



## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y  
Recursos Naturales**

### **“ESTUDIO HISTÓRICO DE CORRIENTES MARINAS EN BAHÍA NAUFRAGIO - ISLA GALÁPAGOS EMPLEANDO LOS MÉTODOS EULERIANO Y LAGRANGIANO DE MEDICIÓN DE CORRIENTES”**

**TESIS DE GRADO**

Previa la obtención del título de:

**OCEANÓGRAFO**

Presentado por:

**KARINA CECIBEL ABATA TOSCANO**

Guayaquil, Ecuador

2012

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente a Dios, quien supo guiar mi vida hasta el momento en que me encuentro ahora y permitió que conociera a todas aquellas personas que aportaron con un granito de arena en esta etapa de mi vida.

A unas mujeres sorprendentes, mi directora de tesis y Patricia Urdiales, con quienes tuve el gusto de trabajar cuando aun me encontraba en la universidad y quienes sin darse cuenta me sirvieron de ejemplo para salir adelante, muchas gracias.

A mis queridos padres quienes han sido mi apoyo constante en todo este tiempo que me demando concluir esta tesis; no me alcanzará la vida para agradecerles todo lo que hacen por mí, gracias.

A mis amigos de universidad, y en especial a J550, quien con sus ideas dio inicio al desarrollo de esta tesis, sin su apoyo y conocimiento esto no se hubiera realizado.

Gracias al INOCAR e INAMHI por proporcionar los datos para el desarrollo de esta tesis y un agradecimiento especial para CONSULSUA C. LTDA. quienes me acogieron y me dieron la oportunidad de laborar en mi profesión.

## DEDICATORIA

A mis queridos padres:

Mariana y Gonzalo

A mis hermanos:

Braulio y Wilson

Y a mis amores Diego y Jeff

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Marco Velarde Toscano  
**Presidente**

---

Ph.D. M. Pilar Cornejo R.  
**DIRECTORA DE TESIS**

---

Ing. José Chang Gómez  
**VOCAL**

---

M.Sc. Francisco Medina  
**VOCAL**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta tesis de grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

---

Karina Cecibel Abata Toscano

## **ANTECEDENTE**

La ESPOL, dentro de la Convocatoria para Proyectos de Investigación 2007 del CICYT PEC-07-11 financió la elaboración y ejecución de la presente Tesis; INOCAR facilitó los equipos de mediciones (veletas y correntómetro), así como facilidades logísticas en Puerto Baquerizo Moreno, sede del estudio.

Este estudio describe las observaciones de corrientes obtenidas en Bahía Naufragio, abarcando dos estaciones climáticas (estación seca - estación lluviosa), y basándose en mediciones de corrientes empleando las técnicas de medición Eulerianas y Lagrangianas de medición de corrientes.

La importancia de monitorear condiciones oceanográficas físicas, y dentro de ellas, el sistema circulatorio en la zona, obedece en primera instancia a los intereses de INOCAR de desarrollar estudios complementarios para diversos proyectos, entre ellos la instalación de un laboratorio de investigaciones marinas de INOCAR en Pto. Baquerizo Moreno. Además, es importante definir el esquema circulatorio de la bahía por cuanto estos datos pudieran ser requeridos para modelar derrames potenciales de combustibles, en conjunto con el patrón de corrientes costa afuera del archipiélago, permitiendo a futuro elaborar planes de contingencia para la protección de sitios de alta sensibilidad como el que rodea Bahía Naufragio.

Los equipos que se utilizaron para este cometido fueron veletas y un correntómetro INTEROCEAN S4 pertenecientes al INOCAR y una mini estación meteorológica Kestrel provista por la Facultad de Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales. Las diferentes corridas de veletas exploraron los sistemas de corrientes superficiales y subsuperficiales, mientras que con el correntómetro S4 registró corrientes en toda la columna

de agua (superficial, media y fondo). Los datos históricos entregados por INOCAR fueron en su mayoría datos obtenidos mediante el método Euler, la data corresponde a los años 1991, 2002 y 2007, siendo este último año la excepción, puesto que se realizó registro por el método Euler y Lagrange y en el cual la tesista participó.

Este proyecto de Tesis, además, servirá como plataforma para la fase de pruebas en mar abierto del 'Derivador Basado en GPS Monitoreado por Radio' (Proyecto de Tesis de FIEC CICYT PEC-07-10), instrumento con el cual una vez terminada su fase de pruebas, se lo operará para adquirir corrientes por el método lagrangiano cubriendo un área mayor a la especificada (alcance operativo mínimo, 3 Km.), lo cual implica un estudio del patrón circulatorio mucho más completo de la zona. Vale indicar que estos temas de Tesis se encuentran interrelacionados en sus diversas fases de ejecución proyectadas, convirtiéndose este hecho en un importante precedente en el desarrollo de Tesis entre dos Facultades (FIMCBOR / FIEC). Además, el éxito de la operación de este equipo proveerá a ESPOL la oportunidad de obtener una patente y sus respectivas regalías.

Algunos de los estudios llevados a cabo en la zona han sido investigados por Lucero (1989), quien encontró que la subcorriente ecuatorial se manifiesta con variaciones estacionales en sus afloramientos asociados a la temperatura, salinidad y anomalía termostérica; Lucero (2000), determinó el patrón de circulación alrededor de las Islas Galápagos, el mismo que esta principalmente influenciado por la presencia de los fuertes afloramientos producidos al oeste de las islas, por la topografía submarina del Archipiélago y por la presencia de las derivas superficiales hacia al oeste, producto de la convergencia de las Corrientes Sur Ecuatorial y Corriente de Perú; Espín & Nath (1992), realizaron una caracterización del régimen del oleaje en la isla San Cristóbal, llegando a la conclusión que este corresponde a un régimen

estacional ya que las olas de mayor altura y menores periodos se presentaron durante la época seca (mayo a septiembre) y las de menor amplitud y grandes periodos en la época; Cedeño, Avilés, De la Cuadra, Abata & Cornejo M.P. (2006), obtuvieron el ciclo anual de las corrientes superficiales en un área comprendida latitudinalmente entre 30°N y 30°S, y longitudinalmente entre 130°W y 70°W utilizando la base de datos "OSCAR" (Ocean Surface Current Analyses – Real Time) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), la cual estima vectores de circulación superficial en el océano en base a datos de altimetría y vientos en superficie medidos a través de escaterómetros.



## RESUMEN

Aplicando la metodología de Lagrange y Euleriana para medición de corrientes, se realizó un estudio del patrón de circulación histórico en Bahía Naufragio, frente a Puerto Baquerizo Moreno, en la Isla San Cristóbal, para cuyo efecto se utilizaron: un correntómetro S4 de la marca InterOcean y flotadores tipo veletas superficiales y subsuperficiales (3 metros de profundidad). El registro de datos pertenece a 3 años de mediciones (2007, 2002 y 1991), los cuales cubren las dos estaciones climáticas presentes en San Cristóbal.

De estas observaciones se encontró que mediante el método Lagrange la tendencia general del flujo es de dirigirse hacia el NW, así mismo se observó que las velocidades superficiales tienden a ser mayores que las subsuperficiales, con valores máximos de 29 cm/s y dirección 339 NW durante el reflujó; encontrando una relación directa con el viento. Hay que enfatizar que estas mediciones se las realizó en la temporada seca del 2007 cuando los vientos alisios son más fuertes.

Los resultados obtenidos con el método Euleriano muestran que el estado de marea influye directamente en la dirección de las corrientes, teniendo que para las ocho estaciones distribuidas dentro la bahía, las corrientes

superficiales, medias y de fondo tiende a dirigirse hacia el Oeste y Este, con ciertos cambios en su dirección hacia el Norte o Sur dependiendo del cambio de marea. Así mismo, las velocidades de la corriente superficial son mayores para las ocho estaciones, mientras que a nivel de fondo se registró las menores velocidades. Determinando que el sistema de circulación en Bahía Naufragio está presente una co-existencia entre los factores del ciclo mareal e intensidad del viento.

Con los resultados expuestos se tiene que ciertamente los métodos de medición de corrientes Euleriano y Lagrangiano permiten caracterizar los sistemas de corrientes presentes en Bahía Naufragio. Siendo de gran importancia el conocimiento del sistema de circulación en la isla por ser considera un área de alta sensibilidad y mediante los resultados expuestos se podrá establecer planes de contingencia para futuras eventualidades.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
ANTECEDENTE.....	VI
RESUMEN.....	IX
ÍNDICE GENERAL.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	XXII
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	XXIII
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1	
1. EL ÁREA DE ESTUDIO.....	7
1.1 Generalidades del área.....	7
1.1.1 Condiciones Oceanográficas alrededor de las Islas Galápagos.....	9
1.1.2 Condiciones Meteorológicas alrededor de las Islas Galápagos.....	15
1.1.3 Estudios previos de corrientes en la zona.....	18

## CAPITULO 2

2. MÉTODOS DE MEDICIONES DE CORRIENTES.....	20
2.1 Conceptos Generales de Corrientes.....	20
2.1.1 Sistema de corrientes Lagrangianos.....	25
2.1.2 Sistema de corrientes Eulerianos.....	29
2.2 Planificación de actividades.....	32
2.3 Métodos de medición de corriente Costera.....	35
2.3.1 Instrumentación para la obtención de corrientes por el método de Lagrange (Veletas).....	36
2.3.2 Instrumentación para la obtención de corrientes por el método de Euler.....	37
2.4 Metodología de análisis de datos.....	39
2.4.1 Método Lagrangianos.....	41
2.4.2 Método Euleriano.....	41
2.4.3 Análisis espectral.....	47

## CAPITULO 3

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA INFORMACIÓN.....	52
3.1 Campo de corrientes superficiales y subsuperficiales por el método de Lagrange.....	53
3.2 Campo de corrientes superficiales, subsuperficiales y de fondo por el método de Euler .....	59

3.2.1 Resultados de la campaña del 2007.....	59
3.2.2 Resultados de la campaña del 2002.....	86
3.2.3 Resultados de la campaña del 1991.....	107
3.3 Análisis Espectral de la data 1991.....	119
CAPITULO 4	
4. CONCLUSIONES.....	121
CAPITULO 5	
5. RECOMENDACIONES.....	125
ANEXOS.....	128
BIBLIOGRAFÍA.....	170

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Sumario de actividades para mediciones de campo 11-14/08/2007 .....	34
Tabla 2.2. Tabla de especificaciones del equipo S4.....	39
Tabla 2.3. Coordenadas geográficas de estaciones en Bahía Naufragio.....	40
Tabla 2.4. Comisiones en Bahía Naufragio, Isla San Cristóbal, Galápagos..	42
Tabla 2.5. Registro de magnitudes de viento en Bahía Naufragio.....	51
Tabla 2.6. Registro de magnitudes de viento en Bahía Naufragio... ..	51
Tabla 3.1. Resultados obtenidos mediante el método Lagrangiano (uso de veletas) en Bahía Naufragio.....	57
Tabla 3.2. Resultados obtenidos el año del 2007, Bahía Naufragio, Isla San Cristóbal, Galápagos.....	82
Tabla 3.3. Resultados obtenidos el año del 2002, Bahía Naufragio, Isla San Cristóbal, Galápagos.....	104
Tabla 3.4. Resultados obtenidos el año del 2002, Bahía Naufragio, Isla San Cristóbal, Galápagos.....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distancias lineales de algunas islas del archipiélago al Ecuador Continental.....	3
Figura 1.1. Ubicación del área de estudio.....	8
Figura 1.2. Esquema de la Circulación Pacífica (Oregon State University, 2003).....	10
Figura 1.3. Presencia de la Subcorriente Ecuatorial en las islas Galápagos, y ubicación de los afloramientos más persistentes (áreas verdes) alrededor de las islas (The Oceanography Course Team, 1991).....	14
Figura 2.1. Esquema de la Circulación Termohalina (Columbia University, 2003).....	22
Figura 2.2. Un ejemplo de estudio de corrientes por el método Lagrangiano.....	26
Figura 2.3. Configuración de la botella de deriva y tarjeta de identificación (Medina, 1991).....	28
Figura 2.4. Diversos sistemas satelitales, especialmente el Argos.....	29
Figura 2.5. Principios de operación de los distintos tipos de correntómetros.....	30
Figura 2.6. Esquema de un anclaje del tipo subsuperficial.....	31
Figura 2.7. Esquema de un anclaje del tipo superficial.....	32

Figura 2.8. Armado de veletas para mediciones superficiales y subsuperficiales .....	37
Figura 2.9. Correntómetro Interocean S4.....	38
Figura 2.10. Ubicación geográfica de estaciones en Bahía Naufragio.....	40
Figura 2.11. Carpeta MATCOR.ZIP después de descomprimirla e incorporarla a la carpeta WORK del MATLAB.....	45
Figura 3.1. Trayectorias de corrientes superficiales (a), subsuperficiales (b) y curva de magnitud de viento y marea (c) para el día 11/09/2007 .....	54
Figura 3.2. Trayectorias de corrientes superficiales (a), subsuperficiales (b) y curva de magnitud de viento y marea (c) para el día 12/09/2007.....	55
Figura 3.3. Trayectorias de corrientes superficiales (a), subsuperficiales (b) y curva de magnitud de viento y marea (c) para el día 13/09/2007.....	57
Figura 3.4. Vectores resultantes de la corriente superficial y subsuperficial del 11/sep/2007 (a), 12/sep/2007 (b) y 13/sep/2007 (c) Bahía Naufragio.....	58
Figura 3.5. Ubicación geográfica de las estaciones 2007 dentro de Bahía Naufragio, Isla San Cristóbal, Galápagos.....	59



- Figura 3.6. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujo (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel SUPERFICIAL en la E1, Bahía Naufragio.....61
- Figura 3.7. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujo (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel MEDIO en la E1, Bahía Naufragio.....62
- Figura 3.8. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujo (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de FONDO en la E1, Bahía Naufragio.....65
- Figura 3.9. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujo (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel SUPERFICIAL en la E2, Bahía Naufragio.....66
- Figura 3.10. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujo (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel MEDIO en la E2, Bahía Naufragio.....68
- Figura 3.11. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujo (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de FONDO en la E2, Bahía Naufragio... ..70
- Figura 3.12. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujo (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel SUPERFICIAL en la E3, Bahía Naufragio..72

- Figura 3.13. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel MEDIO en la E3, Bahía Naufragio.....74
- Figura 3.14. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de FONDO en la E3, Bahía Naufragio.....76
- Figura 3.15. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel SUPERFICIAL en la E4, Bahía Naufragio..78
- Figura 3.16. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel MEDIO en la E4, Bahía Naufragio.....80
- Figura 3.17. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de FONDO en la E4, Bahía Naufragio.....82
- Figura 3.18. Vectores resultantes de la corriente superficial (a), media (b) y de fondo (c), año 2007, Bahía Naufragio.....85
- Figura 3.19. Ubicación geográfica de las estaciones 2002 dentro de Bahía Naufragio, Isla San Cristóbal, Galápagos.....86
- Figura 3.20. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel SUPERFICIAL en la E5, Bahía Naufragio..88

- Figura 3.21. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel MEDIO en la E5, Bahía Naufragio.....86
- Figura 3.22. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de FONDO en la E5, Bahía Naufragio.....92
- Figura 3.23. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel SUPERFICIAL en la E6, Bahía Naufragio..94
- Figura 3.24. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel MEDIO en la E6, Bahía Naufragio.....96
- Figura 3.25. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de FONDO en la E6, Bahía Naufragio.....98
- Figura 3.26. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel SUPERFICIAL en la E7, Bahía Naufragio.....100
- Figura 3.27. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel MEDIO en la E7, Bahía Naufragio.....102

- Figura 3.28. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de FONDO en la E7, Bahía Naufragio.....100
- Figura 3.29. Vectores resultantes de la corriente superficial (a), media (b) y de fondo (c), año 2002, Bahía Naufragio.....104
- Figura 3.30. Ubicación geográfica de las estaciones 1991 dentro de Bahía Naufragio, Isla San Cristóbal, Galápagos.....105
- Figura 3.31. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Diagrama vectorial reflujos (c) y diagrama vectorial flujo (d) a nivel de FONDO en la E8. Mes de Marzo, Bahía Naufragio.....110
- Figura 3.32. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Diagrama vectorial reflujos (c) y diagrama vectorial flujo (d) a nivel de FONDO en la E8. Mes de Abril, Bahía Naufragio.....112
- Figura 3.33. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Diagrama vectorial reflujos (c) y diagrama vectorial flujo (d) a nivel de FONDO en la E8. Mes de Mayo, Bahía Naufragio.....113
- Figura 3.34. Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Diagrama vectorial reflujos (c) y

diagrama vectorial flujo (d) a nivel de FONDO en la E8. Mes de Junio, Bahía Naufragio.....	115
Figura 3.35. Vectores resultantes de la corriente de fondo, marzo (a), abril (b) mayo (c) y junio (d), año 1991, Bahía Naufragio.....	119
Figura 3.36. Espectro de la magnitud de la corriente (línea azul) para los meses de abril y mayo. La frecuencia predominantes s de 0.16 cph (ciclos por hora), que corresponde un periodo de 6.30 horas.....	120

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
CADS	Centro de Agua y Desarrollo Sustentable
CICYT	Centro de Investigación Científica y Tecnológica de la ESPOL
CVR	Centro de Visión y Robótica
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INGALA	Instituto Nacional Galápagos
INOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada Nacional
NOAA	Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (National Oceanic and Atmospheric Administration)

**ÍNDICE DE ABREVIATURAS**

TSM	Temperatura Superficial del Mar
UPS	Unidades Prácticas de Salinidad
T	Temperatura
°C	Grados Celsius (Temperatura)
S	Salinidad
cm/s	Centímetros/segundos
cm <sup>3</sup> /seg	Centímetros cúbicos/segundos
H.N.	Hemisferio Norte
H.S.	Hemisferio Sur
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical
ASTS	Agua Subtropical Superficial
ATS	Agua Tropical Superficial
IOS	Índice de Oscilación del Sur

# INTRODUCCION

Las Islas Galápagos, oficialmente el Archipiélago de Colón (Atlas Panorámico del Ecuador) es uno de los ecosistemas más grandes, complejos, diversos y mejor conservados en términos ecológicos que existen actualmente en el planeta. En 1959 el Estado ecuatoriano reconoció oficialmente la importancia de este rico patrimonio natural, protegido bajo la figura de Parque Nacional a cerca de un 97% de la superficie emergida del archipiélago.

Las Islas Galápagos se encuentran ubicadas en el Océano Pacífico a la altura de la línea ecuatorial que pasa por su montaña más alta, el volcán Wolf, situado al norte de la isla Isabela. El archipiélago tiene su centro geográfico a 0°31.22'S y 90°31.26'O (Snell et al., 1996). Las coordenadas de referencia más externas van desde los 89°14' hasta los 92°00' de longitud Oeste y desde los 1°40' de latitud Norte y los 1°24' de latitud Sur; delimitando aproximadamente una superficie de 54.156 km<sup>2</sup> de tierra y mar (Plan de Manejo PNG, 2005).

El archipiélago de Galápagos incluye 233 unidades terrestres emergidas (islas, islotes y rocas), aunque en trabajos anteriores (Snell et al., 1996; Tye et al., 2002) se registran sólo 128, el PNG (Parque Nacional Galápagos)

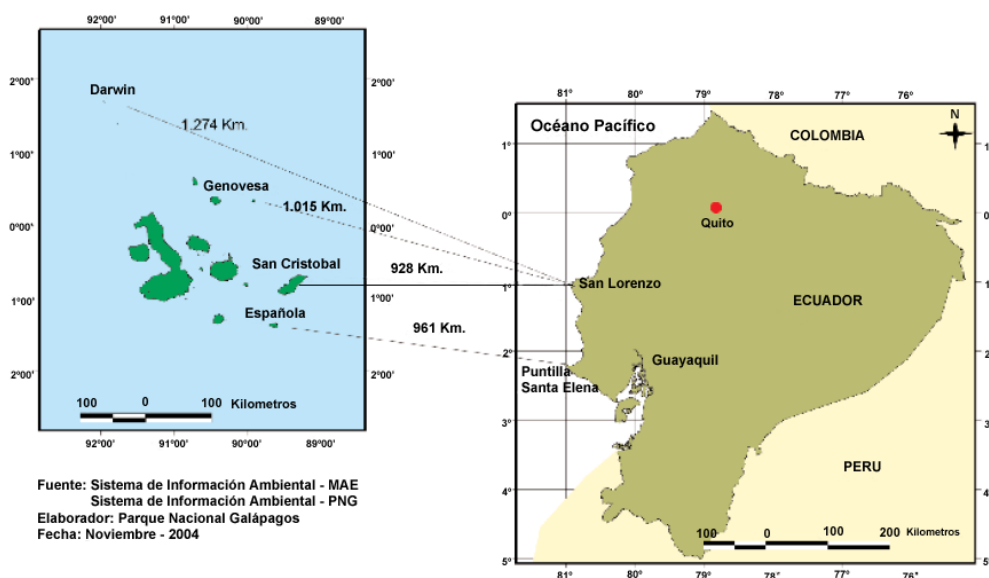


tiene inventariadas en la actualidad 105 unidades más. De cualquier forma, ésta es una cifra que permanece abierta debido al carácter altamente dinámico de los procesos geológicos que modelan este archipiélago volcánico y por tanto siempre pendiente de nuevas prospecciones y actualizaciones. Lo cual, se encuentra registrados en el Sistema de Información Ambiental del PNG.

La superficie total emergida del archipiélago es de 7.995,4 Km<sup>2</sup> y posee una línea de costa de 1.688 Km. (Fuente: Sistema de Información Geográfica PNG. Amaerican Blue Chart V.6). Hay 13 islas grandes, con una superficie mayor de 10 Km<sup>2</sup>. Otras cinco islas pueden considerarse medianas, con un tamaño de entre 1 y 10 Km<sup>2</sup>. Las restantes 215 unidades son islotes de tamaño pequeño, además de numerosos promontorios rocosos de pocos metros cuadrados de superficie. Cinco de las islas (Isabela, Santa Cruz, Fernandina, Santiago y San Cristóbal) representan el 93,2% de la superficie total del archipiélago.

San Cristóbal es la quinta isla más grande y la segunda con mayor población (INEC 2001), situada en el extremo oriental de las Islas Galápagos. El extremo noreste de la isla San Cristóbal tiene la distancia más cercana al continente (928 Km.), mientras que la isla Darwin tiene la distancia más alejada (1.274 Km.), figura 1.

**Figura 1.** Distancias lineales de algunas islas del archipiélago al Ecuador Continental.



Desde el punto de vista oceanográfico se incluye a las islas en muchos estudios a nivel oceánico ya que al ser las únicas islas en el Pacífico Ecuatorial Oriental, estas son consideradas como un indicador para detectar perturbaciones presentes en esta zona (Hogelschatz et. al, 1985).

El sistema de circulación presente en las Islas Galápagos es bastante complejo, la combinación de corrientes oceánicas frías y cálidas hace que las islas Galápagos sean únicas, tres son las principales: la corriente fría de Perú que trae agua fresca a las islas, la misma que se origina en la región

Subantártica (Strub et al., 1998); la corriente submarina de Cromwell o Subcorriente Ecuatorial (Lukas, 1985, Wyrski, 1967) que aflora cuando toca la plataforma, siendo la responsable de la rica y variada vida marina en Galápagos; y la corriente cálida de Panamá o de El Niño (Cucalón, 1987).

