto de fondeo (instalación). Estos datos solo fueron utilizados para evaluar el efecto forzante de la marea sobre las corrientes Eulerianas (correlación cruzada).

### 4.1 Resultados.

La Figura 28 muestra la curva de marea para el sector de Caldera. En ella, se observa el efecto de las sicigias del 16 y 30 de agosto de 2008, con mayores amplitudes y un retardo inercial de 1 a 2 días. Así también, se observa las mínimas amplitudes producto de las cuadraturas del 23 de agosto y 07 de septiembre de 2008. Además de la inspección de la curva de marea, es posible indicar que la marea en el área de estudio es de tipo mixto predominantemente semidiurna, es decir, en un día se presenta la ocurrencia de dos pleamares y dos bajamares, con diferencia de alturas entre ellas.

**Figura 28: Curva de marea Caldera, registro ADCP**



**Figura 3.5.2.1**

En el **Anexo H (Pleas y Bajas Caldera)**, se resume los valores y horas de ocurrencias de las pleamares y bajamares registradas en Caldera. El Cuadro 9 resume los resultados del análisis no armónico de la marea.

**Cuadro 9: Planos mareales, caldera**

**Valores No - Armónicos de la Marea**

Valores No - Armónicos	Sobre NRS (m)
Nivel Medio de la Marea	1.087
Altura Media de la Bajamar	0.658
Altura Media de la Bajamar Inferior	0.620
Bajamar Mínima	0.467
Altura Media de la Pleamar	1.515
Altura Media de la Pleamar Superior	1.674
Pleamar Máxima	1.970
Amplitud Máxima de la Marea	1.503

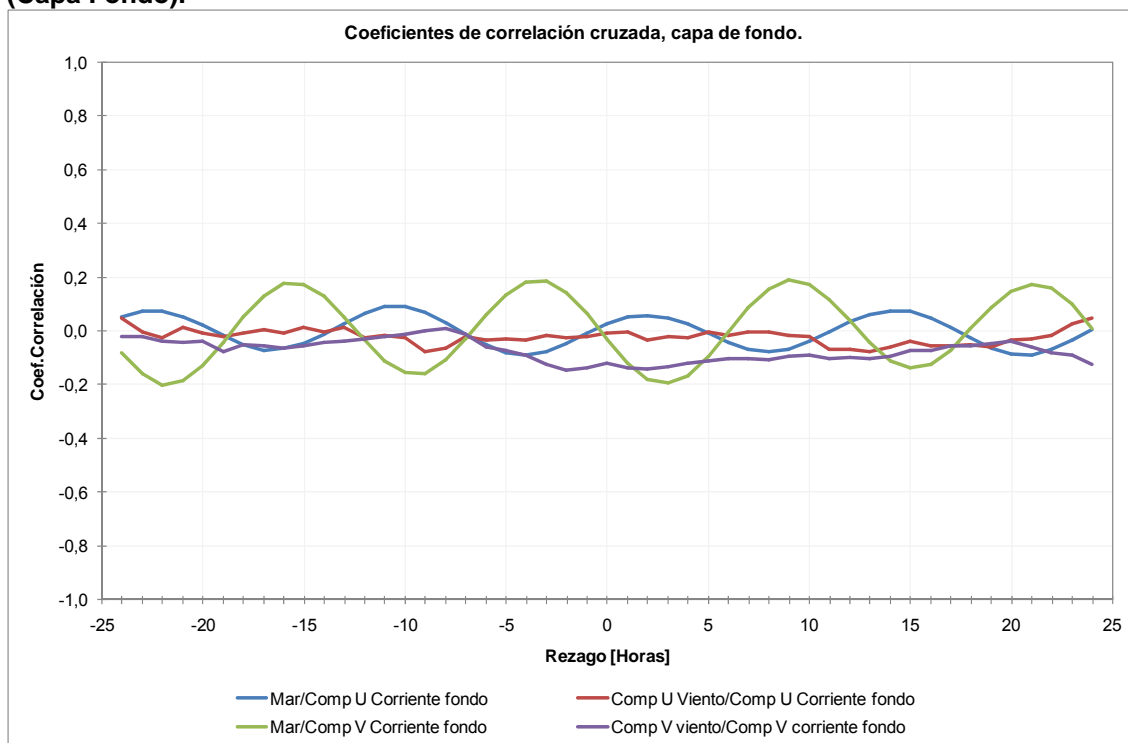
## 5 CORRELACIÓN CRUZADA

Con el objeto de visualizar las relaciones causa efecto entre variables, los registros de corrientes, vientos y marea, fueron sometidos a un análisis de correlación cruzada. Los resultados de este análisis son presentados en las Figura 29 a la Figura 31, correspondientes a la capa de fondo, media y superficial.