Por sus características climáticas se considera a las islas de clima subtropical, localizadas en una zona de transición entre la costa occidental de Sudamérica y el de la zona seca del Océano Pacífico Central (Enfield, 1975). El clima de las islas se encuentra relacionado también con la altitud, pues la mayor parte de la lluvia es generada por el aire ascendente, impulsado por los vientos preponderantes desde el sudeste, por ello la vegetación de Galápagos esta zonificada según la altitud.

Bahía Naufragio, ubicada en la Isla San Cristóbal (figura 1.1, Capítulo 1), representa un ecosistema bastante frágil, que en tiempo atrás fue protagonista de una tragedia ecológica, producida por el derrame de 240,000 galones de combustible (Fundación Charles Darwin), amenazando a la flora y fauna existente de esta isla, de ahí que hace necesario la realización de estudios sobre la circulación costera, para la elaboración de planes de contingencia que permitan prevenir y mitigar las consecuencias de este tipo de tragedias sobre áreas frágiles y de importancia mundial.

Este estudio describe las observaciones de corrientes obtenidas en Bahía Naufragio, abarcando dos estaciones climáticas (estación seca - estación lluviosa) con datos históricos de la bahía facilitados por el INOCAR (Instituto Oceanográfico de la Armada), dichas mediciones fueron tomadas mediante las técnicas de medición Eulerianas y Lagrangianas de medición de corrientes.

La importancia de monitorear condiciones oceanográficas físicas, y dentro de ellas, el sistema circulatorio en la zona, obedece en primera instancia a intereses del INOCAR en realizar varios proyectos alrededor de las islas, incluida San Cristóbal. Además, es importante definir el esquema circulatorio de la bahía por cuanto estos datos pudieran ser requeridos para modelar derrames potenciales de combustibles, en conjunto con el patrón de corrientes costa afuera del archipiélago, permitiendo a futuro elaborar planes de contingencia para la protección de sitios de alta sensibilidad como el que rodea Bahía Naufragio.

Dado estos antecedentes, el principal objetivo de este estudio es establecer el patrón circulatorio en Bahía Naufragio, frente a Puerto Baquerizo Moreno, en la isla San Cristóbal, así como, el de servirle de plataforma de pruebas al proyecto “Desarrollo de un derivador Monitoreado por Radio-DMR”, el mismo que utiliza la misma metodología de medición de corrientes que una veleta

pero de manera automatizada. En una iniciativa las pruebas debieron ser realizadas en la isla San Cristóbal, pero debido a problemas logísticos y a tiempos las pruebas se desarrollaron en San Pedro de Manglar Alto, el informe con los resultados obtenidos de las pruebas del DMR se muestran en el Anexo C.

# CAPITULO 1

## 1. EL ÁREA DE ESTUDIO

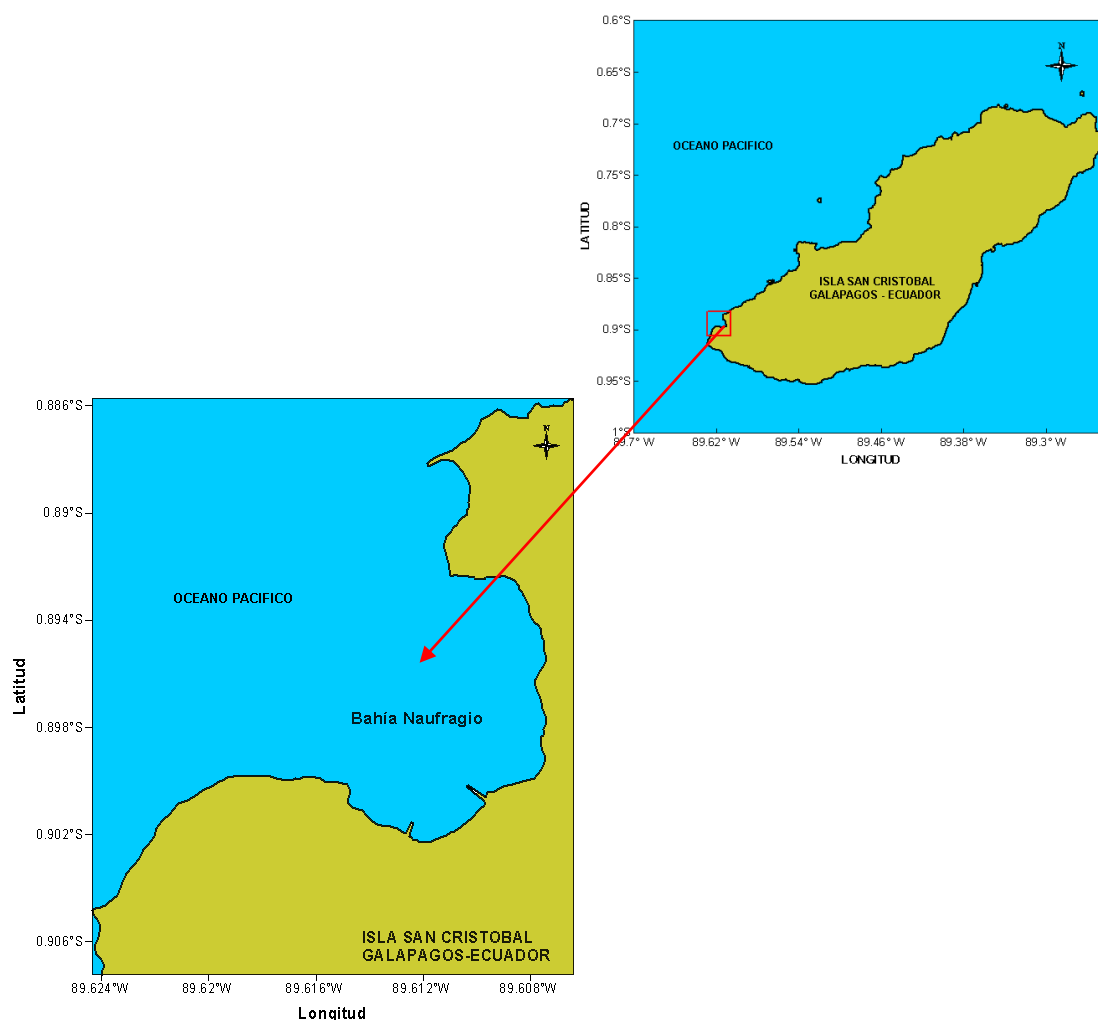
### 1.1 Generalidades del área

Bahía Naufragio está localizada al Suroeste de la Isla San Cristóbal (figura 1.1) conocida también con el nombre de Chatham, es la quinta isla más grande de Galápagos. Su ciudad principal es Puerto Baquerizo Moreno, situada al suroeste de la isla, siendo también la capital de la provincia de Galápagos. La isla San Cristóbal es la segunda en número de población de todo el archipiélago con un estimado de 5633 habitantes (INEC, 2001). La isla tiene un área de 558 Km<sup>2</sup> y una altitud máxima de 730 m, representada por cerro San Joaquín.

San Cristóbal guarda espectaculares sitios naturales como: el León Dormido, la laguna de Junco (que es la única fuente de agua dulce del archipiélago), la Bahía Naufragio, el cerro de las Tijeretas, y la colina de

Las Fragatas; en la parte norte de la isla se puede observar algunos picos volcánicos, los cuales revelan su origen volcánico.

La mayor parte de la circulación superficial en la región ecuatorial de los océanos esta dominada por el flujo hacia el oeste producida por los vientos Alisios.



**Figura 1.1.** Ubicación del área de estudio (Elaborado por el autor, 2012)

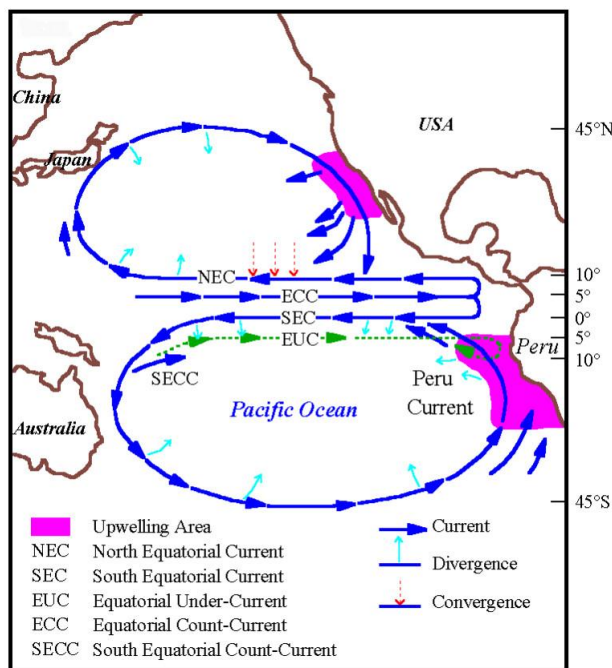
### **1.1.1 Condiciones Oceanográficas alrededor de las Islas Galápagos.**

La mayor parte de la circulación superficial de la región ecuatorial de los océanos esta dominada por el flujo hacia el Oeste (W) producido por los vientos Alisios. A lo largo de las costas de América llegan al Ecuador, la Corriente de California desde el Norte y el Sistema de Corrientes de Perú desde el Sur. En latitudes bajas (por efecto Coriolis), estas corrientes giran hacia el Oeste para formar parte de las corrientes ecuatoriales del Norte y Sur respectivamente.

De acuerdo al modelo de circulación propuesta de Wyrski (1966), el balance en el Pacífico Oriental Tropical no se podría dar sin la presencia de un flujo subsuperficial hacia el Este, que fue oficialmente detectado por Cromwell en 1952 y que se conoce como la subcorriente ecuatorial o Corriente de Cromwell.

Para el presente trabajo se puede considerar como más significativas en la zona de estudio la Corriente Ecuatorial del Sur, la Contracorriente Ecuatorial del Norte y la Subcorriente Ecuatorial (figura 1.2).





**Figura 1.2.** Esquema de la Circulación Pacífica (Oregon State University, 2003)

La **Corriente Ecuatorial del Sur** atraviesa todo el Pacífico en dirección Este – Oeste, llevando **AGUA SUBTROPICAL SUPERFICIAL (ASTS)**, cuyo rango de temperatura (T) es de 17°C - 25°C y salinidad (S) > 35UPS a toda la zona de Galápagos. El ASTS es relativamente fría, de alta salinidad y rica en nutrientes (Cucalón, 1983).

Su velocidad máxima de 50 cm/s en su frontera Norte (4°N - 5°N) no es estable durante todo el año. Próxima al Ecuador su espesor se ve disminuido (20 - 50 m) por la presencia de la Subcorriente Ecuatorial. Al sur la velocidad disminuye, pero la corriente permanece estable, se

profundiza (espesor 200 m) y se puede distinguir hasta los 10°S. Su transporte se estima en  $60 \times 10^{12} \text{ cm}^3/\text{s}$ , producto de los aportes de la Corriente de Perú, Contracorriente Ecuatorial, Subcorriente Ecuatorial y afloramientos (EPOCS, 1989).

La **Contracorriente Ecuatorial del Norte** se origina en el Pacífico Occidental, fluye hacia el Este y su posición está entre 4°N - 5° N y 9°N, está considerada como angosta (300 – 700 Km) tiene un desplazamiento estacional muy marcado en tamaño e intensidad, más fuerte de Septiembre a Noviembre, más débil de Marzo a Mayo, variando así mismo su transporte entre  $30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}$  (Taft, 1981). Al este de 110°W es desviada ligeramente hacia el Sur, su flujo decrece y parte gira hacia el Norte; y hacia el Sur, donde se une a la Corriente Ecuatorial del Sur y al Corriente Subsuperficial de Perú.

Parte de su flujo llega a la Cuenca de Panamá donde junto con agua producida por procesos locales como precipitación e insolación fuertes, origina el Agua Tropical Superficial (ATS); de una  $T > 25^\circ\text{C}$  y una  $S < 34\text{UPS}$ , esta masa de agua esta limitada a una delgada y bien mezclada capa superficial (20 – 50 m), pobre en nutrientes (Cucalón, 1983).

Estas masas de agua, (ASTS) y (ATS), se encuentran separadas por una zona de marcados gradientes termohalinos conocida como **FRENTE**

profundiza (espesor 200 m) y se puede distinguir hasta los 10°S. Su transporte se estima en  $60 \times 10^{12} \text{ cm}^3/\text{s}$ , producto de los aportes de la Corriente de Perú, Contracorriente Ecuatorial, Subcorriente Ecuatorial y afloramientos (EPOCS, 1989).

La **Contracorriente Ecuatorial del Norte** se origina en el Pacífico Occidental, fluye hacia el Este y su posición está entre 4°N - 5° N y 9°N, está considerada como angosta (300 – 700 Km) tiene un desplazamiento estacional muy marcado en tamaño e intensidad, más fuerte de Septiembre a Noviembre, más débil de Marzo a Mayo, variando así mismo su transporte entre  $30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}$  (Taft, 1981). Al este de 110°W es desviada ligeramente hacia el Sur, su flujo decrece y parte gira hacia el Norte; y hacia el Sur, donde se une a la Corriente Ecuatorial del Sur y al Corriente Subsuperficial de Perú.

Parte de su flujo llega a la Cuenca de Panamá donde junto con agua producida por procesos locales como precipitación e insolación fuertes, origina el Agua Tropical Superficial (ATS); de una  $T > 25^\circ\text{C}$  y una  $S < 34\text{UPS}$ , esta masa de agua esta limitada a una delgada y bien mezclada capa superficial (20 – 50 m), pobre en nutrientes (Cucalón, 1983).

Estas masas de agua, (ASTS) y (ATS), se encuentran separadas por una zona de marcados gradientes termohalinos conocida como **FRENTE**

**ECUATORIAL** que se extiende desde la Costa Sur del Ecuador ( $1^{\circ}\text{S}$  -  $3^{\circ}\text{S}$ ) hasta el Norte de las Islas Galápagos ( $0^{\circ}\text{N}$  -  $3^{\circ}\text{N}$ ) (Cucalón, 1987); los gradientes se consideran como de:  $0.05 - 0.09^{\circ}\text{C}$  por milla en T y  $0.02 - 0.04\text{UPS}$  por milla en S (Okuda et al., 1983). El contacto de las diferentes masas de agua ocasiona un aumento de la biomasa planctónica en las proximidades del frente (Jiménez y Bonilla, 1980) que también es conocido por ser rico en biomasa animal, especialmente en los niveles tróficos superiores como peces carnívoros y cetáceos.

El Frente Ecuatorial se encuentra mucho más definido cerca del continente que en mar abierto donde procesos de mezcla destruyen su estructura; presenta marcadas variaciones estacionales, su presencia se distingue mejor durante el invierno del hemisferio Sur cuando hay un marcado contraste de temperatura y salinidad ( $5^{\circ}\text{C}$  -  $6^{\circ}\text{C}$  y  $1\text{UPS}$ ); de Enero a Marzo el frente aún se encuentra marcado por diferencias de salinidad (Enfield, 1975).

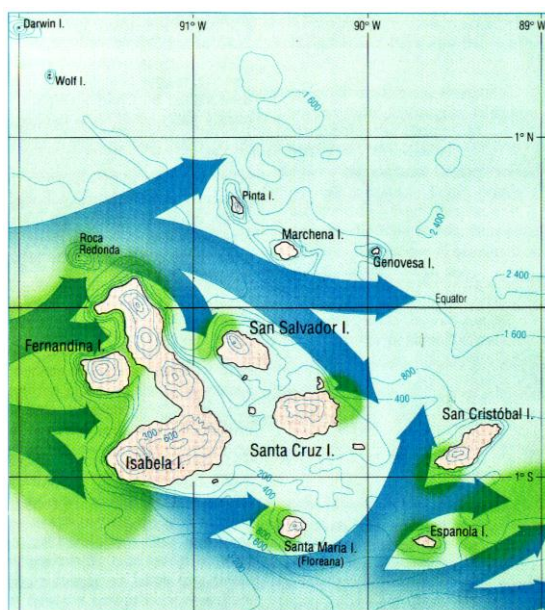
La **Subcorriente Ecuatorial o Corriente de Cromwell** es probablemente la más importante en el área de Galápagos, se extiende desde el Pacífico Central ( $160^{\circ}\text{E}$ ) hacia las Islas Galápagos en el Pacífico Oriental; Tsuchiya (1972), establece su presencia a lo largo de la faja ecuatorial en el Océano Pacífico. Se abastece de aguas de origen subtropical,

moviéndose hacia el ecuador bajo la capa superficial y que cuando llegan al este, escapan del efecto de rotación de la tierra (Coriolis) y son tomadas por la Subcorriente (Houvenaghel, 1984). Su flujo tiene unos 300 Km de ancho, 200 m de espesor velocidad promedio 1 m/s a una profundidad entre 50 y 200 m (Hastenrath, 1985), estando su frontera superior más profunda en el Pacífico Central (núcleo 100 m) reduciéndose a medida que avanza hacia el Este (núcleo a 40 m de profundidad al Oeste de Galápagos, Abbott, 1982).

En el Pacífico Central se tienen medidas de su flujo de  $40 \times 10^{12} \text{cm}^3/\text{s}$  (Montgomery y Strout 1962) y velocidad 100 – 150 cm/s, valores que disminuyen al llegar al Este. Knauss (1966) obtuvo un transporte de  $80 \times 10^{12} \text{cm}^3/\text{s}$  en los  $93^\circ\text{W}$  y en los  $87^\circ\text{W}$  de  $4 \times 10^{12} \text{cm}^3/\text{s}$ , sugiriendo que el flujo de la Subcorriente decrece antes de alcanzar los  $96^\circ \text{W}$  y se bifurca al llegar a Galápagos en dos ramales: uno más fuerte al Norte y otro más débil hacia el Sur.

Basados en observaciones de Houvenaghel (1973, 1974 y 1978), la disminución de velocidad de la subcorriente cuando se acerca a Galápagos y las desviaciones inducidas por la topografía de las islas, parece ser la característica más importante de la Oceanografía de Galápagos.

La Subcorriente Ecuatorial transporta aguas frías de alta salinidad consideradas como Agua Ecuatorial Subtropical (AEES); de T 13 – 15°C, y una S entre 34.9 y 35.1 UPS (Montgomery y Strout, 1962); que al llegar a Galápagos afloran, enriqueciendo aguas superficiales, propiciando condiciones especiales en diferentes sectores de Galápagos, especialmente en la parte Oeste (figura 1.3), que favorecen la adaptación de especies únicas del archipiélago.



**Figura 1.3.** Presencia de la Subcorriente Ecuatorial en las islas Galápagos, y ubicación de los afloramientos más persistentes (áreas verdes) alrededor de las islas (The Oceanography Course Team, 1991).

Lucero y Cornejo (1990) revelan que la Subcorriente al llegar a su extremo oriental se encuentra afectada por diferentes factores hidrodinámicos producidos por un sistema de circulación algo compleja que no le permite su presentación total con una masa aislada de características propias como el Pacífico Central, sin embargo mantiene características termohalinas que han permitido establecer su presencia al Este de las Islas Galápagos hasta 84°W, especialmente en periodos considerados normales.

### **1.1.2 Condiciones Meteorológicas alrededor de las Islas Galápagos.**

A pesar de la localización del archipiélago en el Pacífico Oriental Tropical el clima que se tiene no es el típico de la región tropical en toda la zona, encontrando características tropicales al Norte, mientras al Sur son subtropicales; en la zona central las características son bastante complejas, por lo cual la variación de TSM (Temperatura Superficial del Mar) de Norte a Sur es bastante irregular (Abbott, 1982).

La fluctuación de las condiciones oceanográficas – meteorológicas en Galápagos son consecuencia de los complicados mecanismos que gobiernan la interacción océano – atmósfera del H.S. (hemisferio sur), cuyo signo más importante es el indicador por el Índice de Oscilación del

Sur (IOS), que se define como la diferencia de presión al nivel del mar entre el centro de baja presión localizado en la región Indonésica (centrado en Darwin, Australia) y en el centro de alta presión del Pacífico Sur – Este (Tahití, Polinesia Francesa).

Wyrtki (1996 y 1975) manifiesta que las propiedades oceanográficas de las aguas superficiales de Galápagos están bajo la influencia de la velocidad del viento y su dirección, y esto a su vez regula el clima local.

Por cambios estacionales de la Oscilación del Sur las islas Galápagos presentan dos estaciones climáticas durante el año, así tenemos que para los meses de Junio – Noviembre (invierno del Hemisferio Sur) los vientos alisios del Sur – Este se ven intensificados dando paso a la estación fría o seca, observándose la intensidad de la Corriente Ecuatorial del Sur y la Subcorriente Ecuatorial, así mismo los afloramientos son más definidos. La Contracorriente Ecuatorial del Norte también esta presente (3° al Norte) transportando aguas Tropicales del Pacífico Occidental al Oriental (Región 4°N – 10°N, Enfield, 1984).

En la estación fría se observa que la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) se encuentra ubicada a 7°N y el Frente Ecuatorial se alinea con el paralelo 1°N. La TSM se presenta por debajo de los 24°C en la mayor



parte del archipiélago, mientras que al oeste la temperatura promedio es de 17 – 19°C (mínimo 15°C).

Algunas características que presenta esta estación son: una inversión estable de la baja atmósfera (nube tipo estrato), así como una llovizna (garúa) persistente sobretodo en la parte expuesta al viento de las islas altas, con una mayor intensidad en los meses más fríos de agosto y septiembre (25% al 60% de los días de duración de la estación).

En el mes de diciembre la intensidad de los vientos alisios del Sur Este disminuye, da el paso a la llegada de la estación cálida o húmeda, en la cual, la Corriente Ecuatorial del Sur no ejerce mayor influencia en las islas, la Contracorriente Ecuatorial del Norte termina en los 120°W, los afloramientos continúan pero no con la intensidad que se presentan en la estación fría. La ZCIT se desplaza hacia el sur al igual que el Frente Ecuatorial; el remolino ciclónico de la Cuenca de Panamá está fuertemente desarrollado con un flujo hacia el sur, impulsado por los predominantes vientos alisios del Noreste, formando el conocido Flujo de Panamá o Corriente Cálida de El Niño (Cucalón, 1987), que en condiciones normales se extiende desde los 2°S hasta los 3°S.

La TSM promedio durante la estación cálida es de 26°C – 28°C (en zonas de afloramientos 24°C), los cielos están despejados y se observan formaciones cumuliformes que originan eventualmente las lluvias características en este período.

Jackson (1993), considera que el clima de las islas es impredecible y frecuentemente severo, siendo este un factor muy importante en el hecho de que tan pocas especies sobreviven en las islas.

Para Bahía Naufragio, Glynn y Wellington (1983), mencionan que puede ser en momentos anormalmente fría y sujeta a rápidos cambios de temperatura, sugiriendo la posibilidad de un afloramiento. Harris (1969) basado en sus observaciones y en las de Abbot (1966) indica que la TSM en Bahía Naufragio son más que la media general del archipiélago: 5°C durante la estación fría y 1.5 °C durante la estación cálida.