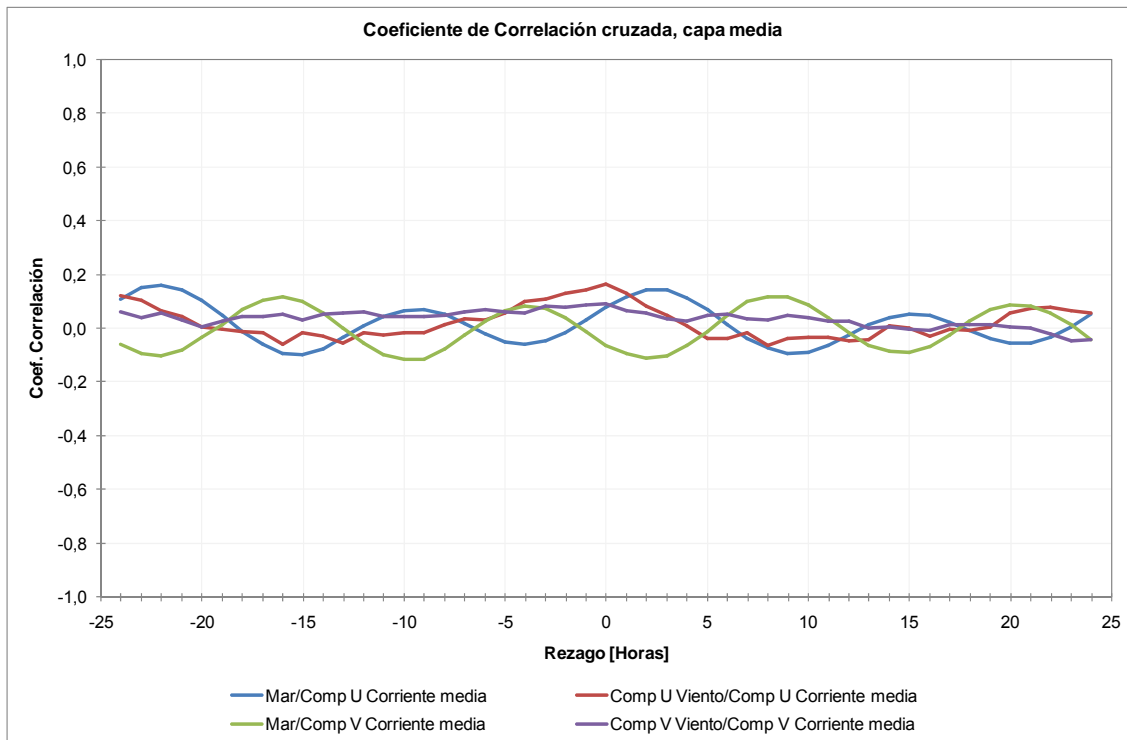
En los Cuadro 10 al Cuadro 12 se detallan los coeficientes de correlación cruzada de las capas seleccionadas, como es posible observar en las figuras de correlación en las tres capas evaluadas se obtuvieron coeficientes de correlación menores a 0.2 (máximo igual a 1), siendo el máximo estimado 0.188 en el par Marea/ corriente de fondo con un rezago de aproximadamente 8 horas.

De los resultados obtenidos es posible interferir que las componentes de marea y viento, no actúan como forzantes de corrientes en la zona de estudio dado que los coeficientes de correlación cruzada obtenidos fueron  $<0.2$ .

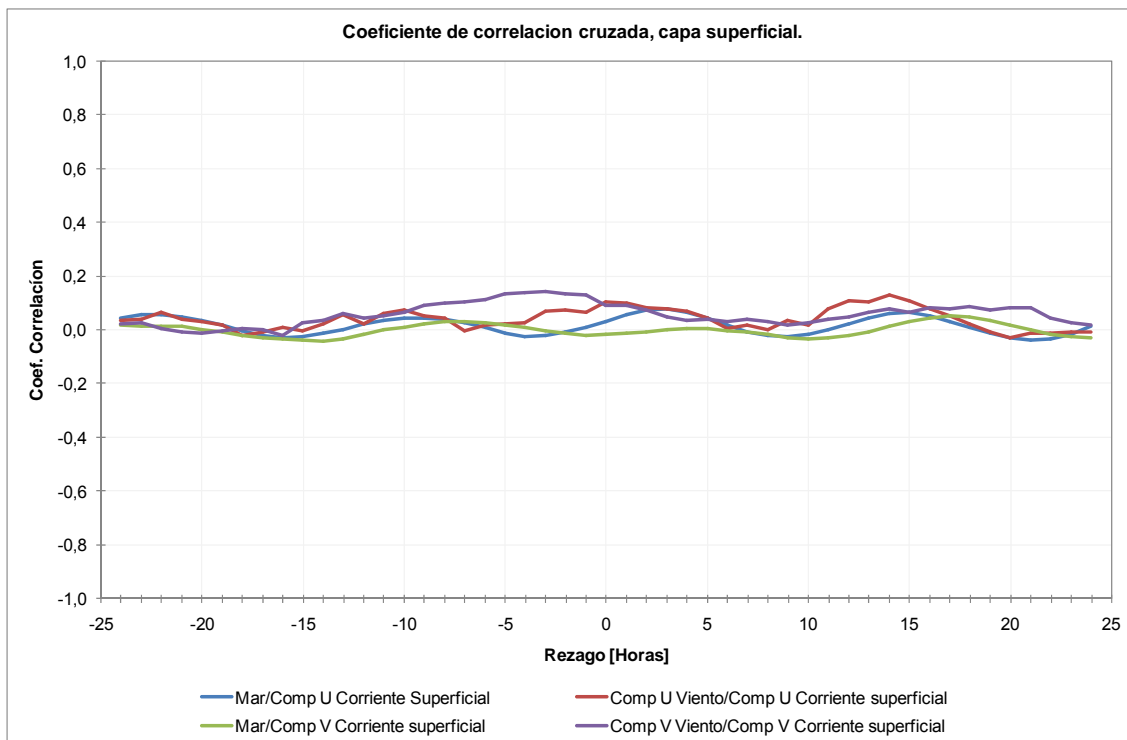
**Figura 29: Análisis de correlación cruzada entre las variables corriente, marea y viento (Capa Fondo).**