### **1.1.3 Estudios previos de corrientes en la zona**

No han sido muchos los estudios que se han realizado en la zona de interés; de manera general los principales estudios llevados a cabo en la zona son: 'Estructura de la Corriente de Cromwell y sus variaciones asociadas con los afloramientos Ecuatoriales' (Lucero M., 1989, Tesis de

Grado en Oceanografía de ESPOL), 'Distribución de las corrientes alrededor de las Islas Galápagos' (Lucero M., 2000), 'Características del régimen de olas en San Cristóbal, Islas Galápagos' (Espín S. & Nath J., 1992), 'Climatología de las Corrientes Marinas Superficiales en el Océano Pacífico Tropical Este' (Avilés A. & Aguayo L., 2005), 'Ciclo anual de las Corrientes Marinas Superficiales en el Océano Pacífico Oriental' (Cedeño J., Avilés A., De la Cuadra T., Abata K. & Cornejo-Grunauer M.P., 2006) y 'Seasonal Variability in the Surface Currents of the equatorial Pacific' (Reverdin G., Frankignoul C., Kestenare E. & McPhaden M.J., 1994), 'The Circulation of the Eastern Tropical Pacific: a Review' ( Kessler W., 2006) y 'A characterization of the Equatorial Undercurrent between 92°00'W and 91°20'W' (Ode K., 2006).

# CAPITULO 2

## 2 METODOS DE MEDICIONES DE CORRIENTES

### 2.1 Conceptos Generales de Corrientes

Las corrientes oceánicas representan una mezcla compleja de diferentes tipos de movimientos periódicos y aperiódicos del agua, oscilando en velocidad y tiempo. La variabilidad de la velocidad y dirección de las corrientes oceánicas es una de las más excepcionales características que tienen (Neuman, 1968).

Las corrientes pueden ser representadas por vectores que representan la velocidad y la dirección del movimiento del agua en un lugar y tiempo específico. Según Sverdrup *et al.* (1942) las corrientes del océano pueden ser divididas en cuatro grupos:

- 1.- Corrientes que están relacionadas con la distribución de la densidad del mar llamado también circulación termohalina.

- 2.- Corrientes que son causadas por la acción que ejerce el viento en la superficie del mar
- 3.- Corrientes que guardan relación con la marea y
- 4.- Corrientes inducidas por presencia de olas

### **Circulación Termohalina**

Este movimiento es una respuesta de la variación de la densidad causada por los cambios en salinidad y temperatura en el océano. Esto fue reconocido muy recientemente con investigaciones en el océano, donde a aguas profundas el agua era fría incluso en 0° (Richard, 1978), figura 2.1. El movimiento de las aguas profundas usualmente no puede ser determinado por un medidor de corrientes o por flotadores, porque el movimiento es muy lento en la mayoría de los lugares además de ser una profundidad considerable, esto es determinado a partir de la temperatura, salinidad y contenido de oxígeno disuelto en muestras de agua.

La explicación de la naturaleza de las corrientes de densidad se basa en algunas leyes físicas bien conocidas, tales como es la ley de la aceleración de masa que establece si un cuerpo se mueve a una velocidad uniforme las fuerzas que actúan en este cuerpo se balancean entre sí. Otra ley física señala que si dentro de un fluido se ejerce una

fuerza en la dirección en la cual la presión de este fluido decrece, esta es incrementada en la dirección de la gradiente de presión.

En los océanos la presión aumenta a medida que se desciende en profundidad y la gradiente de presión que es dirigida contra esta fuerza tiene entonces una dirección contraria al balance que estas dos fuerzas producen.

La densidad es también usada para estudiar el movimiento en aguas profundas. Esto es posible obteniendo la distribución de la presión a partir de la distribución de la densidad y entonces se anticipa la ubicación y dirección de la corriente que podría compensarse con los gradientes de presión. Por supuesto que, el efecto Coriolis deberá ser considerado. La distribución de la presión es graficada zonalmente en forma de isóbaras, líneas de igual presión, con la misma técnica usada por los meteorólogos.



**Figura 2.1** Esquema de la Circulación Termohalina (Columbia University, 2003).

**Corrientes generadas por la acción del viento en el océano.**

Estas no requieren de grandes observaciones, la mayoría de nosotros ha estado en un bote o en la orilla de un cuerpo de agua cuando una ráfaga de viento sopla dando como resultado los llamados pliegues. Este fenómeno es un resultado de la fricción entre el movimiento del aire y el leve movimiento del agua. La fuerza implementada por el viento sobre el agua implica una transferencia de energía desde la atmósfera a la hidrosfera. La energía causa el movimiento del agua el cual puede ser turbulento (partículas de agua moviéndose en diferentes direcciones) o laminar (partículas de agua moviéndose paralelamente de un lado a otro), dependiendo de la velocidad del viento. Los vientos producen movimientos cuyos efectos son mayores en la capa superficial del mar pero este movimiento es transferido también a las capas más profundas decreciendo con la misma, siendo 100 metros la profundidad usualmente considerada el límite para las corrientes producida por el viento.

Ekman (1901) estudió teóricamente la desviación que sufren las corrientes derivadas del viento en superficie y en profundidad estableciendo que estas corrientes se desvían  $45^\circ$  a la derecha de la dirección del viento en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio

sur por el efecto Coriolis, cuya magnitud de velocidad promedio es de 0.2% la velocidad del viento y el transporte neto de agua a 90° a la derecha de la dirección del viento en el Hemisferio Norte, y a la izquierda en el Hemisferio Sur.

### **Corrientes de marea.**

Las corrientes de marea que ocupan el tercer lugar han sido distinguidas por Sverdrup *et al.* (1942), el cual no considera un transporte de agua sobre distancias grandes sobre el océano sino sobre áreas pequeñas predominantemente costeras. Las corrientes de marea, teóricamente dependen del carácter de la marea y la profundidad y configuración de la costa como la presencia de arrecifes, islas y canales naturales que pueden incrementar la velocidad de la marea y crear abruptamente cambios en la dirección del flujo, pero en cada localidad se repiten regularmente al igual que las mareas son mantenidas por las pendientes en las superficies isobáricas.

Fleming (1938) ha estudiado en detalle el efecto de las corrientes de marea en zonas costeras relacionadas a problemas de ingeniería.

### **Corrientes generadas por olas.**



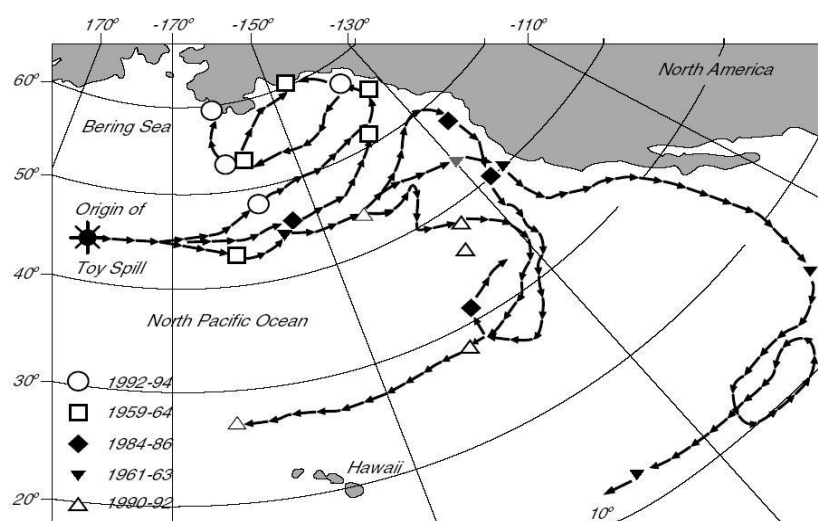
Estas corrientes están estrictamente en la costa. El efecto del viento en la costa se expresa mayormente por el efecto de que al llegar a la costa da forma a una barrera produciéndose procesos físicos que alteran la distribución de la densidad por lo tanto, dando origen a corrientes costeras que esencialmente siguen la línea paralela de la costa, contribuyendo al transporte de sedimentos a lo largo de la orilla. Estas corrientes están confinadas a la zona de surf (es decir entre la rompiente más lejana y la línea de agua, Sánchez E., 1978), región donde la fuerza de la radiación es generada a través de la rápida pérdida de la energía de la ola por el rompimiento de la misma.

Aunque todos los tipos de medición de corrientes tienen los mismos objetivos para obtener directamente los datos a partir del moviendo del agua. Estos pueden ser convenientemente agrupados en dos categorías por como se realicen las mediciones: método Euleriano y método Lagrangiano.

### **2.1.1 Sistema de Corrientes Lagrangianos**

El Método Lagrangiano permite estudiar el comportamiento de la partícula de fluido en su movimiento a través del espacio, mediante el trazo de la ruta seguida por la parcela de agua, durante un intervalo de tiempo. Ello

establece una curva denominada trayectoria (equivalente a representar el recorrido de un flotador), según esto, la trayectoria de una partícula del fluido es definida por su posición como una función del tiempo. La graficación de varias de estas trayectorias nos permite elaborar una carta de trayectoria (figura 2.2).



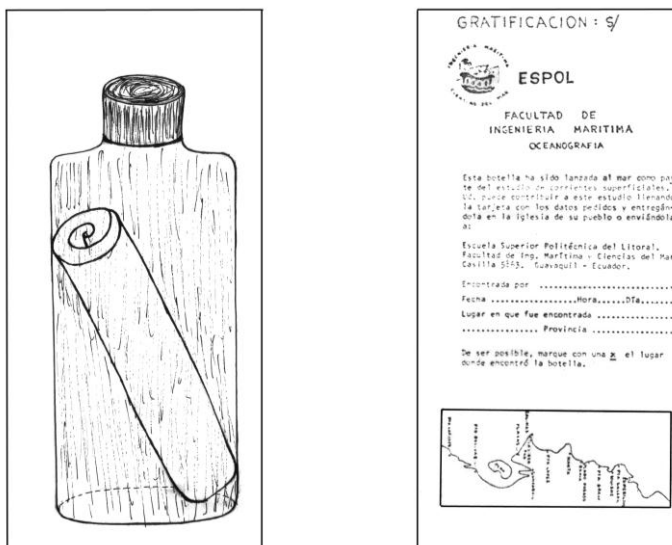
**Figura 2.2.** Un ejemplo de estudio de corrientes por el método Lagrangiano:

se muestran trayectorias de corrientes medidas a través del seguimiento de juguetes de bañera (patos de goma) producto de un derrame accidental de los mismos por parte de un buque contenedor. Este incidente ocurrió un 10 de enero de 1992, y después de 10 meses fueron localizados cerca de la locación de Sitka, Alaska. Los resultados del seguimiento de trayectoria de estos “derivadores” permitieron corroborar salidas de modelos numéricos para el cálculo de trayectorias de derrame de petróleo (Stewart, 2004).

Los errores que presenta este método son los siguientes:

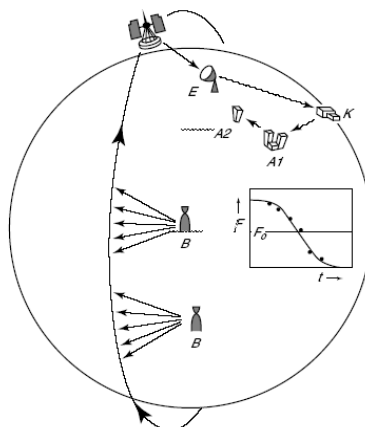
- 1- Errores en determinar la posición del derivador.
- 2- La deficiencia del derivador en seguir la parcela de agua. Nosotros asumimos que el derivador permanece en una parcela de agua, pero existen fuerzas externas actuando sobre el derivador, lo que puede causar que este derive en relación con el agua.
- 3- Errores de muestreo. Los derivadores se dirigen únicamente a donde los derivadores quieran ir, estos son propensos a dirigirse a zonas convergentes. Por lo tanto los derivadores tienden a evitar áreas de flujo divergentes.

Este método directo de medición de corrientes se lo ve representado también en el uso de botellas a la deriva, utilizado en estudios costeros, en la cual una simple botella con indicación en su interior del lugar que fue lanzada y el tiempo sirve para que al recobrase se conozca la dirección y la velocidad relativa de la corriente (figura 2.3), o el uso de trazadores técnica usada para calcular la velocidad de masas de agua.



**Figura 2.3.** Configuración de la botella de deriva y tarjeta de identificación (Medina, 1991).

Un sistema mas sofisticado emplea boyas flotantes de diversos materiales y forma, e incluso algunas equipadas con radios. (Von Arx, 1967), como lo son, los derivadores satelitales superficiales controlado por el sistema Argos en los satélites meteorológicos (Swenson y Shaw, 1990), figura 2.4.



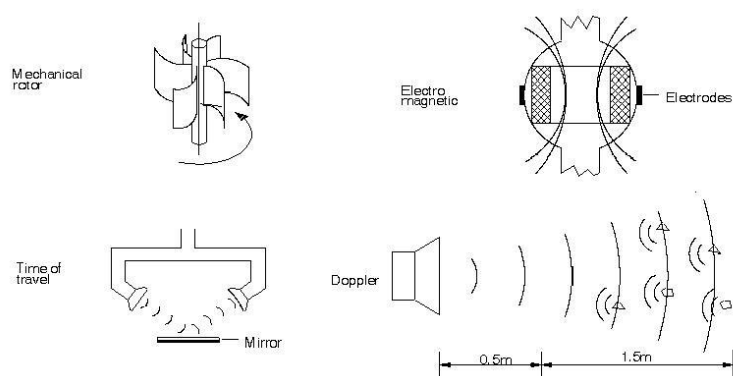
**Figura 2.4.** Diversos sistemas satelitales, especialmente el Argos, usa la transmisión de señales de radio desde boyas superficiales para determinar la posición de la boya: el satélite **S** recibe la señal de la boya **B**. El rango de tiempo cambia con la señal, el Doppler se mueve **F**, es una función de la posición de la boya y distancia desde la trayectoria del satélite. La señal del registro Doppler es transmitida a la estación en tierra **E**, y a su vez esta es transmitida a centros de procesamiento de datos **A** vía estación de control **K**. (Stewart, 2004).

### 2.1.2 Sistema de Corrientes Eulerianos

De los métodos directos de tipo Euleriano debemos decir que son mediciones mecánicas o dinámicas de flujo que pasan por un punto fijo. Esto es bastante difícil de obtener en océanos abiertos por los problemas derivados del posicionamiento y mantenimiento de un instrumento en un

punto fijo, pero si es más fácil en trabajos costeros donde se pueden realizar el anclaje de estos instrumentos usados en éste método.

El flujo de agua que pasa por un instrumento de este tipo llamado correntómetro, puede ser medido ya sea contando el tiempo de rotación de una hélice libre: ejemplo, correntómetro de Pelton, de Savonius, y de Rauselbach, o midiendo la presión ejercida por el agua en una membrana (correntómetro de Pitón), o bien leyendo el cambio que realiza el flujo de agua en el campo electromagnético creado por el instrumento (e.g., S4) originando un gradiente proporcional a la intensidad de la corriente, ver figura 2.5.



**Figura 2.5** Principios de operación de los distintos tipos de correntómetros

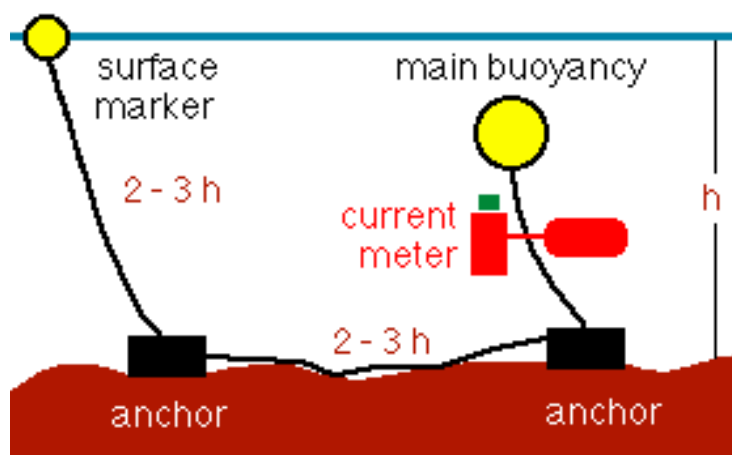
### Errores que presenta el método.

1- Movimiento del sistema de anclaje. Los anclajes subsuperficiales (figura 2.6) usualmente se mueven muy poco. Los anclajes superficiales

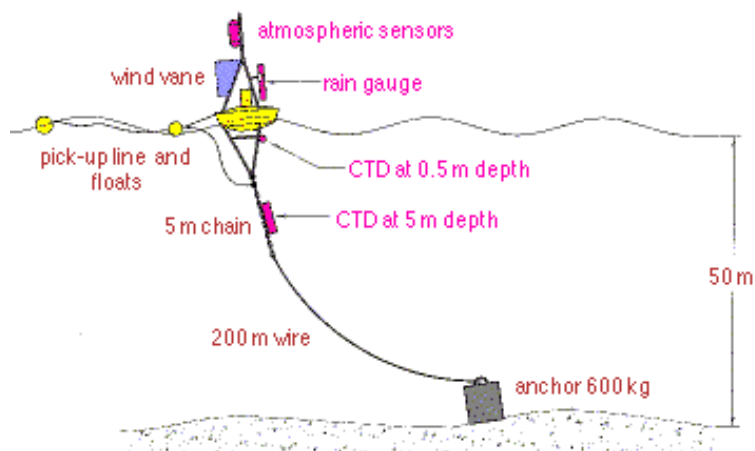
(figura 2.7) en corrientes fuertes se mueven mucho más, aunque estos son raramente usados.

2- Sistema de anclaje inadecuado. Los sistemas tienden a no estar lo suficientemente anclados para dar las estimaciones correctas de mediciones de corrientes o variabilidad interanual de la velocidad.

3- Obstrucción de los sensores por organismos marinos, especialmente los instrumentos desplegados no más de unas pocas semanas cerrados en la superficie.



**Figura 2.6** Esquema de un anclaje del tipo *subsuperficial*



**Figura 2.7** Esquema de un anclaje del tipo *superficial*

## 2.2 Planificación de actividades

Con los antecedentes del área de interés mencionados anteriormente nos permite comprender la importancia de la planificación para efectuar las observaciones de campo y análisis de datos.

Dado a que el objetivo de esta tesis es realizar un estudio histórico de corrientes con las series de tiempo facilitadas por INOCAR, las cuales, fueron realizadas de diferentes maneras y fechas. La planificación que se presentará a continuación será principalmente para el último año de muestreo en que la tesista participó en dicha comisión a cargo del INOCAR.



Con este criterio se elaboró un sumario de actividades perteneciente a la salida del 2007, ver tabla 2.2, que permitió evaluar los recursos necesarios.

**Tabla 2.1** Sumario de actividades para mediciones de campo 11-14/08/2007.

TABLA -II- SUMARIO DE ACTIVIDADES PARA MEDICIONES DE CAMPO 11-14/08/2007												
ORDEN	OBSERVACIONES	LUGAR DE TRABAJO		INSTRUMENTOS		SISTEMA DE MEDICION		CARTA DE CAMPO	EQUIPOS Y ACCESORIOS			
		CAMPO	OFICINA	CORRENTOMETRO S4	FLOTADORES	CORRENTOMETRO S4	FLOTADORES		EMBARCACION	MINI ESTACION METEOROLOGICA	GPS	BRUJULA
1	CHEQUEO Y CALIBRACION		X	X	X				X	X		X
2	ELABORACION CARTA CAMPO		X					X				
3	SALIDA RECONOCIMIENTO	X		X	X			X	X	X		X
4	CONSTRUCCION SIST. MEDICION		X	X	X							
5	SALIDA DE INSTALACION CORRENTOMETRO	X		X				X	X	X		X
	SALIDA INSTALACION FLOTADORES	X			X			X	X	X		X
	SALIDA OBSERVACION TRAYECTORIA	X			X			X	X	X		
6	SALIDA PERFILES	X		X			X	X	X	X		
	SALIDA METEOROLOGICA	X						X	X	X		X
7	SALIDA MANTENIMIENTO	X		X								X
8	RETIRO DE EQUIPOS	X		X	X			X	X	X		X

Este resumen de actividades se cumplió satisfactoriamente como se había planificado, gracias al oportuno trabajo que realizó el equipo que conformó la comisión en las oficinas del INOCAR planificando la logística y demás detalles de los equipos, realizados antes de la salida.

### **2.3 Métodos de medición de corrientes costera**

Debido a la naturaleza de las corrientes costeras, fue necesario establecer un programa de mediciones directas, distribuidas con respecto al área, tiempo y profundidad, que permitiese definir las condiciones de la corriente en el área de estudio.

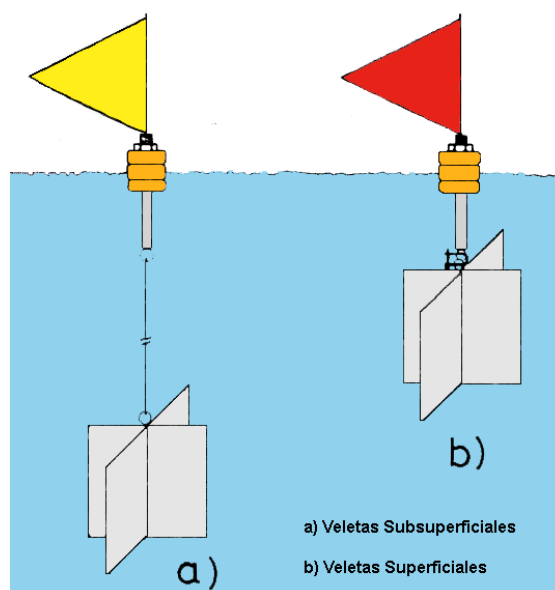
La dirección de la corriente en oceanografía es aquella hacia donde fluye el movimiento de agua, mientras que la dirección del viento es registrada desde donde este procede. Los métodos de mediciones directas generalmente pueden ser clasificados en dos formas: Método Lagrangiano y Método Euleriano.

### **2.3.1. Instrumentación para la obtención de corrientes por el método de Lagrange (Veletas).**

Según Pickard (1975) “los indicadores lagrangianos de corrientes simples son objetos flotando en el agua, con una pequeña superficie expuesta a la acción del viento”.

En el presente estudio se utilizó veletas del mismo tamaño pero de pesos diferentes. Las veletas empleadas fueron confeccionadas en INOCAR y constan de tres boyarines colocados en un tubo galvanizado; en el borde inferior del tubo se une a la pantalla metálica (lata galvanizada) de arrastre en forma de cruz, en la parte superior del tubo va colocado una varilla metálica sobre la que se coloca un plástico indicador, preferentemente de colores fuertes para tener una mejor visualización de la posición, y para los flotadores subsuperficiales, la pantalla fue suspendida a 3m.

El flotador después que ha quedado instalado en el agua, permanece parcialmente sumergido como lo indica la figura 2.8.