**Figura 30: Análisis de correlación cruzada entre las variables corriente, marea y viento (Capa Media).**



**Figura 31: Análisis de correlación cruzada entre las variables corriente, marea y viento (Capa Superficial).**





**Cuadro 10: Coeficientes de Correlación Cruzada de las componentes Marea, Vientos y Corriente (Capa de Fondo)**

Rezago Horas	Correlación Cruzada Corriente de Fondo			
	Marea/Corriente Fondo	Viento/Corriente Fondo	Marea/Corriente Fondo	Viento/Corriente Fondo
	Comp. U	Comp. U	Comp. V	Comp. V
-24	0.050	0.050	-0.083	-0.022
-23	0.073	-0.004	-0.160	-0.020
-22	0.074	-0.026	-0.201	-0.038
-21	0.054	0.014	-0.186	-0.041
-20	0.021	-0.010	-0.128	-0.037
-19	-0.017	-0.021	-0.041	-0.079
-18	-0.052	-0.007	0.051	-0.051
-17	-0.071	0.006	0.132	-0.057
-16	-0.065	-0.010	0.176	-0.062
-15	-0.046	0.013	0.172	-0.055
-14	-0.014	-0.005	0.128	-0.042
-13	0.026	0.015	0.053	-0.036
-12	0.067	-0.024	-0.034	-0.028
-11	0.090	-0.019	-0.110	-0.019
-10	0.091	-0.026	-0.155	-0.011
-9	0.070	-0.076	-0.157	0.000
-8	0.033	-0.062	-0.109	0.009
-7	-0.013	-0.020	-0.028	-0.013
-6	-0.053	-0.036	0.059	-0.059
-5	-0.080	-0.030	0.135	-0.073
-4	-0.088	-0.035	0.180	-0.089
-3	-0.078	-0.017	0.187	-0.124
-2	-0.048	-0.025	0.144	-0.144
-1	-0.007	-0.023	0.065	-0.136
0	0.026	-0.008	-0.032	-0.121
1	0.051	-0.003	-0.120	-0.135
2	0.058	-0.036	-0.180	-0.143
3	0.050	-0.021	-0.195	-0.134
4	0.024	-0.024	-0.167	-0.120
5	-0.008	-0.003	-0.096	-0.110
6	-0.041	-0.019	-0.002	-0.101
7	-0.068	-0.005	0.088	-0.103
8	-0.076	-0.003	0.155	-0.108
9	-0.067	-0.015	0.188	-0.092
10	-0.039	-0.023	0.171	-0.091
11	-0.004	-0.068	0.115	-0.101
12	0.034	-0.069	0.038	-0.097
13	0.061	-0.078	-0.044	-0.103
14	0.075	-0.061	-0.110	-0.094
15	0.072	-0.040	-0.139	-0.074
16	0.049	-0.055	-0.125	-0.074
17	0.014	-0.056	-0.071	-0.057
18	-0.027	-0.052	0.008	-0.057
19	-0.064	-0.059	0.086	-0.045
20	-0.085	-0.033	0.147	-0.037
21	-0.090	-0.030	0.174	-0.061
22	-0.068	-0.018	0.158	-0.082
23	-0.035	0.026	0.100	-0.089
24	0.005	0.047	0.011	-0.123

**Cuadro 11: Coeficientes de Correlación Cruzada de las componentes Marea, Vientos y Corriente (Capa de Fondo)**

Rezago Horas	Correlación Cruzada Corriente Media			
	Marea/Corriente Media	Viento/Corriente Media	Marea/Corriente Media	Viento/Corriente Media
	Comp. U	Comp. U	Comp. V	Comp. V
-24	0.107	0.119	-0.059	0.061
-23	0.150	0.104	-0.094	0.039
-22	0.162	0.065	-0.102	0.056
-21	0.144	0.045	-0.080	0.031
-20	0.104	0.006	-0.036	0.006
-19	0.047	-0.002	0.015	0.028
-18	-0.012	-0.014	0.068	0.045
-17	-0.062	-0.017	0.103	0.042
-16	-0.094	-0.058	0.115	0.050
-15	-0.099	-0.017	0.098	0.033
-14	-0.078	-0.028	0.057	0.052
-13	-0.036	-0.057	-0.001	0.056
-12	0.010	-0.016	-0.054	0.062
-11	0.044	-0.025	-0.097	0.045
-10	0.067	-0.016	-0.118	0.045
-9	0.070	-0.017	-0.114	0.046
-8	0.051	0.012	-0.075	0.049
-7	0.018	0.037	-0.026	0.060
-6	-0.019	0.032	0.025	0.067
-5	-0.050	0.055	0.066	0.059
-4	-0.060	0.099	0.084	0.056
-3	-0.047	0.109	0.074	0.080
-2	-0.015	0.130	0.040	0.078
-1	0.031	0.143	-0.012	0.087
0	0.077	0.165	-0.062	0.092
1	0.117	0.131	-0.095	0.063
2	0.143	0.083	-0.110	0.055
3	0.142	0.050	-0.101	0.034
4	0.114	0.008	-0.064	0.024
5	0.069	-0.037	-0.011	0.049
6	0.012	-0.037	0.047	0.051
7	-0.037	-0.019	0.097	0.037
8	-0.075	-0.063	0.119	0.032
9	-0.096	-0.038	0.115	0.048
10	-0.091	-0.032	0.086	0.040
11	-0.062	-0.033	0.039	0.028
12	-0.024	-0.049	-0.016	0.025
13	0.015	-0.042	-0.063	0.003
14	0.039	0.010	-0.088	0.003
15	0.052	0.001	-0.090	-0.002
16	0.046	-0.030	-0.070	-0.007
17	0.023	-0.005	-0.027	0.012
18	-0.008	-0.006	0.024	0.012
19	-0.038	0.004	0.069	0.013
20	-0.056	0.055	0.087	0.003
21	-0.057	0.074	0.081	0.002
22	-0.034	0.080	0.058	-0.020
23	0.007	0.066	0.012	-0.046
24	0.051	0.059	-0.043	-0.043