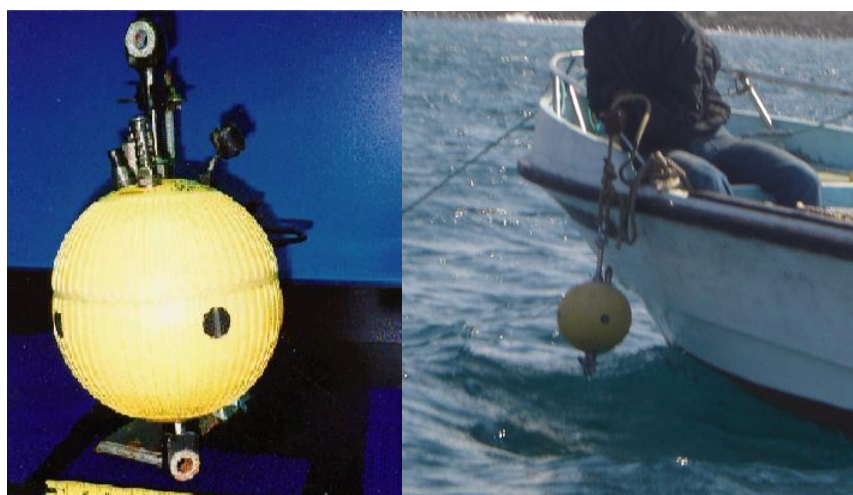


**Figura 2.8** Armado de veletas para mediciones superficiales y Subsuperficiales.

### 2.3.2 Instrumentación para la obtención de corrientes por el método de Euler.

Las mediciones de corrientes fueron realizadas con un correntómetro InterOcean modelo S4 (figura 2.9). Este instrumento no posee partes móviles y fue diseñado fundamentalmente para medir la intensidad y la dirección de la corriente horizontal en cualquier medio acuoso (mar, ríos o lagunas). El flujo de agua modifica el campo electromagnético creado por el instrumento, originando un gradiente proporcional a la intensidad de la corriente. Este campo es medido por dos pares de electrodos de titanio ubicados simétricamente sobre el ecuador del instrumento. La forma esférica del instrumento es un factor que contribuye a la excelente

minimización de las componentes verticales de la corriente (por ejemplo, las generadas por las olas).



**Figura 2.9.** Correntómetro InterOcean S4

El compás magnético interno que tiene el S4 es del tipo “*flux-gate*” (indicador electromagnético de flujo), y es utilizado para referir el rumbo de la corriente respecto del norte magnético. Los datos obtenidos por el instrumento son almacenados internamente en una memoria RAM (Memoria de acceso aleatorio por sus siglas en inglés) estática de tipo estado sólido, altamente confiable y no volátil. Los datos son recuperados a través de una puerta RS-232-C, en una PC compatible IBM, mediante una interfaz para la transmisión de datos por cable físico InterOcean S110. La capacidad de la memoria sólida es de 20 Mb, y está equipado con un amplio software interno que permite al usuario seleccionar muchas

características operativas tales como el tiempo de operación que puede ser intermitente, continuo o tiempo libre, así también, el número de toma de datos en función del tiempo. Las baterías utilizadas son de litio. El instrumento sumergido tiene peso neutro (el empuje del agua se equilibra con el peso).

**Tabla 2.2.** Tabla de especificaciones del equipo S4.

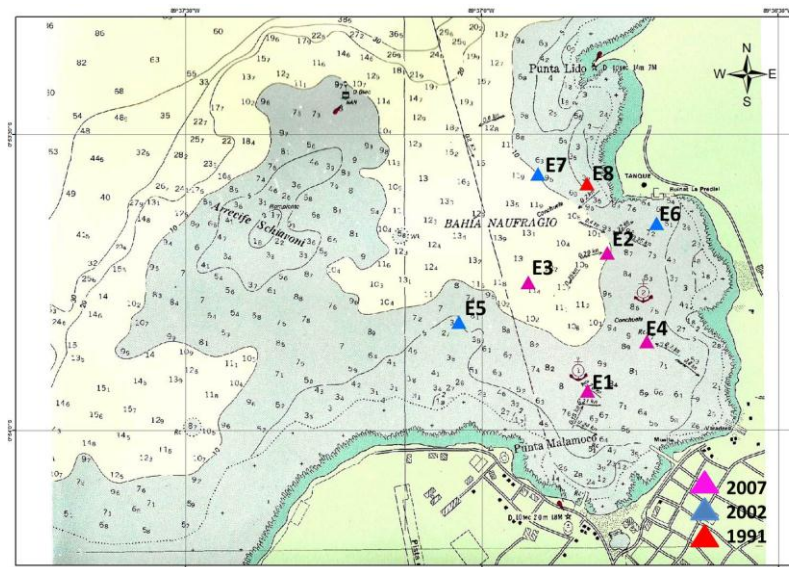
<b>Correntómetro InterOcean S4</b>	
<b>Tipo</b>	Correntómetro electromagnético
<b>Niveles de registro de corrientes</b>	1 nivel (Sist. de Perfilación Vertical opcional)
<b>Presentación de datos (Corrientes)</b>	Los vectores promedios de velocidad de corriente y dirección horizontales son descompuestos en componentes este y norte
<b>Tipo de sensor (Dirección)</b>	Compás indicador de dirección del campo magnético terrestre (Flux-Gate Compass)
<b>Resolución (Dirección)</b>	0.5°
<b>Precisión (Dirección)</b>	+/- 2° con ángulo de inclinación de 5° +/- 4° con ángulos de inclinación de entre 15° y 25°
<b>Tipo de sensor (Velocidad)</b>	Electromagnético, dos ejes
<b>Rango (Velocidad)</b>	0 a 350 cm/seg (estándar)
<b>Precisión (Velocidad)</b>	+/- 1 cm/seg
<b>Sistema de registro</b>	Tarjeta PCMCIA Series II Flash EEPROM Memory Card
<b>Capacidad de registro</b>	32 MB (estándar), 256 MB (opcional)
<b>Batería</b>	6 x baterías alcalinas (opcional de Litio) "D"
<b>Duración de la batería (típico)</b>	Alcalinas, 440 horas de muestreo combinado Litio, 1600 horas de muestreo combinado
<b>Peso</b>	11/1.5 kg (a/w)
<b>Capacidad de profundidad</b>	1000 m (máximo)
<b>Dimensiones</b>	25 cm de diámetro de esfera
<b>Sensores opcionales</b>	CTD, vel. de sonido, inclinación, turbidez, pH, oxígeno disuelto, clorofila, Radiación Fotosintética Activa (PAR) y fluorescencia

\*Fuente: InterOcean Systems, United States of America

## 2.4 Metodología de análisis de datos

Las series de tiempo analizadas corresponden a un conjunto de registros obtenidos por medio de un correntómetro modelo S4 y flotadores a la deriva (veletas), que estuvieron situados en diferentes periodos de tiempo

dentro del área de estudio como lo indica la figura 2.10. El conjunto de datos corresponde a tres años de mediciones como lo indica la tabla 2.3, datos facilitados por el INOCAR.



**Figura 2.10** Ubicación geográfica de estaciones en Bahía Naufragio (Elaborado por el autor, 2012)

**Tabla 2.3** Coordenadas geográficas de estaciones en Bahía Naufragio

Año de medición	Estaciones	Coordenadas Geográficas en WGS84	
		Latitud S	Longitud W
2007	Est. 1	0° 53' 56"	89° 36' 49"
	Est. 2	0° 53' 51"	89° 36' 43"
	Est. 3	0° 53' 45"	89° 36' 55"
	Est. 4	0° 53' 42"	89° 36' 47"
2002	Est. 5	0° 53' 49"	89° 37' 02"
	Est. 6	0° 53' 39"	89° 36' 42"
	Est. 7	0° 53' 34"	89° 36' 54"
1991	Est. 8	0° 53' 35"	89° 36' 49"

Fuente: INOCAR, 2007



### 2.4.1 Método Lagrangiano

La obtención de información de corrientes superficiales y subsuperficiales (3 metros) en el área planificada se la realizó utilizando flotadores a la deriva (veletas), con los cuales se logró determinar la trayectoria del flujo en la zona de interés. Vale recalcar que solo en el año del 2007 se realizaron mediciones de corrientes con ambos métodos de medición (Lagrange y Euleriana). Estas observaciones se realizaron únicamente en la fase sicigia (períodos en que se presentan los mayores rangos de mareas) y durante los estados de flujo (pleamar) y reflujo (bajamar).

La metodología de medición se basó en el posicionamiento de los flotadores durante cada media hora utilizando un GPS MAGELLAN portátil en coordenadas geográficas y UTM<sup>1</sup> (Datum WGS84<sup>2</sup>), para el posterior cálculo de la velocidad de las corrientes.

### 2.4.2 Método Euleriano

Complementando las observaciones de corrientes superficiales y subsuperficiales (veleteo) y con el propósito de conocer la distribución vertical de las corrientes a diferentes niveles, se utilizó un correntómetro

---

<sup>1</sup> UTM: Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator

<sup>2</sup> WGS84: Sistema Geodésico Mundial 1984

autocontenido InterOcean modelo S4. Las mediciones de perfiles de corrientes se realizaron de tal forma que se obtuvieran mediciones en toda la columna de agua (superficie, media y fondo) y para cada estado de marea. La tabla 2.4 muestra un detalle de las comisiones que el INOCAR ha realizado en Bahía Naufragio, con sus respectivas fechas de muestreo, así como la ubicación geográfica de las estaciones en que se trabajaron.

**Tabla 2.4.** Comisiones en Bahía Naufragio, Isla San Cristóbal, Galápagos

<b>COMISIONES EN BAHÍA NAUFRAGIO, ISLA SAN CRISTÓBAL, GALÁPAGOS</b>				
<b>Fecha inicial de muestreo</b>	<b>Fecha final de muestreo</b>	<b>Estaciones</b>	<b>Coordenadas Geográficas en WGS84</b>	
			<b>Latitud S</b>	<b>Longitud W</b>
26/03/1991	10/06/1991	<b>Est. 1</b>	0° 53' 35"	89° 36' 49"
22/02/2002	22/02/2002	<b>Est. 1</b>	0° 53' 49"	89° 37' 02"
23/02/2002	23/02/2002	<b>Est. 2</b>	0° 53' 39"	89° 36' 42"
24/02/2002	24/02/2002	<b>Est. 3</b>	0° 53' 34"	89° 36' 54"
11/09/2007	11/09/2007	<b>Est. 1</b>	0° 53' 56"	89°36'49"
12/09/2007	12/09/2007	<b>Est. 2</b>	0°53'51"	89°36'43"
13/09/2007	13/09/2007	<b>Est. 3</b>	0°53'45"	89°36'55"
14/09/2007	14/09/2007	<b>Est. 4</b>	0°53'42"	89°36'47"

Fuente: INOCAR, 2007

A continuación una breve descripción de los datos:

**Los datos de 1991** es la serie de datos más extensa. En este año el equipo fue fondeado a 10 m durante cuatro meses (marzo, abril, mayo y junio), los cuales corresponden a la estación *cálida o lluviosa*, obteniéndose un registro de 1833 datos. **Los datos del 2002** pertenecen al mes de febrero (estación *lluviosa*) y en esta salida se realizaron tres días de mediciones para tres estaciones, es decir una estación por día, teniendo un total de 1505 datos en los tres días respectivamente. **Los datos del 2007** son constituidos a partir de cuatro días de mediciones, y de igual manera que en el 2002, se realizó una estación por día. Las mediciones fueron ejecutadas en el mes de septiembre (perteneciendo a la estación *fría*), obteniéndose un total de 811 datos.

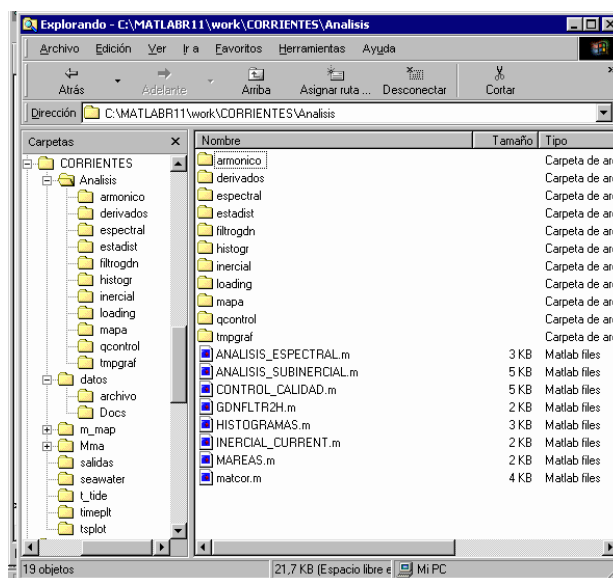
La metodología con que se usó el correntómetro S4 para la adquisición de datos en los años 2002 y 2007 fue similar, y ésta se basó en la programación previa del S4 a partir de su programa integrado de control (Anexo A). La frecuencia de muestreo fue definida para cada 30 minutos por cinco minutos, en los que, promediaba un dato cada 20 segundos, teniendo tres datos cada minuto con un total de 15 datos cada cinco minutos y a su vez el equipo dentro del rango de los cinco minutos era subido o bajado para alcanzar el nivel de medición acordado (superficie, medio y fondo).

Para el procedimiento de análisis y visualización de series temporales de corrientes se utilizó el programa MATCOR<sup>3</sup> que permite realizar un estudio sistemático de series de tiempo de corrientes. Este proceso fue automatizado para simplificar al máximo la obtención de los resultados. A continuación se describe brevemente los procedimientos de operación del MATCOR.

El paquete MATCOR está almacenado en un fichero comprimido SOFTWARE-CORRIENTES.zip que debe descomprimirse en la carpeta C:/MATLABR11/work creándose una nueva carpeta C:/MATLABR11/work/CORRIENTES que contiene todas las rutinas y paquetes. Su estructura se puede apreciar en la siguiente figura.

---

<sup>3</sup> Análisis de Datos de Corrientes - Aplicación Informática en MATLAB desarrollado por el Instituto Español de Oceanografía – IEO, 2006



**Figura 2.11** Carpeta MATCOR.ZIP después de descomprimirla e incorporarla a la carpeta WORK del MATLAB.

Para operar, iniciamos el MATLAB<sup>4</sup> y ubicamos la carpeta que contiene las rutinas y datos guardados como un archivo \*.mat, (C:\New corrida matlab), Anexo B, después cargamos en el *path* (directorio de trabajo) las rutinas que el paquete del MATCOR ofrece (algunas de las cuales fueron modificadas). A continuación ingresamos en la ventana de comandos del MATLAB el nombre del fichero \*.m correspondiente a las rutinas que ejecutan el procesamiento, luego de lo cual se obtiene las series temporales de corrientes, histogramas de frecuencias y angulares.

<sup>4</sup> Matrix Laboratory MATLAB © All rights reserved, The MathWorks Inc., United States of America

El MATCOR permite graficar las diferentes series temporales de corrientes, mediante la rutina “temporal\_plot”, que se encuentra en la carpeta:

C:\zmatlab\rutinas\_tesis\MATLABR11\work\CORRIENTES\Análisis

Según Godín (1991) todo análisis de corrientes debe comenzar con una visualización gráfica de las corrientes originales. El método clásico consiste en representar la variable medida frente al tiempo, lo que en el caso de variables vectoriales requiere el dibujo de al menos dos variables frente al tiempo. En la presente tesis se ha optado por representar las componentes E-W y N-S.

El criterio de direcciones corresponde al norte magnético, aumenta en sentido de las agujas del reloj. Asimismo, conviene recordar que el criterio oceanográfico de corrientes contempla como sentido de corriente la dirección hacia la que va, mientras que el criterio meteorológico contempla el sentido como la dirección de donde viene.

Simultáneamente se ha representado la corriente de forma vectorial mediante un gráfico de vectores que dibuja, para cada instante de tiempo, un vector que indica la magnitud y dirección de la corriente. Esto permite disponer de forma sencilla tendencias generales de flujo y posibles

errores en el control de calidad. Con la siguiente rutina se obtuvieron los gráficos de vectores (anexo B la rutina completa).

```
[h]=temporal_plot(matriz, nombre, prof)
```

Para el cálculo de histogramas de frecuencias (velocidad), e histogramas angulares (dirección) se hicieron uso de las siguientes rutinas:

```
cd c:\MATLABR11\work\CORRIENTES\ANALISIS\histogr
```

```
[hh,t,radios]=ROSA_CORRIENTES(deriv.data(:,direc),deriv.data(:,veloc),nombre,  
prof);
```

```
[h,n,x]=hist_velo(deriv.data(:,veloc),nombre,char(deriv.cnames(veloc)),prof)
```

### **2.4.3 Análisis Espectral**

En adición al análisis del patrón de circulación usando el MATCOR, se estimó conveniente aplicar la técnica de análisis espectral para la verificación de ciclos repetitivos en los datos de corrientes. Varios autores nacionales han descrito en extenso las técnicas de análisis espectral para su uso en datos geofísicos. Santos (1984) estableció que esta técnica permite obtener una distribución de la varianza total de la serie, para cada una de las frecuencias que la componen. Cornejo (1984)

y Cardín (1989) utilizaron esta técnica con éxito para el análisis de registros analógicos y digitales de olas en diversos puntos de la costa ecuatoriana, mientras que Santos (1984) utilizó esta técnica para el análisis de series de tiempo de temperatura superficial del mar, temperatura superficial del aire y precipitación en Ancón y La Libertad. Más recientemente, De la Cuadra (2005) aplicó análisis espectral para la corroboración de periodicidades en el llamado “Índice Oceanográfico Pesquero IOPE”.

La técnica espectral elegida en este estudio se basa en el método de Welch (1967), el cual está fundamentado en el uso de estimados espectrales a partir de periodogramas, los cuales convierten una señal del dominio de tiempo al dominio de las frecuencias.

El método de Welch está basado en el método de Bartlett; sin embargo difiere en que la señal es dividida en segmentos traslapados. Considerando un segmento original de datos que es dividido en  $L$  segmentos de longitud  $M$  con un traslape de  $D$  puntos, si  $D = M / 2$  se dice que el traslape es del 50%. Los segmentos traslapados son entonces pasados por una “función estabilizadora” o ventana (“window”) en el dominio del tiempo, que tiene por objetivo eliminar las fluctuaciones aleatorias del espectro que no guardan relación con la serie de tiempo a



partir de la cual fueron obtenidas. Luego de ejecutado la respectiva ventana a la serie, se procede a calcular el periodograma de la serie a través del cómputo de la Transformada Rápida de Fourier (o FFT, por sus siglas en inglés), y luego evaluando la magnitud cuadrada del resultado. Los periodogramas individuales son entonces promediados en tiempo, lo que permite reducir la varianza de las mediciones de poder espectral individual, así como encontrar los segmentos de confianza del espectro. El resultado final es un arreglo de la medida del poder espectral versus frecuencia.

La longitud de las series de tiempo representa una limitante para la aplicación del análisis espectral. Se prefiere una longitud de serie larga, que permita varias subdivisiones y traslapes de la serie de tiempo para incrementar la significancia de sus resultados. Es por ello que se resolvió aplicar el análisis espectral en el conjunto de datos de corrientes de 1991, registró que tiene una duración de cerca de dos meses (abril y mayo).

Para computar el espectro bajo el método de Welch, se usó la rutina de Matlab "spectrum\_v6.m" (Little, 1986). Los valores de división de la serie, así como los de traslape, están limitados a ser potencias de dos. Como función estabilizadora de la serie, se utilizó la ventana "Hamming". En adición, esta rutina calcula los niveles de confianza al 95%.

Para la graficación del espectro, se usó la rutina “specplotmio.m” (Little, 1986). Esta función utiliza la frecuencia normalizada ( $F = 2$ ) por lo que el 1 en el eje de la frecuencia equivale a la mitad de la tasa de muestreo (frecuencia de Nyquist). Los códigos de ambas rutinas se encuentran adjuntos en este estudio como Anexo B.

Un parámetro oceanográfico analizado conjuntamente es el viento. El INAMHI<sup>5</sup> aportó los datos de velocidad correspondientes a los años 1991 y 2002. Sin embargo, vale recalcar que esta institución no tiene en sus registros datos para el año 1991 por problemas con su estación meteorológica ubicada en San Cristóbal (M221), por lo que, el presente estudio trabajará con los datos de 1994, situación que es aceptada por ser años similares (no presencia del evento ENOS, ver tabla 3.2). Los datos de viento del 2007 fueron obtenidos simultáneamente durante la comisión del 2007, donde la información de magnitud y dirección de vientos fue obtenida durante el muestreo de perfiles de corrientes a intervalos de una hora con una brújula y anemómetro climático AVM-40 marca Kestrel 4000, este último facilitado por la FIMCBOR<sup>6</sup>-ESPOL<sup>7</sup>. Las mediciones se las realizaron de tal manera que cubrieran toda la bahía, ver tabla 2.6.

---

<sup>5</sup> Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

<sup>6</sup> Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales

<sup>7</sup> Escuela Superior Politécnica del Litoral

**Tabla 2.5** Registro de magnitudes de viento en Bahía Naufragio

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Magnitud Promedio (m/s)</b>	<b>Dirección</b>
<b>1991</b>	<b>Marzo</b>	3.18	SW
<b>1991</b>	<b>Abril</b>	3.41	SW
<b>1991</b>	<b>Mayo</b>	6.34	SW
<b>1991</b>	<b>Junio</b>	6.45	SW
<b>2002</b>	<b>Febrero</b>	6.04	SW

Fuente: INAMHI, 2010

**Tabla 2.6** Registro de magnitudes de viento en Bahía Naufragio

<b>Fecha</b>	<b>Estación</b>	<b>Magnitud Promedio (m/s)</b>	<b>Magnitud Máxima (m/s)</b>	<b>Dirección (grados)</b>
<b>11/09/2007</b>	<b>1</b>		4.6	SW
<b>12/09/2007</b>	<b>2</b>	3.5	5.3	SW
<b>13/09/2007</b>	<b>3</b>	4.3	7.7	SW
<b>14/09/2007</b>	<b>4</b>	3.0	6.7	SW

Fuente: INOCAR, 2007

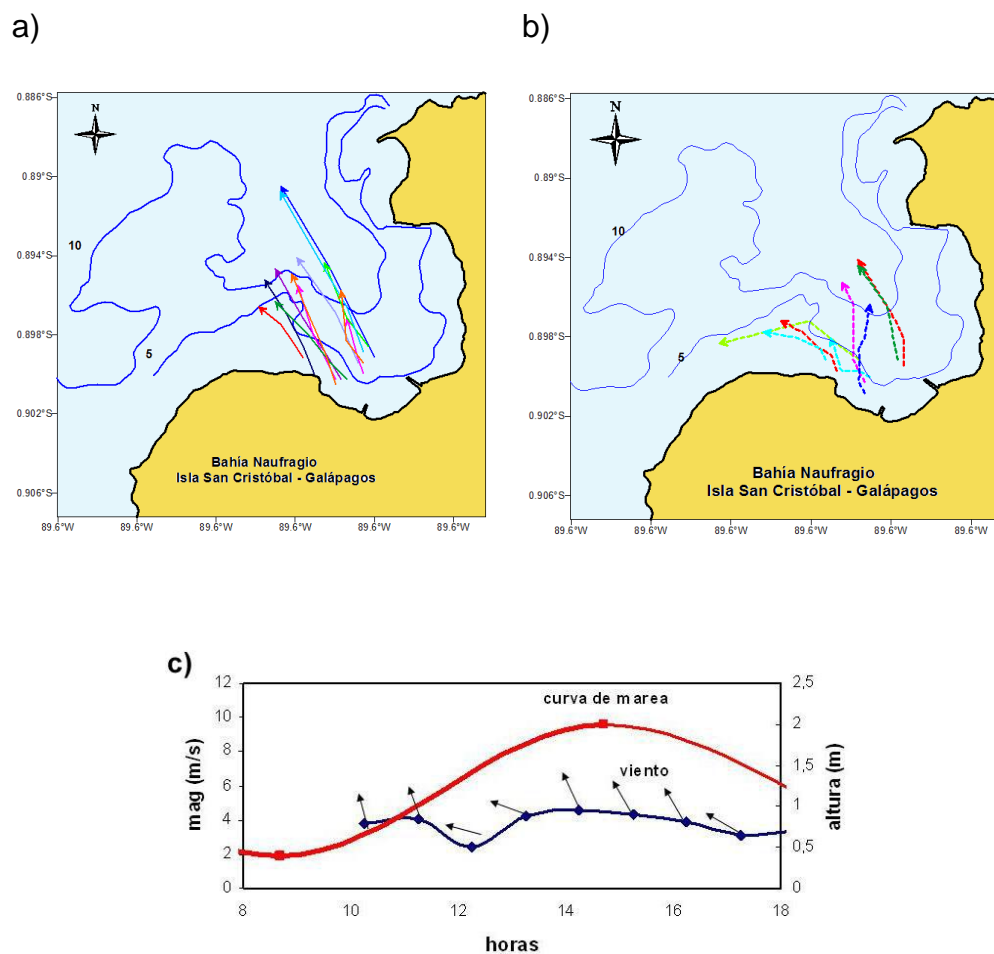
## **CAPITULO 3**

### **3. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA INFORMACIÓN**

En este capítulo se realiza un estudio analítico sobre los datos recopilados en salidas de campo, y los facilitados por INOCAR. Los resultados obtenidos en las mediciones de campo, se presentan desglosados en: velocidad de corrientes superficiales, subsuperficiales, y de fondo mediante las diferentes técnicas de medición de corriente (Lagrange y Euler). El campo de velocidades de corriente será analizado con las velocidades máximas (que es el mayor valor determinado en un segmento de trayectoria) y promedio, incluyendo tablas resumen de las velocidades promedio y máximas para cada estación, así como las cartas de trayectorias y vectores resultantes, con el fin de presentar una clara idea del comportamiento de la corriente en Bahía Naufragio.