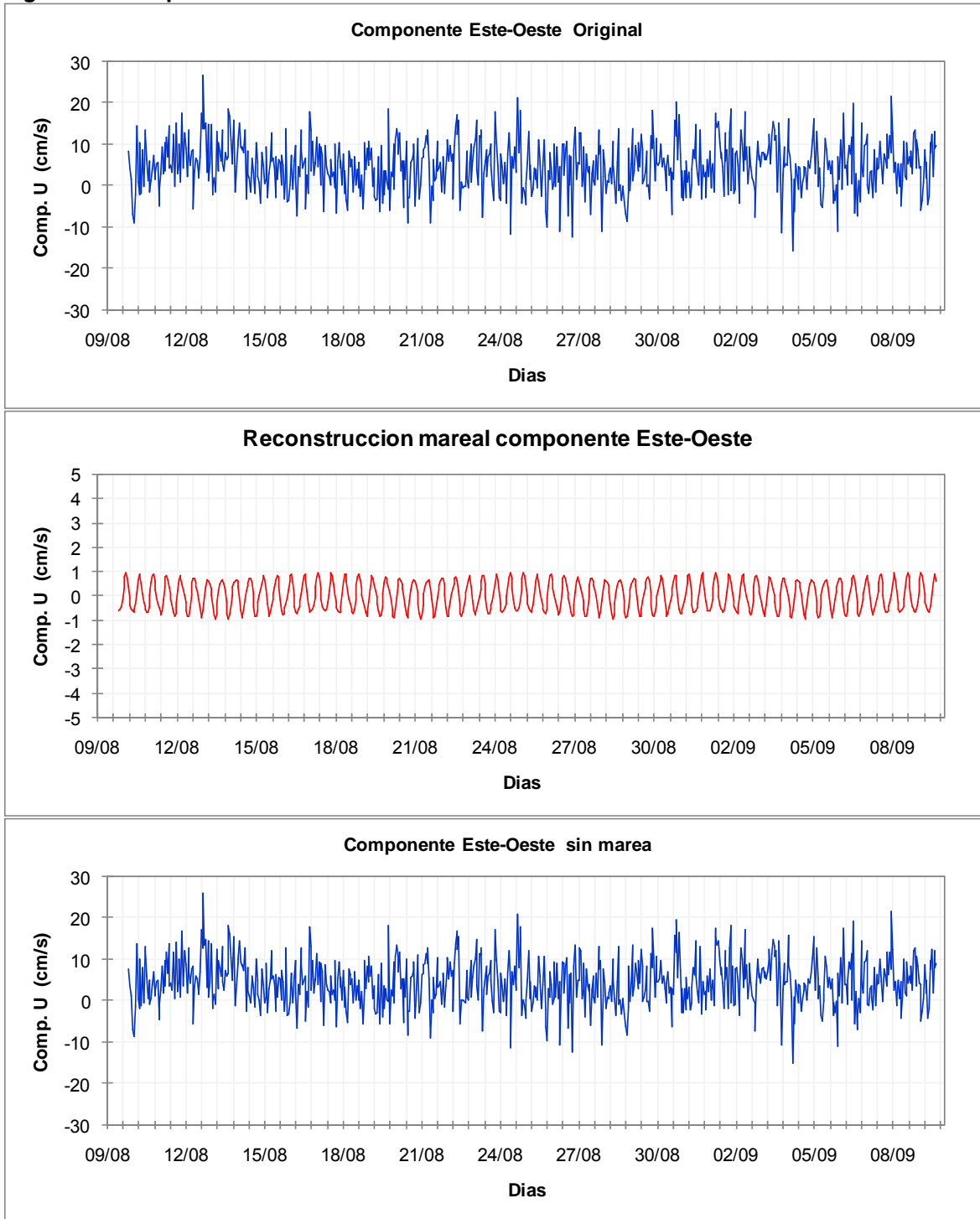
**Cuadro 12: Coeficientes de Correlación Cruzada de las componentes Marea, Vientos y Corriente (Capa de Fondo)**

Rezag o Horas	Correlación Cruzada Corriente Superficial			
	Marea/Corriente Superficial	Viento/Corriente Superficial	Marea/Corriente Superficial	Viento/Corriente Superficial
	Comp. U	Comp. U	Comp. V	Comp. V
-24	0.042	0.035	0.016	0.023
-23	0.054	0.041	0.015	0.025
-22	0.055	0.067	0.015	0.007
-21	0.049	0.040	0.012	-0.007
-20	0.036	0.030	0.002	-0.014
-19	0.019	0.017	-0.008	-0.006
-18	-0.004	-0.019	-0.020	0.007
-17	-0.023	-0.007	-0.029	0.000
-16	-0.030	0.010	-0.035	-0.020
-15	-0.024	-0.004	-0.040	0.024
-14	-0.014	0.023	-0.044	0.037
-13	0.000	0.057	-0.034	0.062
-12	0.021	0.023	-0.018	0.043
-11	0.035	0.061	-0.002	0.054
-10	0.045	0.073	0.009	0.067
-9	0.045	0.052	0.020	0.091
-8	0.039	0.044	0.032	0.102
-7	0.026	-0.004	0.030	0.103
-6	0.008	0.017	0.025	0.113
-5	-0.013	0.023	0.017	0.136
-4	-0.026	0.028	0.008	0.139
-3	-0.022	0.069	-0.003	0.142
-2	-0.009	0.073	-0.015	0.136
-1	0.011	0.065	-0.019	0.132
0	0.033	0.103	-0.016	0.092
1	0.056	0.100	-0.014	0.093
2	0.073	0.084	-0.009	0.073
3	0.077	0.077	0.000	0.049
4	0.067	0.071	0.003	0.037
5	0.044	0.042	0.003	0.039
6	0.017	0.005	-0.003	0.029
7	-0.007	0.016	-0.009	0.039
8	-0.021	0.002	-0.019	0.031
9	-0.023	0.033	-0.029	0.018
10	-0.019	0.019	-0.035	0.026
11	-0.001	0.079	-0.031	0.038
12	0.021	0.109	-0.021	0.050
13	0.042	0.106	-0.008	0.065
14	0.061	0.130	0.012	0.077
15	0.064	0.108	0.032	0.065
16	0.052	0.079	0.044	0.080
17	0.030	0.053	0.053	0.080
18	0.007	0.021	0.049	0.087
19	-0.013	-0.008	0.036	0.074
20	-0.029	-0.028	0.017	0.084
21	-0.039	-0.013	0.002	0.080
22	-0.033	-0.012	-0.015	0.042
23	-0.015	-0.009	-0.027	0.024
24	0.014	-0.008	-0.032	0.019

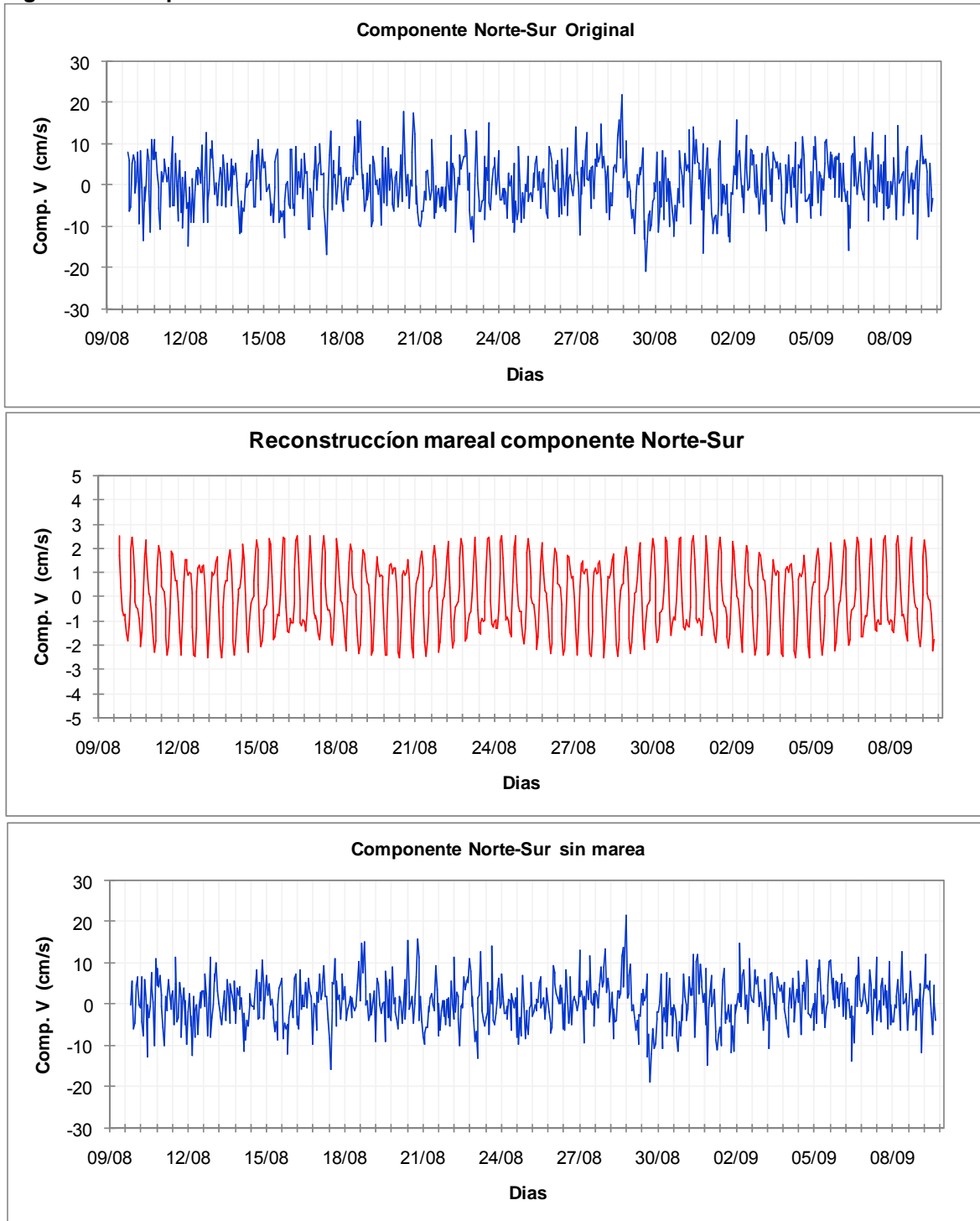
## 6 CORRIENTES RESIDUALES

A partir del análisis de las corrientes residuales evidencia la baja intensidad de las corrientes de mareas en la bahía, las cuales para el periodo analizado no supera los 2 cm/s oscilando con mayor intensidad en el eje Norte-Sur, principalmente en la capas superficial.