### **3.1 Campo de corrientes superficiales y subsuperficiales por el método de Lagrange**

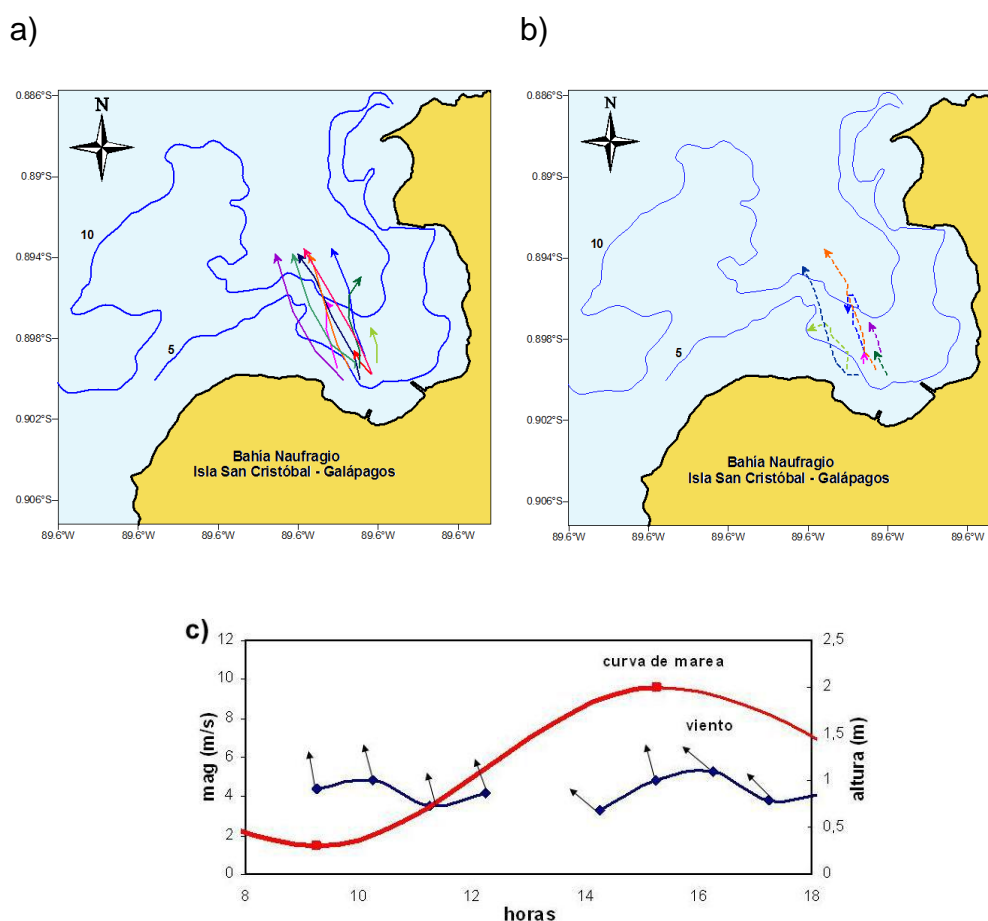
Del estudio realizado para mediciones de corrientes superficiales y subsuperficiales (3 m) mediante el método lagrangiano (uso de veletas) se encontró que la veletas superficiales del 11/09/07 en flujo y reflujó siguen en conjunto la misma orientación y en forma casi paralela entre sí, con dirección 330 NW, mientras que, las veletas subsuperficiales fluctúan entre el N – NW, pero finaliza su dirección hacia el NW en el cambio de marea. En general para este día no se aprecia un cambio pronunciado en la dirección de las trayectorias, de tal forma que a pesar de haber cambios de marea, como se puede observar en las figuras mencionadas anteriormente, esto parece no ser muy influyente en este día, pero si se observó una relación con el viento que para ese día su dirección fue SE. Las velocidades de corriente superficial tanto en reflujó y flujo, se muestran mayores a las subsuperficiales con valores máximos de 0.27 m/s iniciando el reflujó y 0.25 m/s en flujo, (ver tabla 3.1), ver figura 3.1.



**Figura 3.1** Trayectorias de corrientes superficiales (a), subsuperficiales (b) y curva de magnitud de viento y marea (c) para el día 11/09/2007 (Elaborado por autor, 2012).

Para el día 12/09/07, se observa una similitud con el día 11, en especial con el vector de dirección, el cual para ambos días corresponden al segundo cuadrante; con lo que respecta a la magnitud de la velocidad se puede decir que en este día se obtuvieron los valores más bajos tanto en velocidad superficial como en la subsuperficial, en comparación con los otros días de medición (ver tabla 3.1). Hay que resaltar que para este día

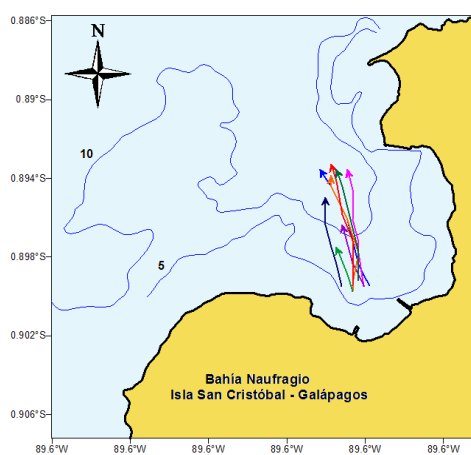
las magnitudes de corriente superficial en reflujó y flujo son mayores que la subsuperficial, igual que el primer día de medición, alcanzando valores de 0.17 m/s en reflujó y 0.18 m/s en el flujo. El viento durante este día alcanzo un máximo de 5.3 m/s de magnitud con dirección SE, lo cual permite una vez más corroborar la influencia que ejerce el viento en las corrientes superficiales, ver Figura. 3.2.



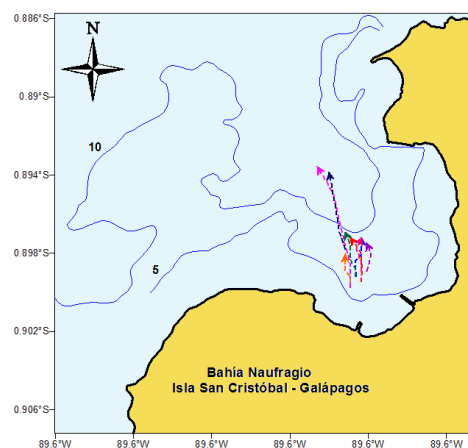
**Figura 3.2** Trayectorias de corrientes superficiales (a), subsuperficiales (b) y curva de magnitud de viento y marea (c) para el día 12/09/2007 (Elaborado por autor, 2012).

Para el 13/09/07 se observó con mayor precisión la influencia que el viento ejerce sobre la velocidad y dirección de la corriente en Bahía Naufragio. Las trayectorias de velocidad superficial y subsuperficial tienden a dirigirse predominantemente hacia el NW, además en este día se registró el valor máximo de velocidad superficial alcanzando 0.29 m/s con dirección 339 NW, así mismo el viento alcanzó un máximo de 7.7 m/s con dirección SE, resultados que verifican la predominancia que el viento ejerce en el sistema. Además se debe acotar que en este día los valores de magnitud de corriente se presentan de la misma manera que días anteriores, donde la velocidad superficial en flujo y reflujo es mayor que la subsuperficial, ver figura 3.3.

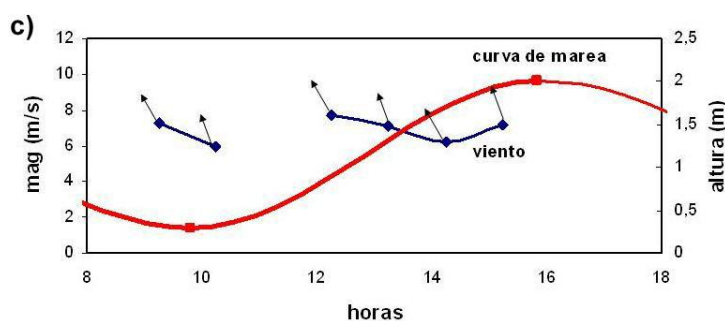
a)



b)







**Figura 3.3** Trayectorias de corrientes superficiales (a), subsuperficiales (b) y curva de magnitud de viento y marea (c) para el día 13/09/2007 (Elaborado por autor, 2012).

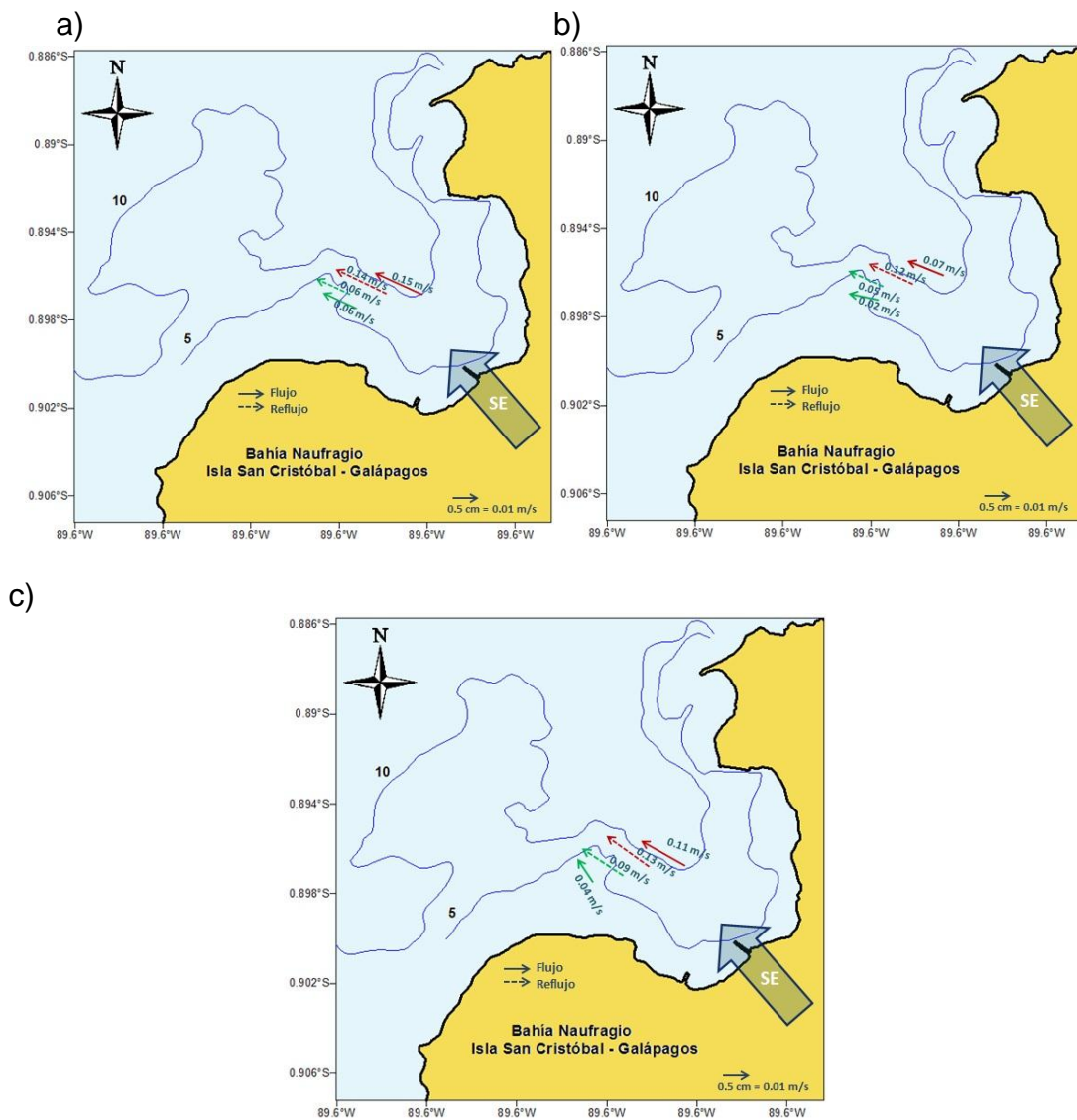
**Tabla 3.1** Resultados obtenidos mediante el Método Lagrangiano (uso de veletas) en Bahía Naufragio.

FECHA	FLOTADOR	V.PROMEDIO (m/s)	DIRECCION (grados*)	V.MAX (m/s)	DIRECCION (grados)	ESTADO DE MAREA
11-09-07	Superficial	0.15	339	0.27	331	REFLUJO
	Subsuperficial	0.06	354	0.10	355	REFLUJO
	Superficial	0.14	330	0.25	330	FLUJO
	Subsuperficial	0.06	331	0.16	327	FLUJO
12-09-07	Superficial	0.12	336	0.17	339	REFLUJO
	Subsuperficial	0.05	338	0.10	327	REFLUJO
	Superficial	0.07	338	0.18	343	FLUJO
	Subsuperficial	0.02	325	0.05	341	FLUJO
13-09-07	Superficial	0.13	345	0.29	339	REFLUJO
	Subsuperficial	0.09	346	0.13	346	REFLUJO
	Superficial	0.11	347	0.16	345	FLUJO
	Subsuperficial	0.04	357	0.05	348	FLUJO

\*Grados en relación a brújula

Los resultados presentados en la tabla anterior muestran que las corrientes superficiales son mayores que las subsuperficiales, así mismo la dirección de la corriente superficial y subsuperficial se desplazan paralelas y con tendencia a dirigirse hacia el segundo cuadrante durante el flujo o reflujo, mostrando que las mediciones realizadas con los derivadores o veletas se encuentran sujetas a la dirección del viento. A

continuación se muestran los vectores resultantes de las mediciones realizadas.



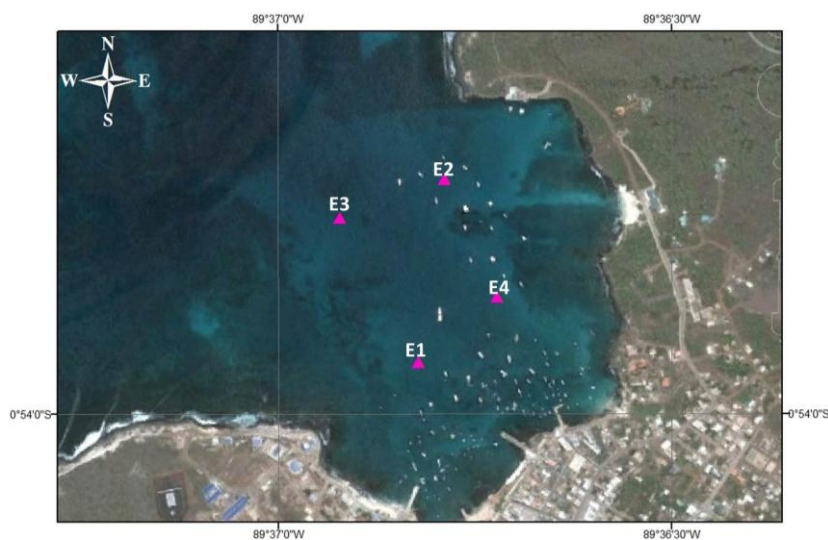
**Figura 3.4** Vectores resultantes de la corriente superficial y subsuperficial del 11/sep/2007 (a), 12/sep/2007 (b) y 13/sep/2007 (c), Bahía Naufragio (Elaborado por autor).

### 3.2 Campo de corrientes superficiales, medias y de fondo por el Método de Euler.

Para apreciar los resultados del sistema de corrientes presente en el área de Bahía Naufragio se ha determinado dividir por años de medición, teniendo así los resultados del 2007, 2002 y 1991.

#### 3.2.1 Resultados de la campaña del 2007.

Se realizaron mediciones de corriente a nivel superficial, medio y de fondo en cuatro estaciones fijas, las mismas que fueron ubicadas de manera estratégica dentro de la bahía, la figura 3.5 muestra la posición de cada una de las estaciones.



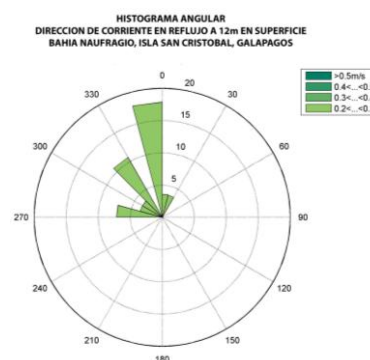
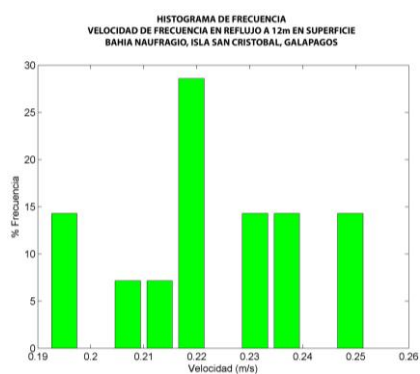
**Figura 3.5** Ubicación geográfica de las estaciones 2007 dentro de Bahía Naufragio, Isla San Cristóbal, Galápagos (Elaborado por autor, 2012).

Los resultados presentados corresponden a registros diarios de corrientes obtenidos con un correntómetro S4 y procesados con el programa MATCOR (capítulo 2.4).

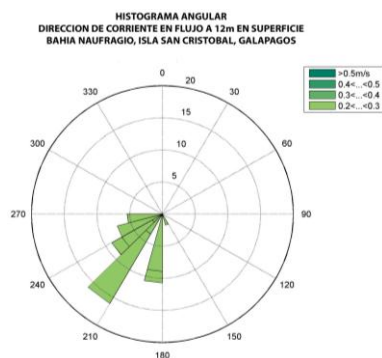
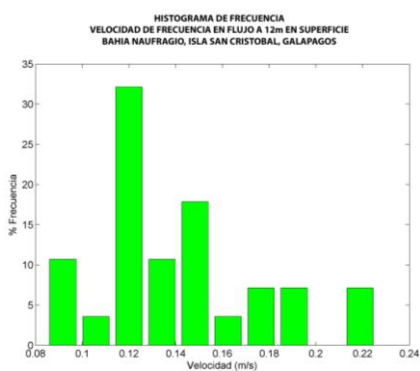
Los resultados de la **Estación 1** (11/09/2007) expuesto en la tabla. A nivel superficial la corriente fue mayor durante el reflujó con 0.23 m/s con dirección 332 NW, mientras en el flujo fue de 0.19 m/s con dirección 233 SW. Con la corrida del programa MATCOR se tiene que la velocidad con mayor índice de frecuencia durante el reflujó es de 0.22 m/s (28%), mientras en el flujo es de 0.12 m/s (33%), respecto a la dirección se tiene que durante el reflujó se ubicaron en el segundo cuadrante y durante el flujo en el tercero.

Esto presenta concordancia con lo que se pudo observar en la elaboración de los gráficos vectoriales, en donde se muestra vectorialmente la velocidad y dirección de la corriente en un tiempo determinado, así mismo en las componentes V (N-S) y U (E-W) exponen una variabilidad relacionada con la marea, teniendo que en los cambios de fase mareal la componente V tiende a desplazarse hacia el norte o sur dependiendo si es flujo (reflujó a flujo) o reflujó (flujo a reflujó), teniendo que para la E1 y a nivel superficial la corriente guarda relación estrecha con la marea (figura 3.5).

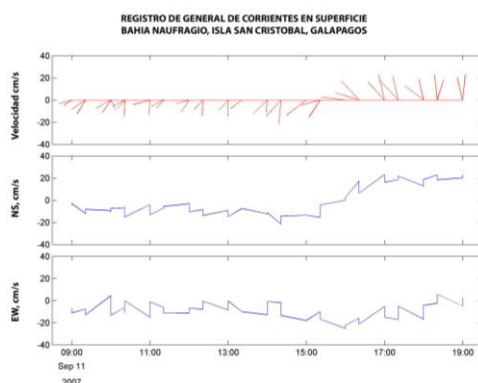
a)



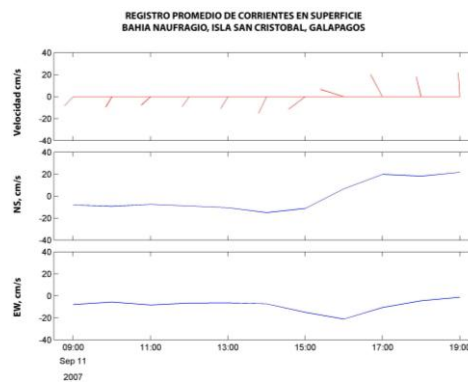
b)



c)



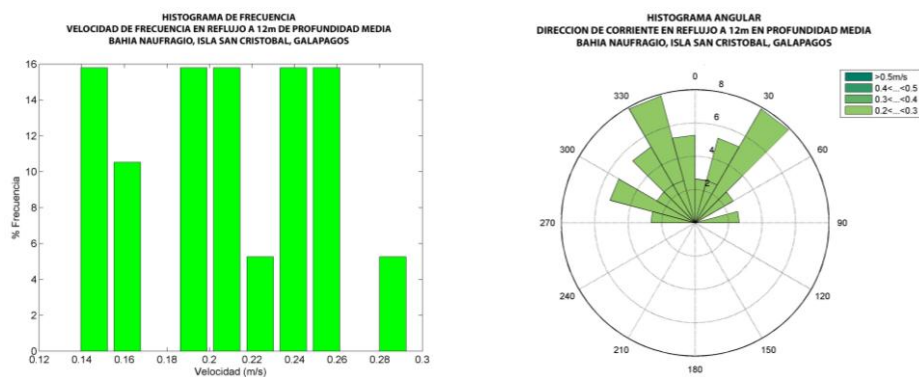
d)



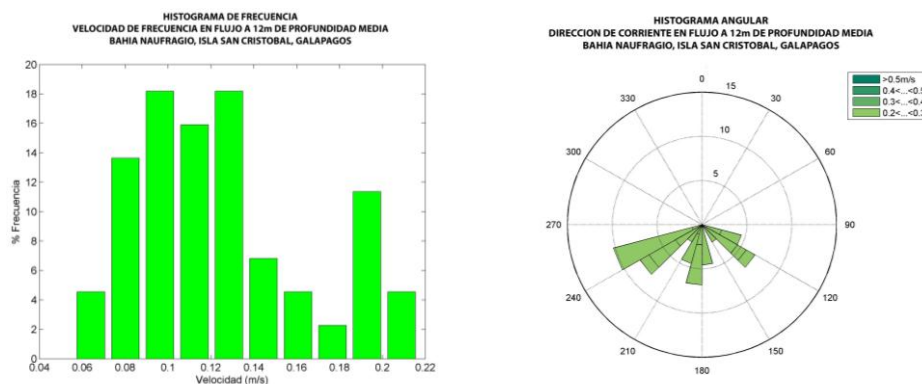
**Figura 3.6** Histograma de frecuencia e histograma angular durante el estado de reflujos (a) y flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel SUPERFICIAL en la E1, Bahía Naufragio (Elaborado por autor, 2012).