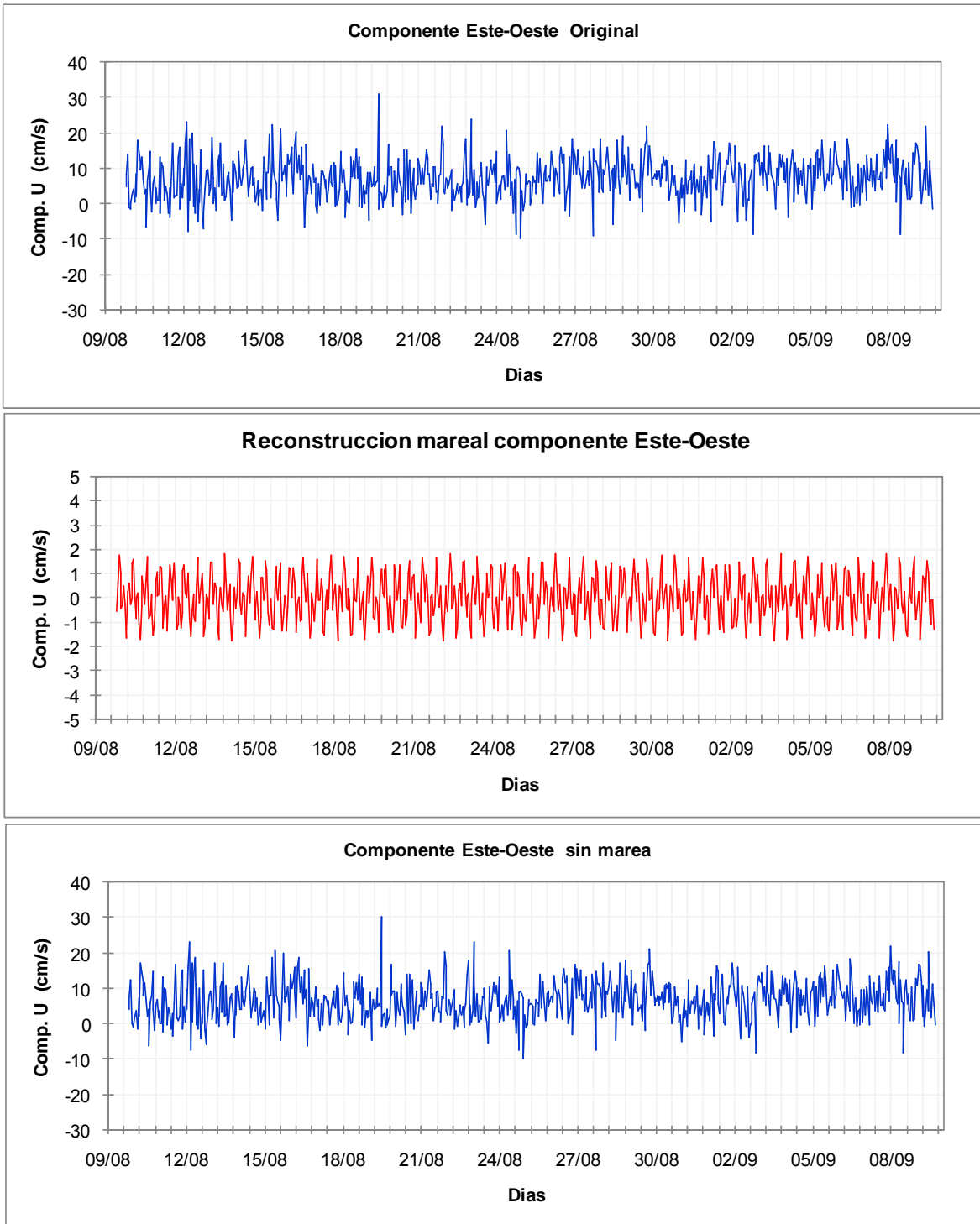
**Figura 32: Componentes Zonal de la corriente de fondo sin efecto de la marea**



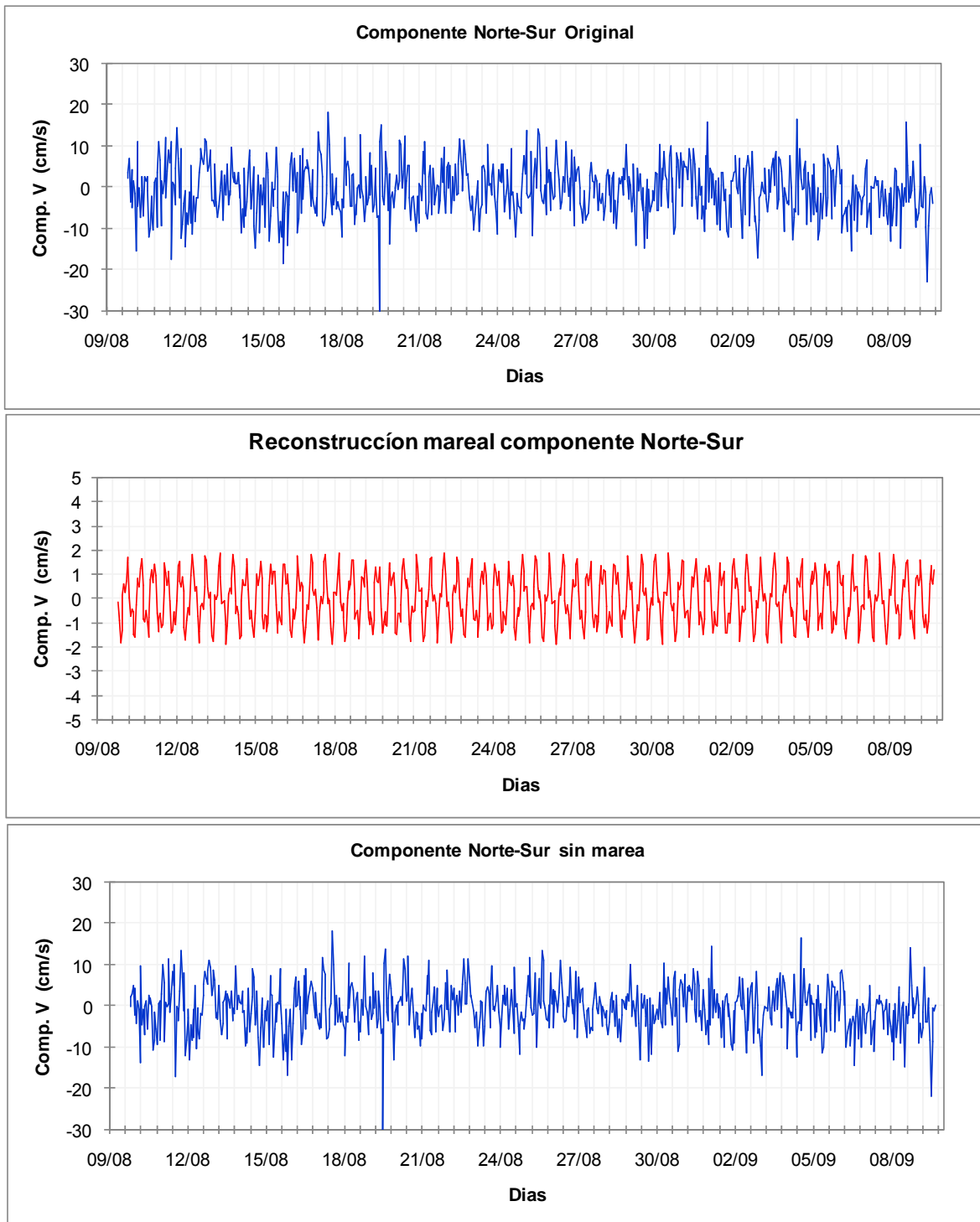
**Figura 33: Componentes Meridional de la corriente de fondo sin efecto de la marea**