Con respecto al nivel medio en la Estación 1, la velocidad máxima de corriente se la registró durante el reflujó con 0.24 m/s con dirección 348 NW, mientras en el flujo con 0.12 m/s con dirección 218 SW. Las velocidades que tuvieron mayor índice de frecuencia durante la fase de reflujó se observan en el rango de 0.14 a 0.15 m/s (16%), 0.19 a 0.21 m/s (32%), 0.24 m/s (16%) y 0.26 m/s (16%), y direcciones NW y NE, en el estado de flujo 0.10 m/s (18%) y 0.13 m/s (18%) con dirección SW (10%) y SE (7%). Lo mismo que es corroborado en la gráfica vectorial, donde la velocidad y dirección de la corriente media guarda relación con los dos estados de marea. La componente V muestra claramente un desplazamiento norte y sur dependiendo de la hora del día (figura 3.7).

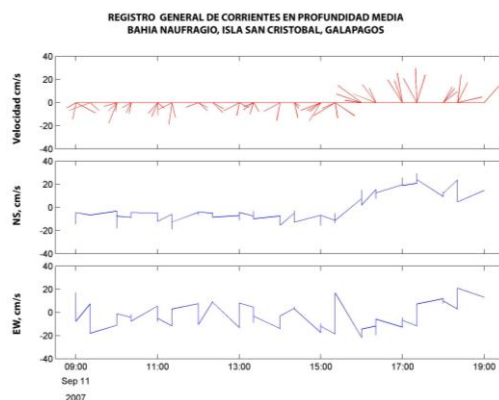
a)



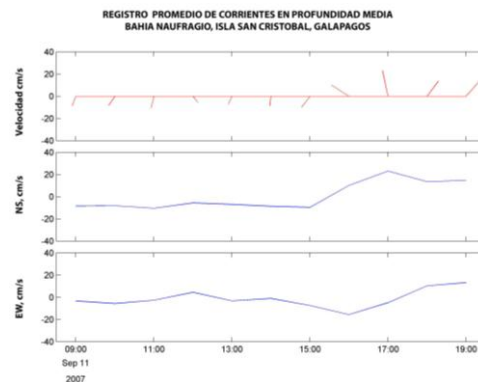
b)



c)



d)

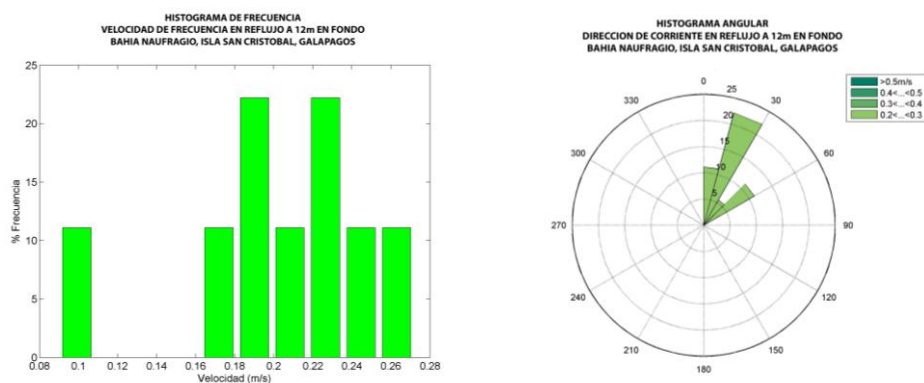


**Figura 3.7** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel MEDIO en la E1, Bahía Naufragio (Elaborado por autor, 2012).

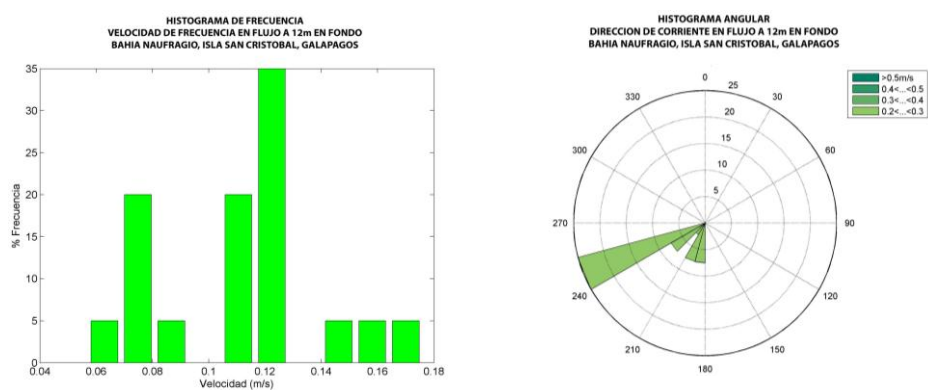
A nivel de fondo el correntómetro S4 registro la mayor velocidad de corriente durante el reflujo con 0.24 m/s con dirección NE, y en el flujo con velocidad máxima de 0.15 m/s con dirección SW. Los mayores porcentajes de frecuencias registrados en esta estación durante el estado de reflujo fueron: 0.19 m/s (23%) y 0.22 m/s (23%) con dirección NE (20%). En el estado de flujo la velocidad de corriente con mayor

porcentaje de incidencia fue de 0.12 m/s con dirección SW. Lo mismo que es verificado con los gráficos vectoriales a nivel de fondo, donde se muestra vectorialmente la magnitud y dirección de la corriente en relación a los dos estados de marea, así como el comportamiento de la componente V (N-S), que en el estado de flujo es negativa (Sur) y en el reflujo es positiva (Norte).

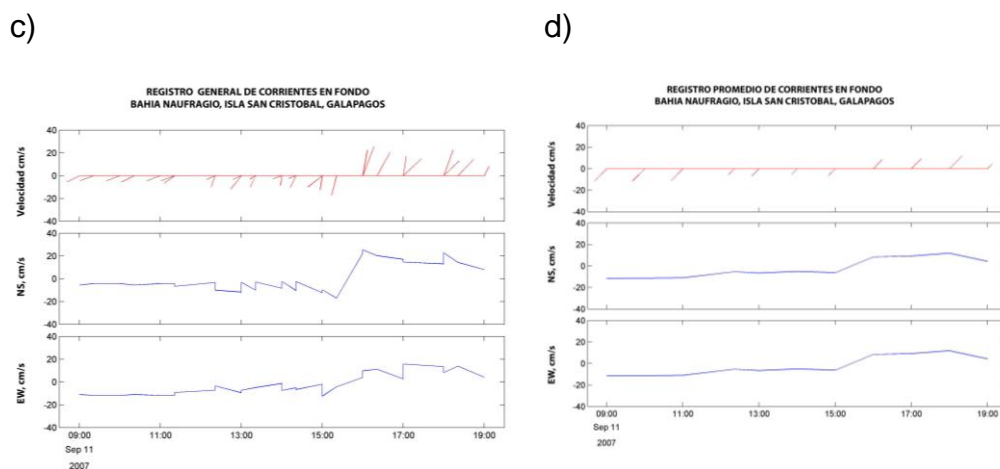
a)



b)



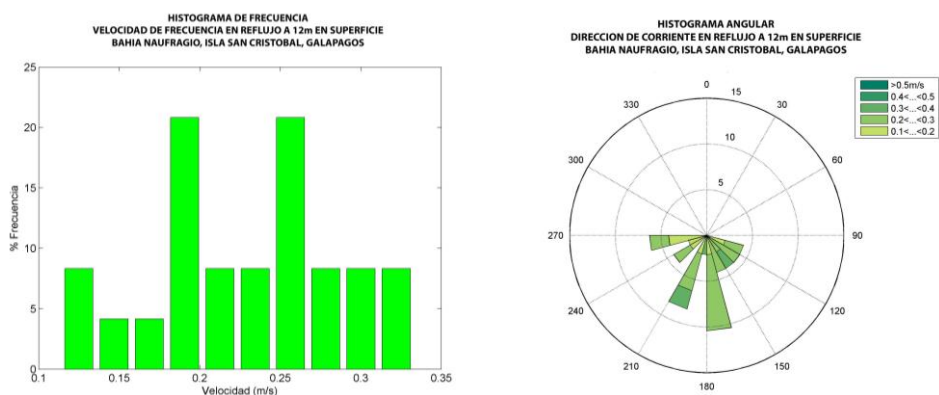




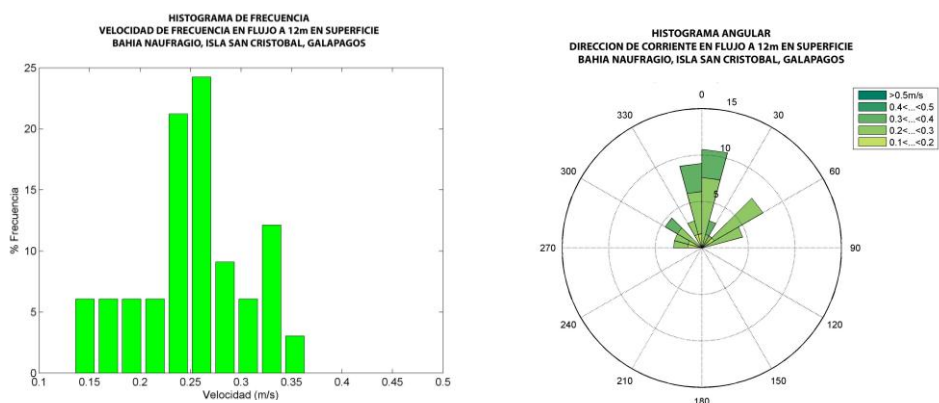
**Figura 3.8** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de FONDO en la E1, Bahía Naufragio (Elaborado por autor, 2012).

En la **Estación 2** (12/09/2007) ubicada al norte dentro de la Bahía (figura 3.5), se puede apreciar de los resultados mostrados en la tabla 3.2, que a nivel superficial la velocidad de corriente máxima se dio durante el flujo con 0.29 m/s con dirección NE. Las velocidades con mayor índice de frecuencia durante el estado de reflujo se encontraron en el rango de 0.19 - 0.20 m/s (21%) y 0.25 - 0.26 m/s (21%), mientras en el flujo fue de 0.24 - 0.25 m/s (23%) y 0.25 - 0.26 m/s (24.6%), respecto a los ángulos se observa que durante el reflujo oscilaron entre el SW - SE y durante el flujo entre el NW - NE, lo cual es constatado en los gráficos vectoriales de magnitud y dirección, donde se muestra la variabilidad horaria de la corriente, así mismo, en la componente V se aprecia claramente el traslado entre los puntos Norte y Sur.

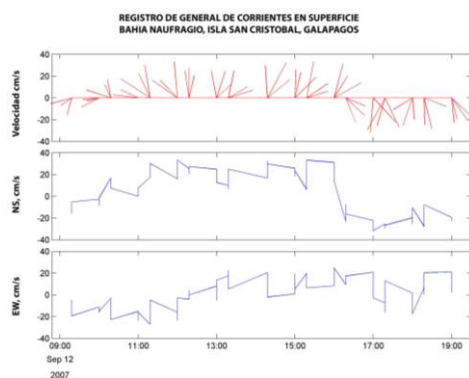
a)



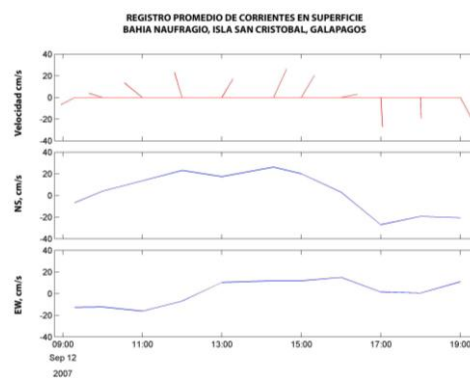
b)



c)



d)

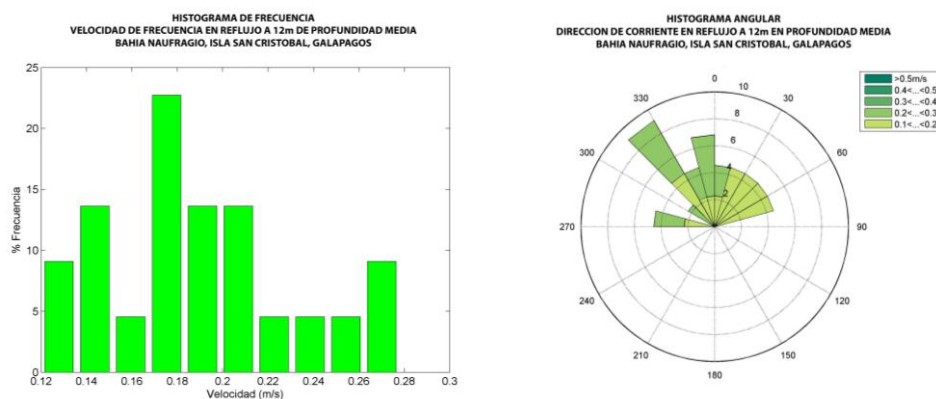


**Figura 3.9** Histograma de Frecuencia (a) e Histograma Angular (b) durante el estado de Reflujo y Flujo. Vectorial general (c) y vectorial promedio

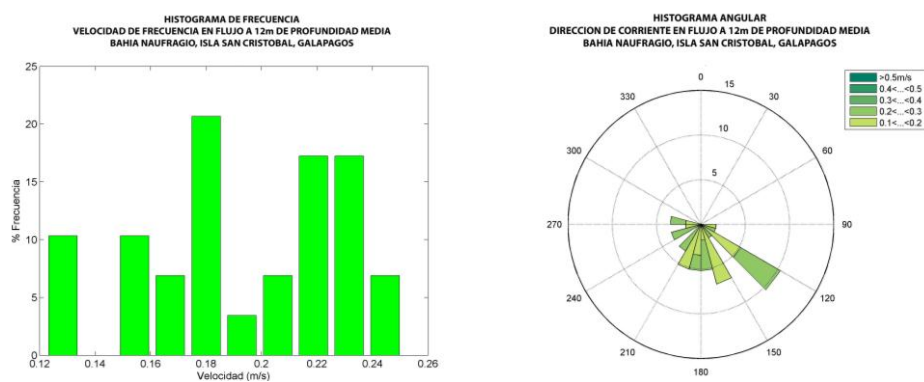
(d) a nivel SUPERFICIAL en la E2, Bahía Naufragio (Elaborado por autor, 2012).

En cuanto al nivel medio, la máxima velocidad de corriente se presentó durante el flujo con 0.22 m/s con dirección SW. Las velocidades con mayor índice de frecuencia registrados por el equipo durante el refluo se mantuvieron entre 0.17 y 0.18 m/s (23.5%) y en flujo estuvieron entre 0.17 y 0.18 m/s (22%). Los ángulos durante el refluo oscilan con mayor frecuencia hacia el NW y durante el flujo hacia el SE. Los gráficos vectoriales muestran claramente el comportamiento de la dirección de la corriente con el estado de la marea, así como, la componente V, la misma que se mueve de Norte a Sur dependiendo de la variabilidad horaria.

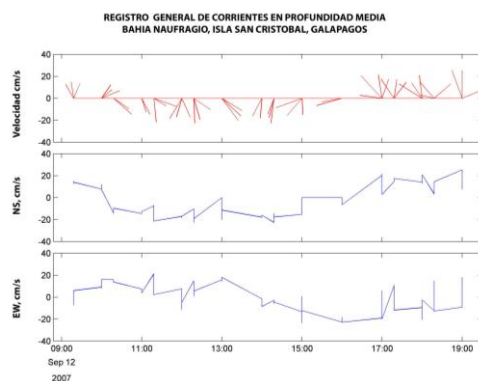
a)



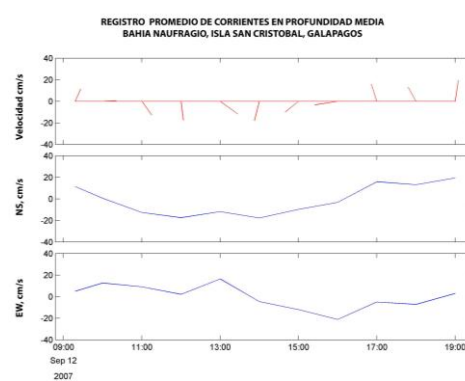
b)



c)



d)

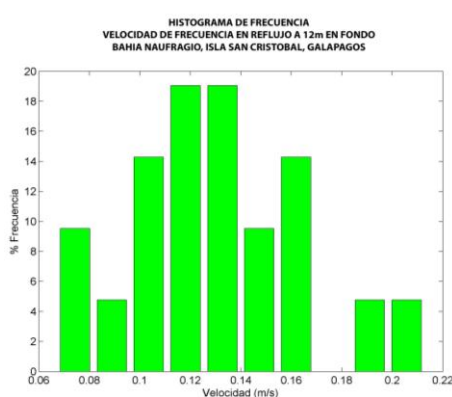


**Figura 3.10** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel MEDIO en la E2, Bahía Naufragio (Elaborado por autor).

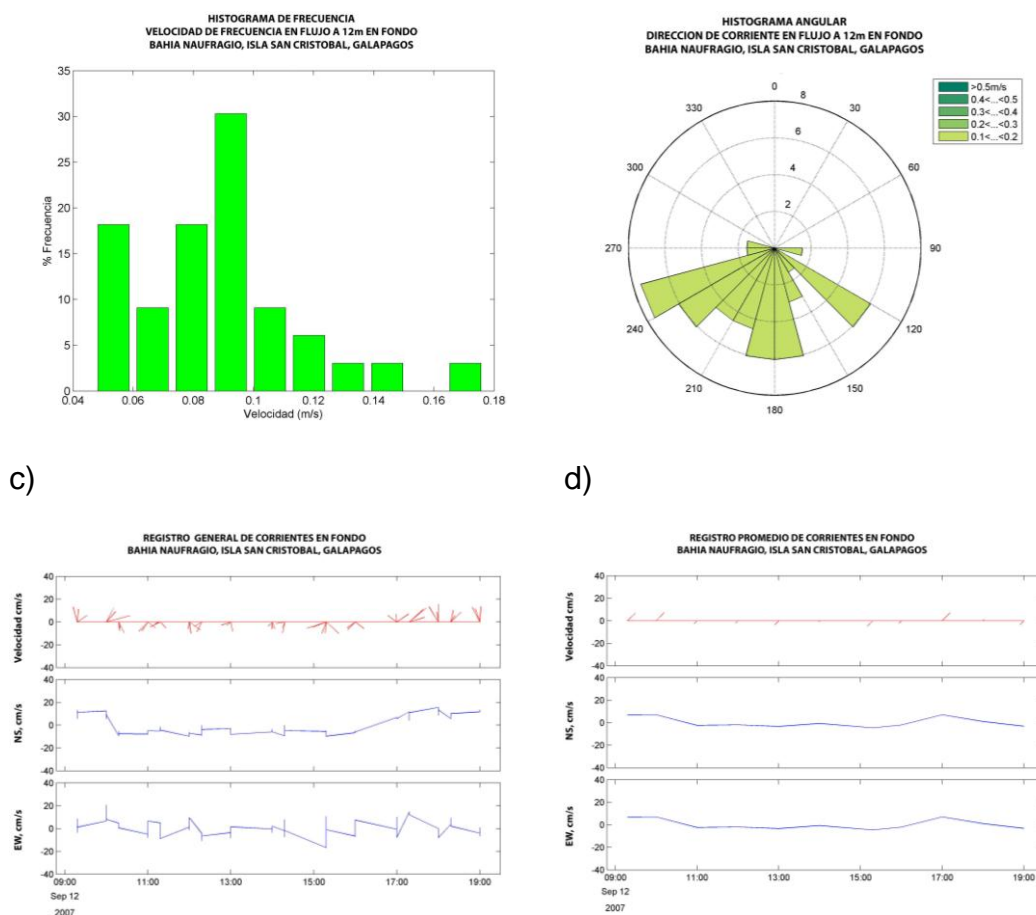
A nivel de fondo la máxima velocidad de corriente se presentó durante el estado de reflujó con 0.13 m/s con dirección NW, mientras en el flujo la velocidad máxima fue de 0.09 m/s con dirección SW, observándose la clara relación que guarda con la marea.

Los histogramas de frecuencias obtenidos para la capa de fondo refleja que las velocidades con mayor frecuencia están entre el rango de 0.12 (19%) y 0.14 m/s (19%), mientras que las direcciones oscilan en mayor frecuencia hacia el NE (13%) durante el estado de reflujó y durante el estado de flujo, la velocidad con mayor frecuencia fue 0.09 m/s (30%) con direcciones que oscilaron entre el SW (7%) y SE (5%), pero resultando la de mayor frecuencia hacia el SW. Siendo representado con los gráficos vectoriales de magnitud y dirección obtenidos para esta estación, mostrando que en velocidad a nivel de profundidad las corrientes son menores en comparación con las capas media y superficial. Mientras que, el cambio de dirección de la corriente se evidencia con el paso de las horas, así mismo la componente V fluctúa hacia el Norte y Sur dependiendo también del tiempo.

a)



b)



**Figura 3.11** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de FONDO en la E2, Bahía Naufragio (Elaborado por autor, 2012).

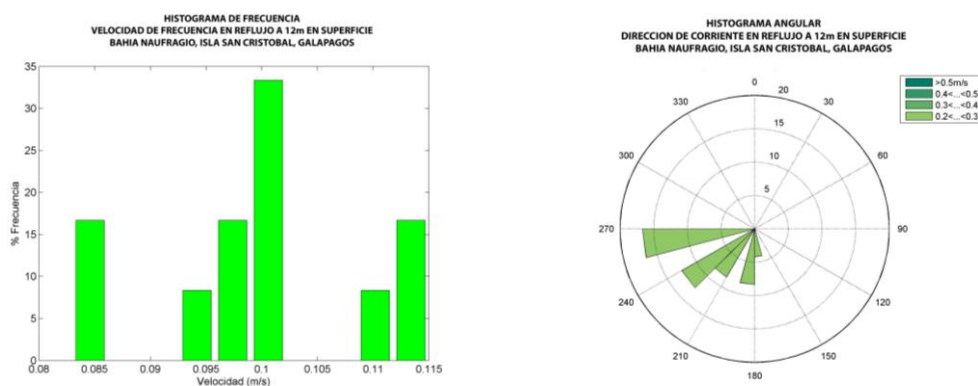
La Estación 3 correspondiente a las mediciones realizadas durante el 13/09/2007 se encuentra ubicada casi a las afueras de la bahía como se puede observar en la figura 3.5.

A nivel superficial la velocidad máxima se la registró durante el reflujo con 0.19 m/s con dirección NW, mientras en el estado de flujo fue de 0.09 m/s

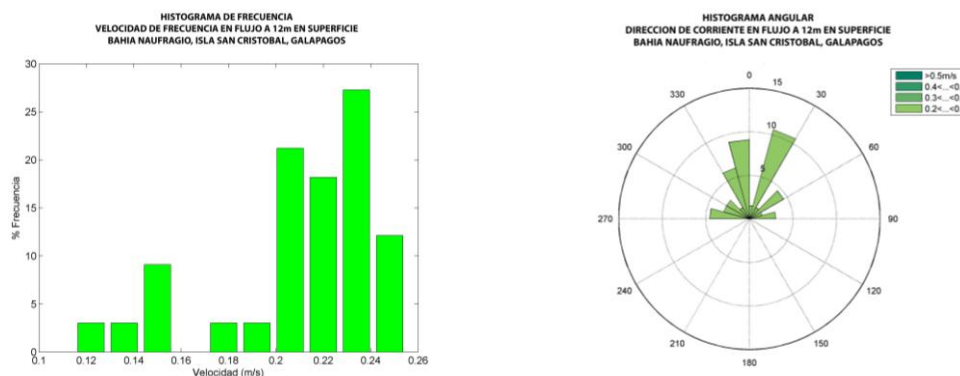
con dirección SW. Con la ayuda de los histogramas de frecuencia se tiene que la velocidad o magnitud de corriente con mayor porcentaje de frecuencia fue de 0.10 m/s (34%), mientras que la dirección se ubicó en el tercer cuadrante en un rango 250 – 270 (16%).

Del gráfico vectorial para la estación 3 se tiene que durante las primeras horas de la mañana el equipo registró corrientes de baja magnitud empezando a incrementarse durante la tarde. Los vectores también indican la relación que guarda con la marea habiendo cambio de direcciones al transcurrir el tiempo, así como se observa que estos cambios se dan en las componentes U y V, donde la componente V se desplaza de Norte a Sur dependiendo de la variabilidad horaria. En la figura 3.12 se puede observar las magnitudes y direcciones de corriente durante el día de medición.

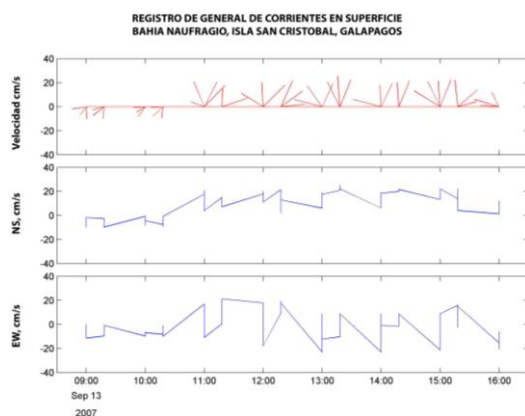
a)



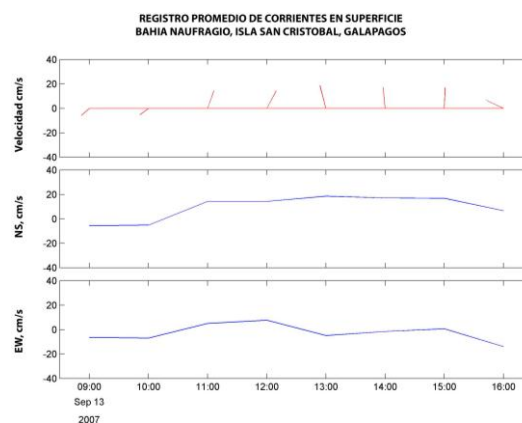
b)



c)



d)



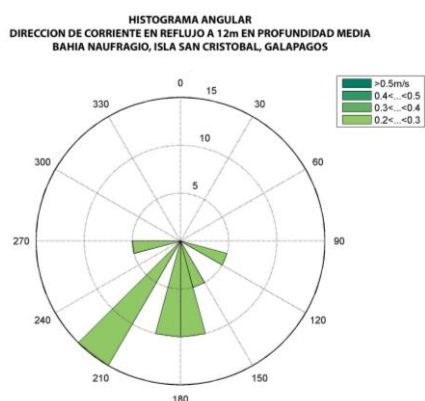
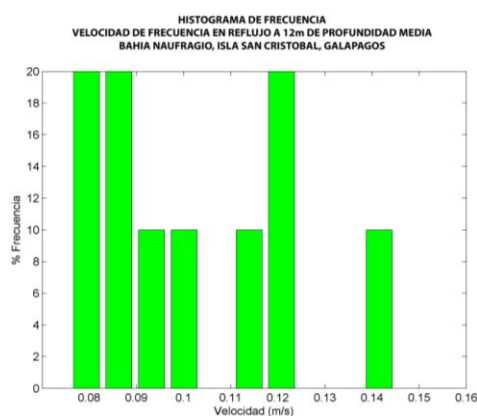
**Figura 3.12** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de SUPERFICIAL en la E3, Bahía Naufragio (Elaborado por autor, 2012).

Para el nivel medio de agua en la estación 3 se tiene que la mayor magnitud registrada fue durante el reflujo con una velocidad y dirección de 0.19 m/s NE, respectivamente, mientras en el estado de flujo la velocidad fue de 0.09 m/s con dirección S.

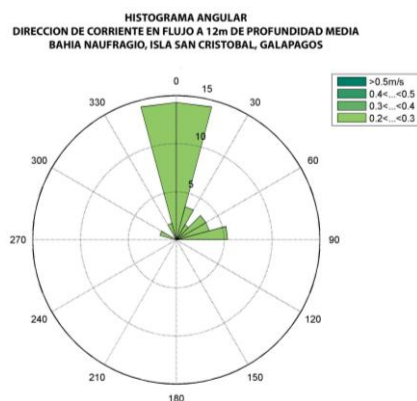
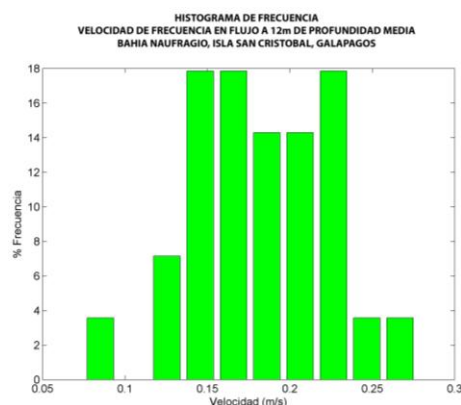


Las velocidades con mayor porcentaje de frecuencia durante el reflujo estuvieron entre 0.08 (20%), 0.09 (20%) y 0.12 m/s (20%) con dirección SW (15%) y mientras en el flujo las velocidades con mayor frecuencia de ocurrencia 0.15 (18%), 0.17 (18%) y 0.23 m/s (18%) con direcciones que oscilan entre el NW (14%) - N (14%) y NE (14%). El diagrama de vectores de la serie de datos de la estación 3, muestra que durante la mañana las magnitudes de la corriente tienden a ser menores y en el transcurso de las horas estas se intensifican. Mientras que las direcciones tienden a oscilar en los cuatro cuadrantes, reflejándolo las componentes U y V, donde U se traslada de Este a Oeste y V de Norte a Sur, siendo esta última componente la que refleja la relación directa con la marea (figura 3.13).

a)

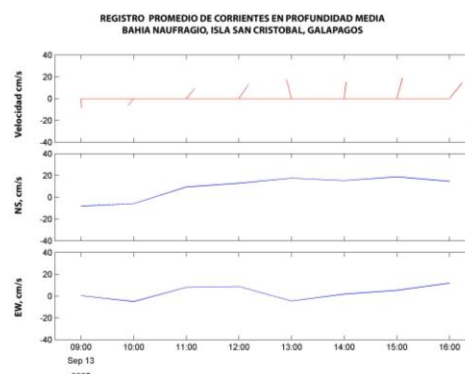
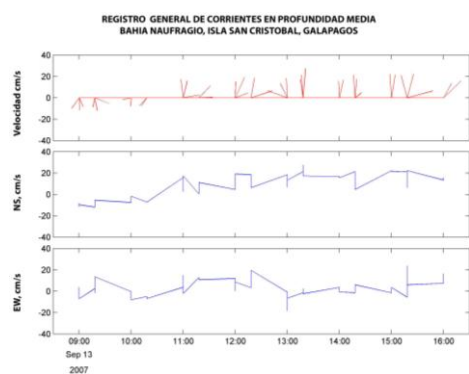


b)



c)

d)



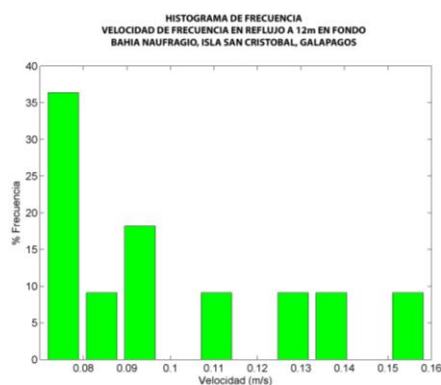
**Figura 3.13** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel MEDIO en la E3, Bahía Naufragio (Elaborado por autor, 2012).

A nivel de fondo, la velocidad máxima de corriente registrada por el correntómetro S4 se realizó durante el reflujo con 0.15 m/s y dirección NE, mientras durante el flujo el equipo registro como mayor magnitud 0.10 m/s con dirección SW. Mediante el histograma de frecuencia se tiene que, en el estado de reflujo y a nivel de fondo la corriente con mayor porcentaje de incidencia se encuentra en el rango de 0.02 m/s – 0.08 (36%), mientras la dirección se ubicó en el tercer cuadrante, SW (23%).

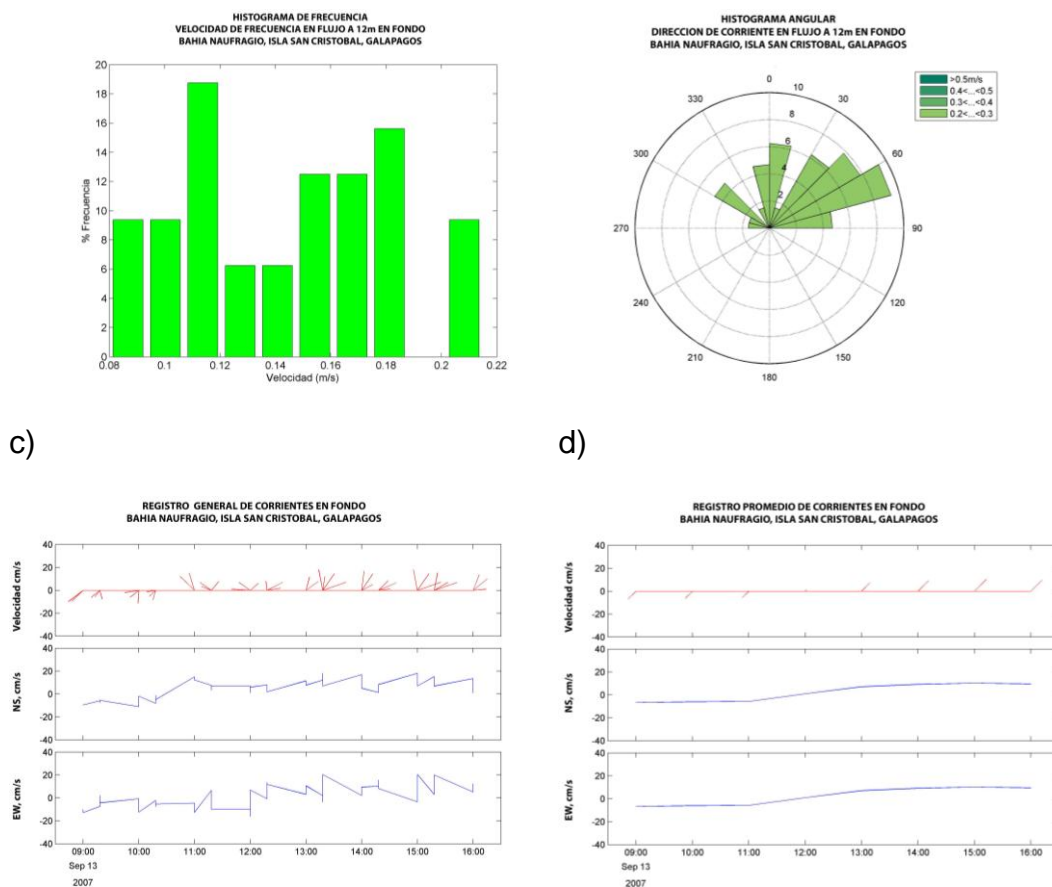
Así para el flujo, la velocidad de corriente con mayor porcentaje de frecuencia estuvo en el rango de 0.11 – 0.12 (18.5%) y la dirección osciló entre el primer y segundo cuadrante, siendo en el primero donde recayeron la mayor cantidad de registros, NE (9%).

El gráfico de vectores presentado a continuación muestra de manera rápida la magnitud y dirección de la corriente de fondo durante el paso del tiempo, teniendo que durante las horas de la mañana la velocidad de la corriente es menor, aumentando paulatinamente durante el paso de las horas, así mismo se observa claramente la oscilación de la dirección de la corriente fondo. En la figura 3.14 se muestra la magnitud y dirección de la corriente de fondo.

a)



b)



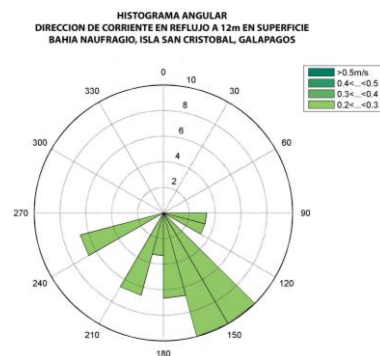
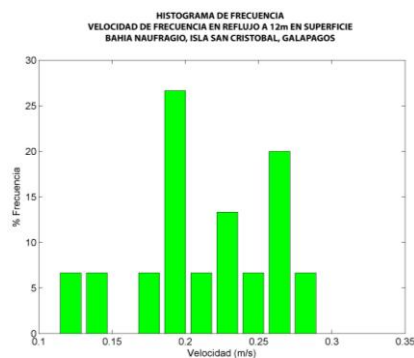
**Figura 3.14** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de FONDO en la E3, Bahía Naufragio (Elaborado por autor, 2012).

La Estación 4(14/09/2007) corresponde al último día de medición de la campaña en el 2007. El análisis realizado a los datos registrados por el correntómetro S4 fue igual que en las tres estaciones anteriores, teniendo que para la capa superficial la máxima velocidad de corriente fue durante el estado de flujo con 0.27 m/s y dirección NE, mientras que durante el reflujo fue de 0.23 m/s con dirección SE.

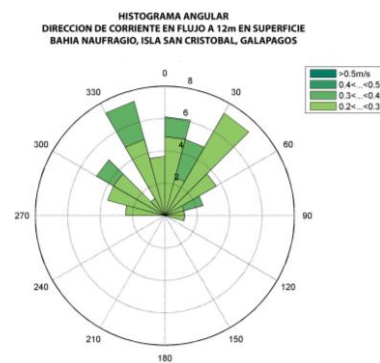
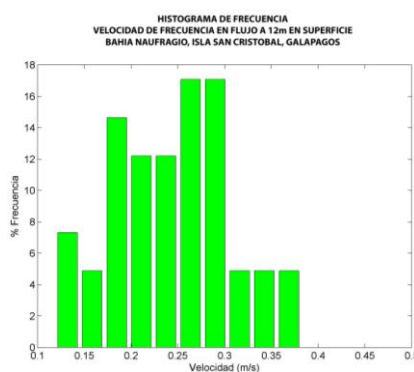
Los histogramas de frecuencia de velocidad y dirección de corriente reflejan que durante el refluo la magnitud con mayor porcentaje de ocurrencia estuvieron entre el rango de 0.19 y 0.20 m/s (26.5%), mientras la dirección se mantuvo oscilando entre el tercer y cuarto cuadrante, pero la mayor frecuencia se presentó en dirección SE. Mientras que, durante el estado de flujo el grupo de velocidades de corriente con mayor incidencia estuvieron entre los rangos de 0.25 - 0.27 m/s (17%) y 0.28 - 0.30 m/s (17%), las direcciones estuvieron asociadas al primer y segundo cuadrante, direcciones NW (7.3%) y NE (7.3%).

Del gráfico vectorial se tiene que para esta estación las magnitudes de velocidad de corriente se mantuvieron constantes, observándose que durante la mañana o tarde la magnitud se mantiene en un rango, no siendo así la dirección, puesto que esta se encuentra relacionada al cambio de marea, lo mismo que es ratificado con las componentes U y V, donde la componente V tiende a desplazarse hacia el sur o norte dependiendo del tiempo, en las siguientes figuras se puede observar las magnitudes y direcciones de la corriente superficial con el pasar de las horas.

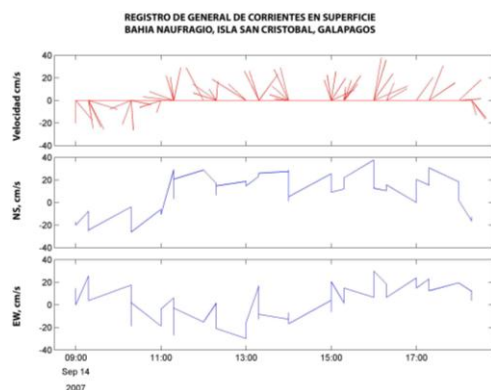
a)



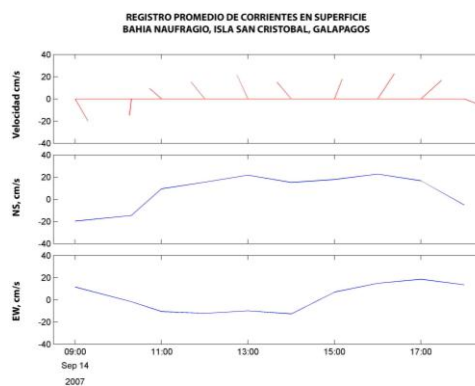
b)



c)



d)

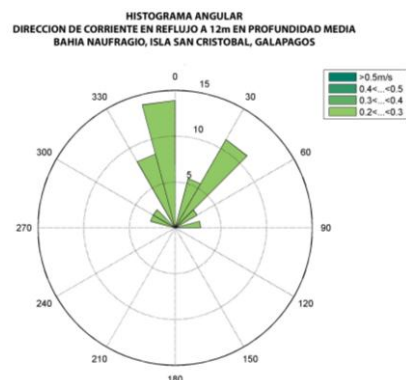
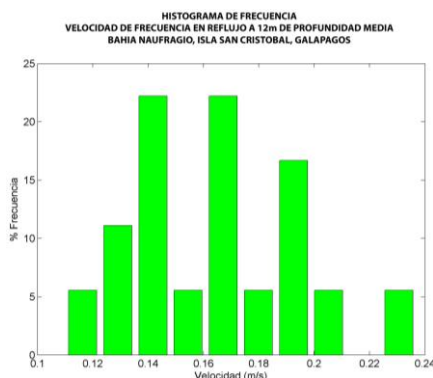


**Figura 3.15** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de SUPERFICIE en la E4, Bahía Naufragio (Elaborado por autor, 2012).

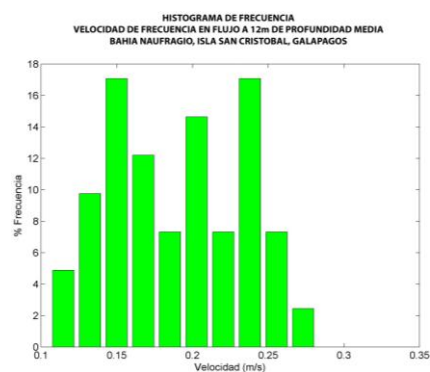
Para el nivel medio se tiene que durante el estado de flujo se registro la mayor corriente con un diferencial mínimo al obtenido en el estado de reflujo. Durante el estado de flujo la velocidad máxima de corriente fue de 0.16 m/s con dirección SE, y durante el reflujo fue de 0.15 m/s con dirección NW. Teniendo que en magnitud estuvieron semejantes pero en dirección su oscilación es diferente.

De las figuras de los histogramas se obtuvieron los siguientes resultados: la velocidad con mayor porcentaje de frecuencia durante el estado de reflujo se encontraron en 0.14 m/s (23%) y entre 0.16 - 0.17 m/s (23%), con dirección 345 NW (14%). Para la fase de flujo la velocidad con mayor porcentaje de frecuencia estuvo en 0.15 m/s (17%) y entre 0.24 - 0.25 m/s (17%) con dirección 180 – 200 SW (8.3%). Del gráfico vectorial correspondientes a la Estación 4 se tiene que guarda relación directa con la marea, lo mismo que es corroborado con la graficación de las componentes U y V. Donde la componente V se traslada de norte a sur dependiendo del paso de las horas, en las siguientes figuras se puede observar la oscilación de la corriente con el paso del tiempo.

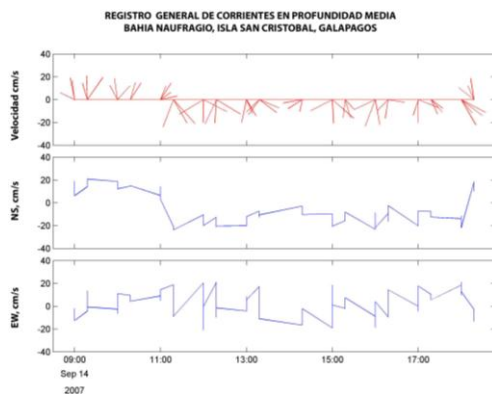
a)



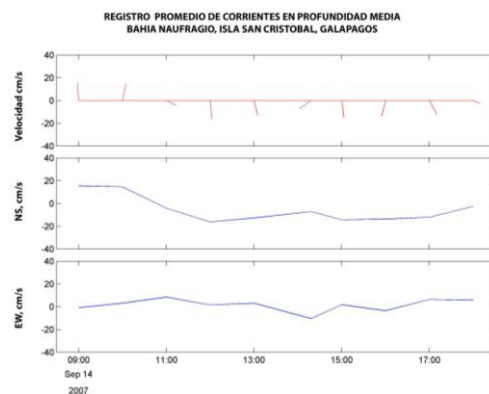
b)



c)



d)

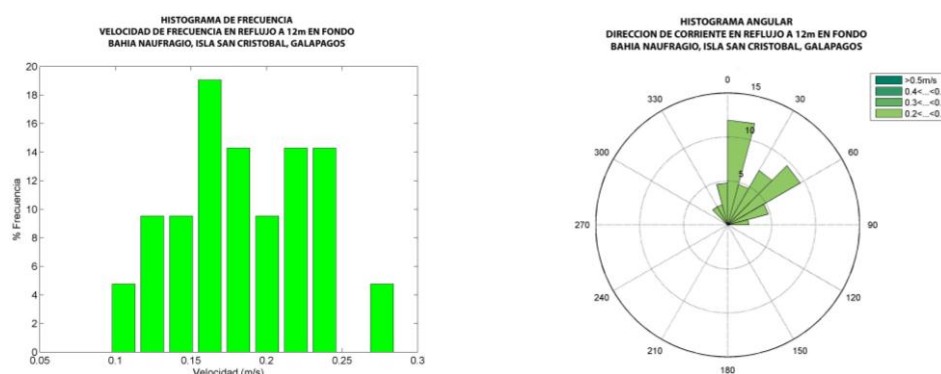


**Figura 3.16** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel MEDIO en la E4, Bahía Naufragio (Elaborado por autor, 2012).