**Figura 34: Componente Zonal de la corriente de media sin efecto de la marea**

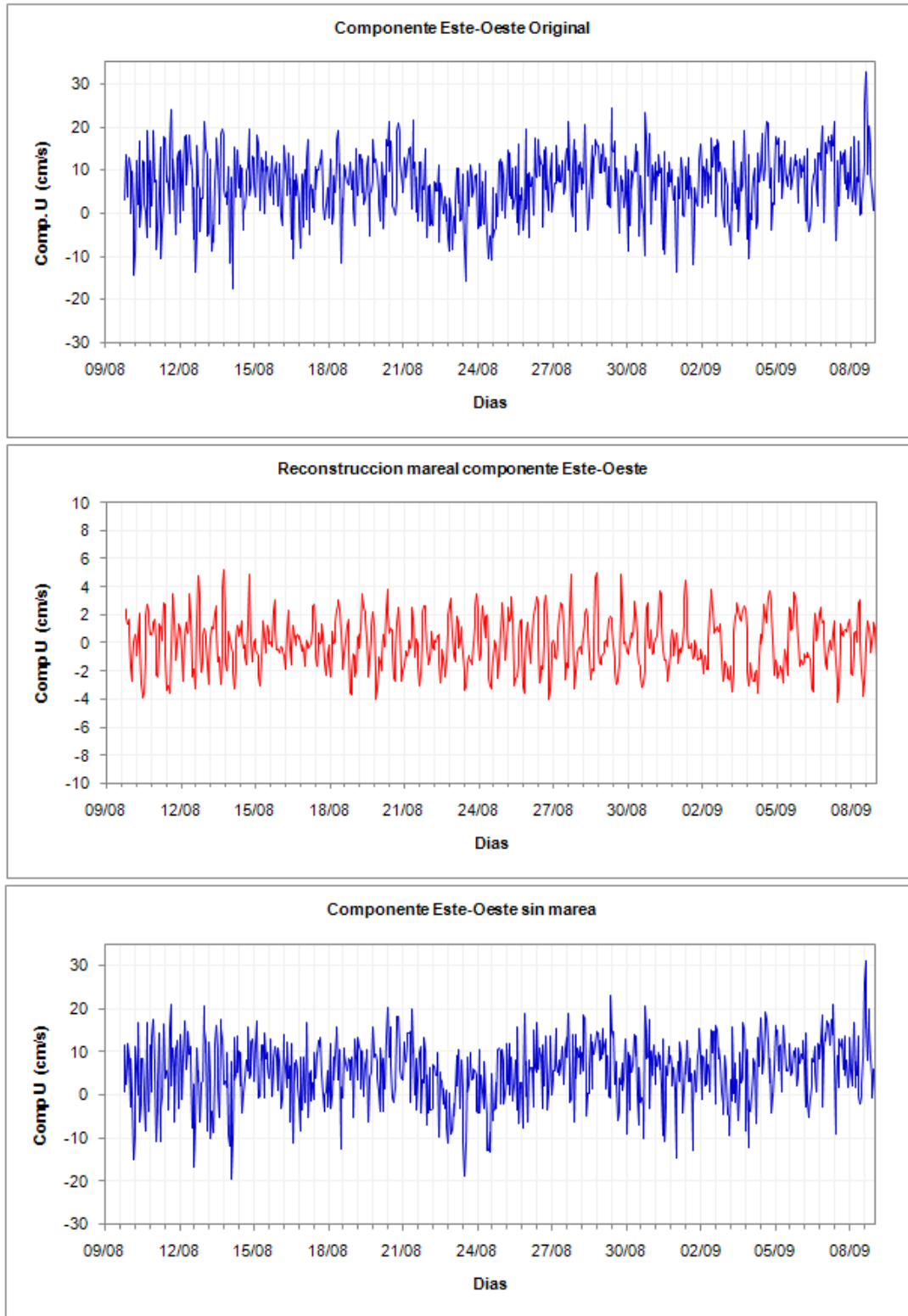


**Figura 35: Componentes Meridional de la corriente de Media sin efecto de la marea**

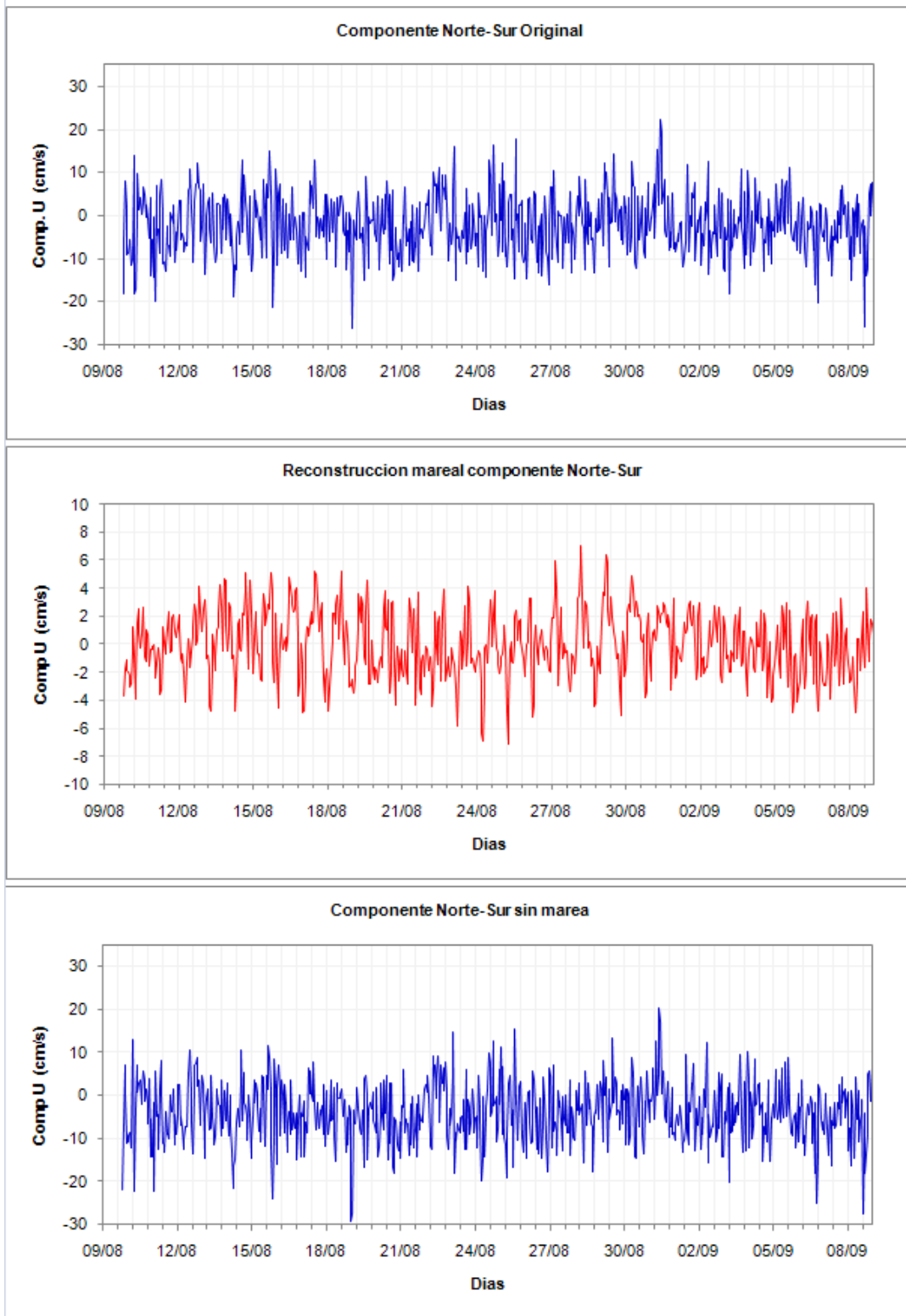




**Figura 36: Componente Zonal de la corriente de Superficial sin efecto de la marea**



**Figura 37: Componentes Meridional de la corriente de Superficial sin efecto de la marea**



## 7 CONCLUSIONES

El comportamiento de las corrientes registradas en las capas de fondo, media y superficial, presentaron trayectorias direccionales en torno al 1er y 2do cuadrante.

A nivel de fondo las direcciones se presentaron de las componentes E, NE y SE con ocurrencias de 27.24%, 20.40% y 19.42% respectivamente, las velocidades registradas se agruparon en torno a los 5 a 10 cm/s (45.62%) seguido de 10 a 15 cm/s (26.79%). El diagrama de vector progresivo evidencia una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional hacia el E-NE con una velocidad aproximada de 4.7 km/día

A nivel medio las direcciones mas ocurrentes se presentaron desde las componentes E (37.08%) y SE (25.42%), las velocidades se agruparon en torno a los 5 a 10 cm/s (40.07%) seguido de 10 a 15 cm/s (31.44%). El diagrama de vector progresivo evidencia una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional hacia el E inclinándose paulatinamente hacia el SE con una velocidad aproximada de 6.35 km/día

A nivel superficial las direcciones mas ocurrentes se presentaron desde las componentes E (33.33%), SE (27.35%) y NE (13.37%), las velocidades se agruparon en torno a los 5 a 10 cm/s (37.28%) seguido de 10 a 15 cm/s (31.21%). El diagrama de vector progresivo evidencia una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional hacia el SE con una velocidad aproximada de 6.27 km/día

Las velocidades medias registradas en las diferentes capas durante el periodo de medición se agrupan en torno a los 10 cm/s, y coincidente en las velocidades más frecuentes registradas. Del mismo modo las direcciones de mayor frecuencia se mantienen en las tres capas analizadas, lo que evidencia una columna de agua homogénea.

Los espectros de energía de la componentes ortogonales obtenidos, evidencian peak principalmente en torno a 0.08 cph frecuencia semidiurna (12.5 horas), este efecto es posible asociarlo al bajo aporte de la marea en procesos de pleamares y bajamares.

Finalmente Los resultados de la correlación cruzada evidencian el bajo efecto de la marea y los vientos (en general) sobre las corrientes Eulerianas medidas.

Las corrientes residuales obtenidas, mediante el filtro de la corriente de marea, evidencia un bajo aporte de esta componente en las corrientes, corroborando los resultados de correlación cruzada.