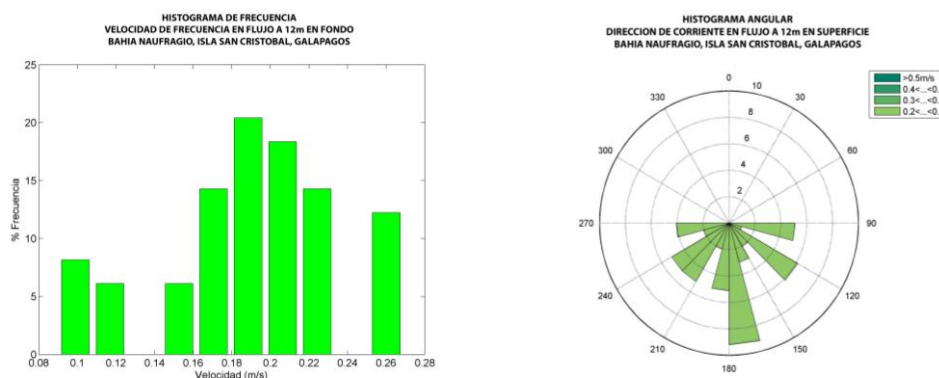


A nivel de fondo durante las mediciones realizadas en esta estación se tiene que la máxima velocidad de corriente se la registró durante el estado de flujo con 0.21 m/s y dirección SW, mientras en el refluo con 0.17 m/s y dirección NE. Mediante los histogramas de frecuencia se encuentra que durante el estado de refluo la velocidad de corriente con mayor porcentaje de ocurrencia fue de 0.16 m/s (19%), las direcciones se ubicaron en el primer cuadrante, con dirección NE y mientras en el flujo se registró una magnitud de 0.19 m/s (20%) como la más frecuente en la estación 4, las direcciones estuvieron asociadas al tercer y cuarto cuadrante. Los diagramas de vectores nos permite apreciar el cambio de dirección de la corriente de fondo mientras las horas pasan guardan mutua relación con la marea, o mismo que es confirmado con la graficación de las componentes U y V, donde la componente V tiende a desplazarse de norte a sur dependiendo del tiempo (figura 3.17).

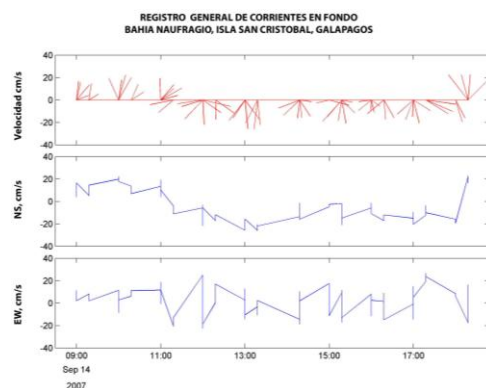
a)



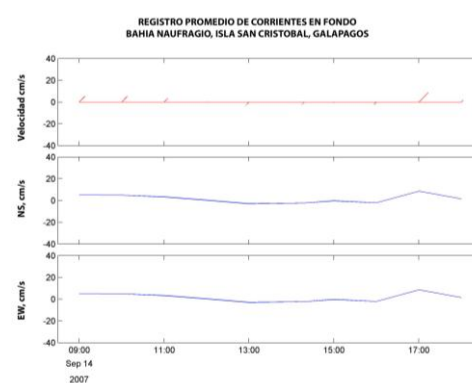
b)



c)



d)



**Figura 3.17** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de FONDO en la E4, Bahía Naufragio (Elaborado por autor, 2012).

**Tabla 3.2** Resultados obtenidos durante el año del 2007, Bahía Naufragio, Isla San Cristóbal, Galápagos.

Fecha	Profundidad	Velocidad Promedio. (m/s)	Dirección (grados*)	Velocidad Max. (m/s)	Dirección (grados*)	Estado de marea
11/09/2007 <i>Estación 1</i>	Superficie	0.13	219	0.19	233	Flujo
	Superficie	0.19	330	0.23	332	Reflujo
	Medio	0.08	198	0.12	218	Flujo
	Medio	0.15	3	0.24	348	Reflujo
	Fondo	0.11	230	0.15	206	Flujo
	Fondo	0.18	28	0.24	20	Reflujo
12/09/2007	Superficie	0.18	14	0.29	24	Flujo

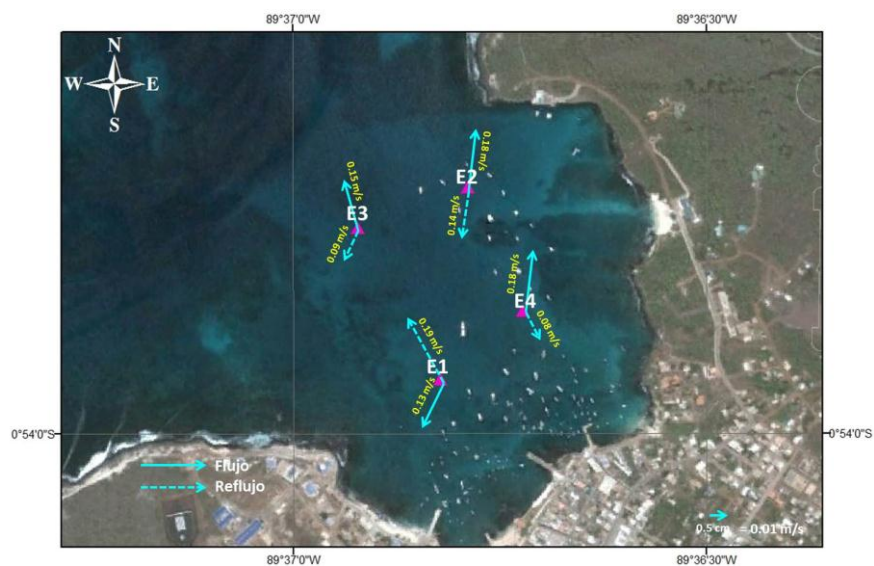
Fecha	Profundidad	Velocidad Promedio. (m/s)	Dirección (grados*)	Velocidad Max. (m/s)	Dirección (grados*)	Estado de marea
<i>Estación 2</i>	Superficie	0.14	190	0.27	177	Reflujo
	Medio	0.12	188	0.22	261	Flujo
	Medio	0.12	8	0.20	9	Reflujo
	Fondo	0.06	204	0.09	210	Flujo
	Fondo	0.09	24	0.13	346	Reflujo
<b>13/09/2007</b> <i>Estación 3</i>	Superficie	0.15	355	0.09	234	Flujo
	Superficie	0.09	231	0.19	345	Reflujo
	Medio	0.16	19	0.08	178	Flujo
	Medio	0.07	199	0.19	16	Reflujo
	Fondo	0.10	30	0.10	223	Flujo
	Fondo	0.09	225	0.15	42	Reflujo
<b>14/09/2007</b> <i>Estación 4</i>	Superficie	0.18	3	0.27	33	Flujo
	Superficie	0.08	157	0.23	150	Reflujo
	Medio	0.13	181	0.16	175	Flujo
	Medio	0.07	35	0.15	357	Reflujo
	Fondo	0.13	179	0.21	188	Flujo
	Fondo	0.12	18	0.17	16	Reflujo

\*Grados en relación a brújula

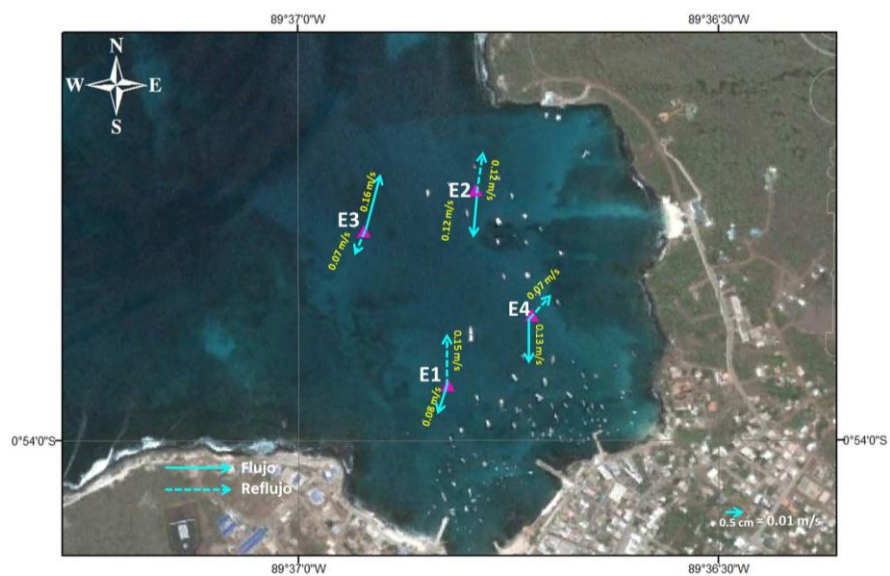
De la tabla presentada se observa que en tres de las cuatro estaciones se registraron las mayores velocidades de corriente durante el estado de reflujo, situación que está en acuerdo con la dinámica de acción que tiene una bahía, donde la vaciante supera al ingreso del agua. A continuación se muestran los vectores resultantes de la corriente superficial, media y de fondo, teniendo que las mayores magnitudes se las registra en la capa superficial a diferencia de la capa de fondo donde las intensidades son menores en comparación con la capa superficial y media. Así mismo se observa claramente la relación que guarda con la marea. A nivel superficial, en el momento de flujo tres de las cuatro estaciones tienden a desplazarse hacia el NE y NW, y en el reflujo hacia el SW y SE, siendo la E1 la única que tiene un comportamiento diferente. En la capa media,

ocurre lo contrario, tres estaciones durante el flujo tienden a dirigirse hacia SW y SE, y en el refluo al NW y NE, a excepción de la E3. Las direcciones de la capa de fondo se asemejan mucho a la capa media, donde tres de las estaciones se dirigen al SW y SE en el flujo y en el refluo hacia el NW y NE, con diferencia de la E3, tal como ocurre en la capa media (figura 3.16).

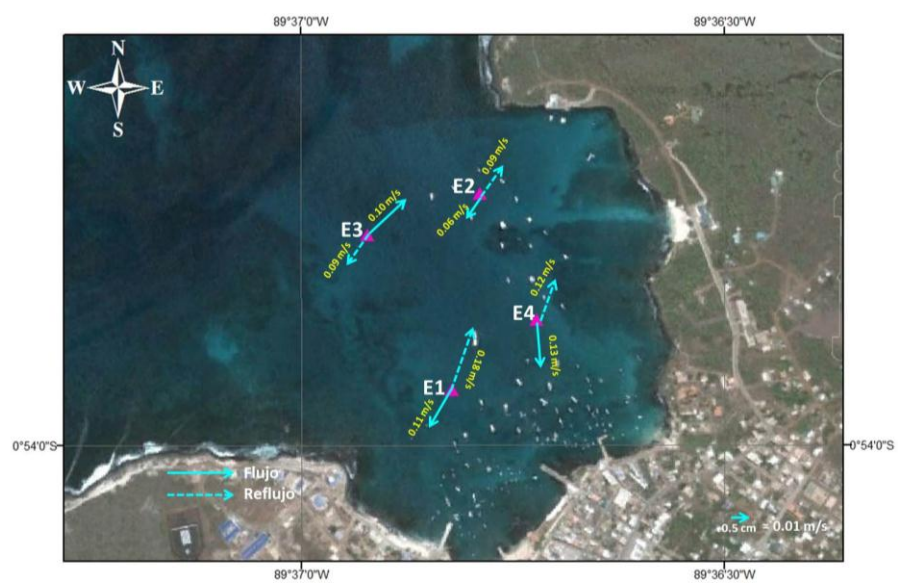
a)



b)



c)



**Figura 3.18** Vectores resultantes de la corriente superficial (a), media (b) y de fondo (c), año 2007, Bahía Naufragio (Elaborado por autor, 2012).

### 3.2.2 Resultados de la campaña del 2002.

Durante la campaña del **año 2002** se realizaron mediciones de corriente en la capa superficial, media y de fondo en tres estaciones fijas distribuidas dentro de la Bahía Naufragio, las mismas que son mostradas en la figura 3.19, los resultados presentados en este estudio corresponderían a la época cálida (Cucalón, 1987).

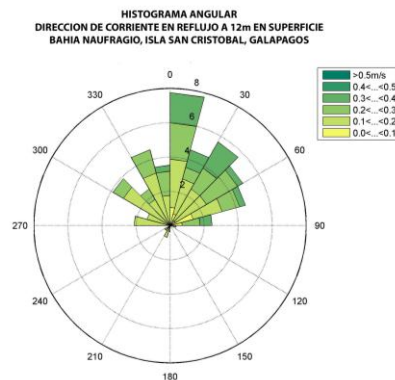
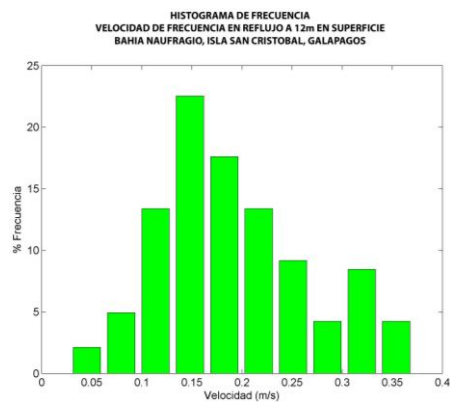


**Figura 3.19** Ubicación geográfica de las estaciones 2002 en Bahía Naufragio, Isla San Cristóbal, Galápagos (Elaborado por autor, 2012).

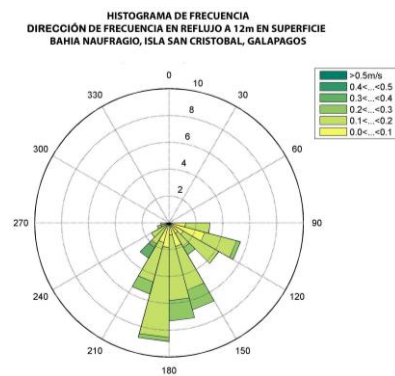
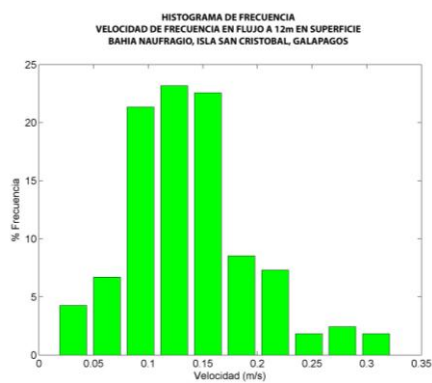
Los resultados presentados corresponden a mediciones de doce horas por día con un correntómetro S4, los mismos que fueron procesados con el programa MATCOR al igual que con la data del 2007.

La llamada estación 5 corresponde a las mediciones realizadas el 22/02/2002, teniendo que a nivel superficial la máxima velocidad de corriente fue registrada durante el estado de reflujo con 0.24 m/s y dirección NE, mientras en el flujo la máxima velocidad fue de 0.14 m/s con dirección SE. Los histogramas de frecuencia obtenidos con este registro de corrientes muestran que la velocidad y dirección con mayor porcentaje de frecuencia durante el reflujo fue de 0.15 m/s (23%) con direcciones entre el rango de 0 - 15 NE (7.7%) y en flujo la velocidad fue de 0.13 m/s (23%) con direcciones que recayeron en el tercer y cuarto cuadrante. Los diagramas vectoriales para la estación 5 muestran una clara influencia ejercida por la marea, el grafico vectorial presentado a continuación muestra claramente la oscilación de la corriente con el pasar del tiempo, lo mismo que es corroborado con la graficación de las componentes U y V, donde el comportamiento de la componente V esta sujeta al trascurso del tiempo, donde tiende a trasladarse de norte a sur o viceversa, a continuación se presentan los gráficos de histogramas y vectores.

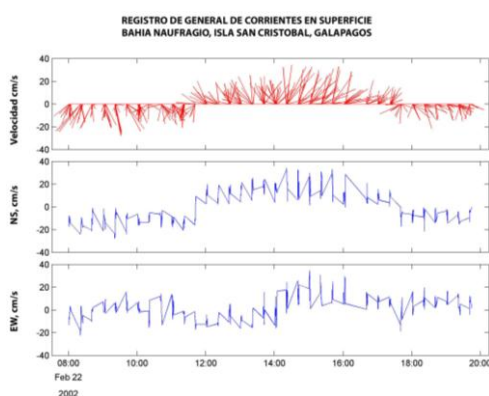
a)



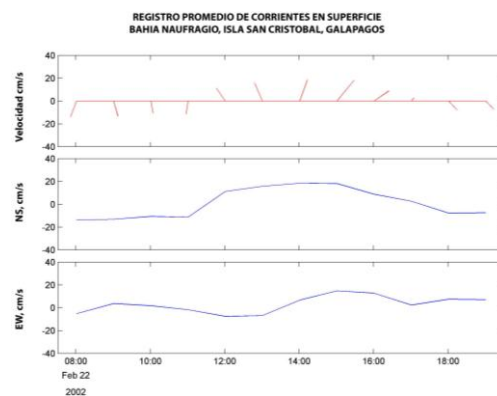
b)



a)



b)

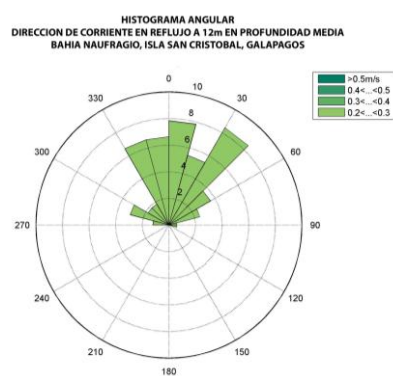
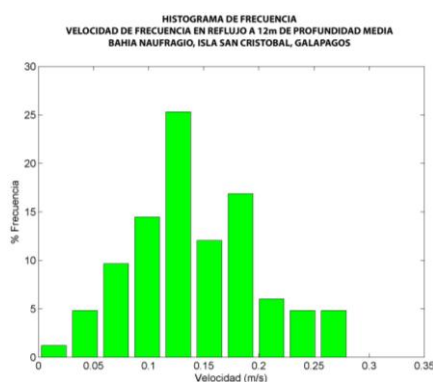


**Figura 3.20** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de SUPERFICIAL en la E5, Bahía Naufragio (Elaborado por el autor).

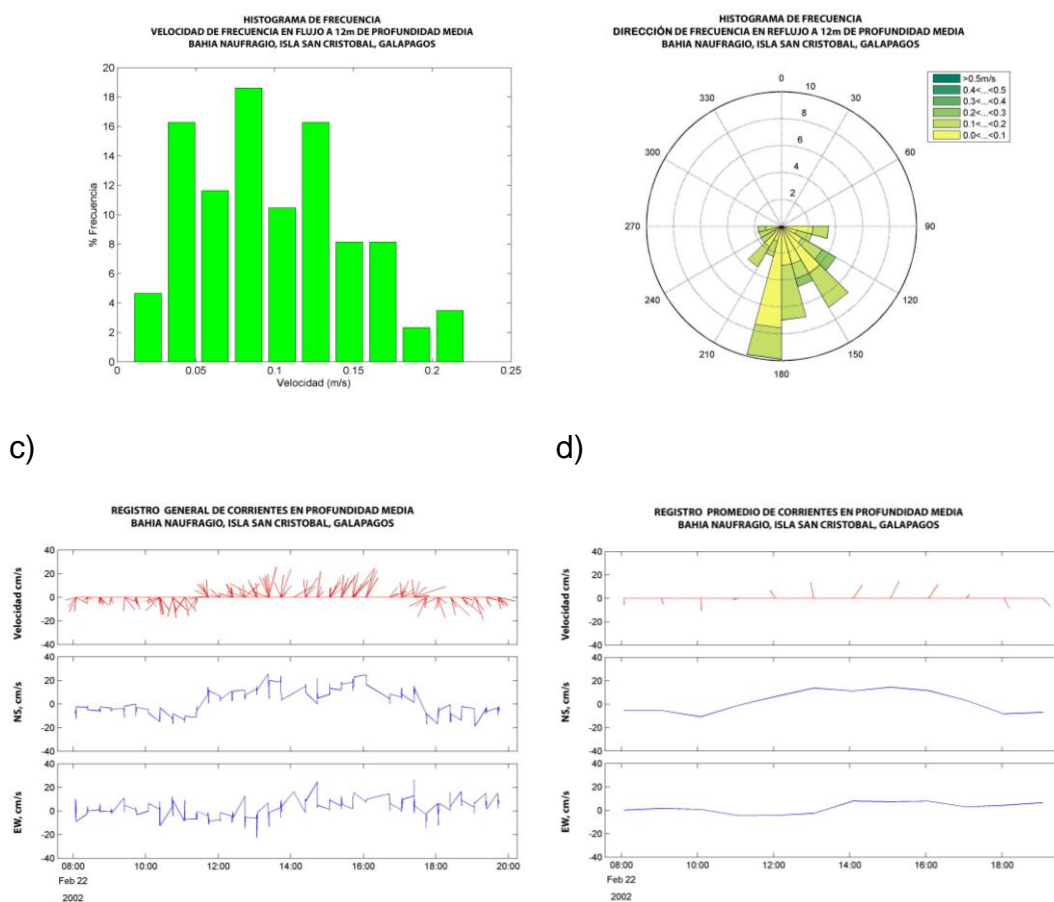


A nivel medio, la velocidad máxima de corriente se la registró durante el reflujó con una magnitud de 0.16 m/s con dirección NE, mientras en el flujo la velocidad alcanzó los 0.14 m/s con la misma dirección que en el reflujó. Los histogramas de frecuencia de velocidad y dirección durante el reflujó muestran que la velocidad con mayor porcentaje de frecuencia fue de 0.13 m/s (25%), mientras las direcciones se inclinaron hacia el primer y segundo cuadrante, NE (8.2%), mientras que durante el flujo fue de 0.09 m/s (18.5%) con dirección SW (10%). En los gráficos vectoriales, se observa que existen marcadas variabilidades horarias de la corriente, las que se aprecian claramente en el gráfico vectorial, lo mismo que es corroborado con la graficación de las componentes U y V, donde la componente V tiende a desplazarse de norte a sur dependiendo del tiempo.

a)



b)

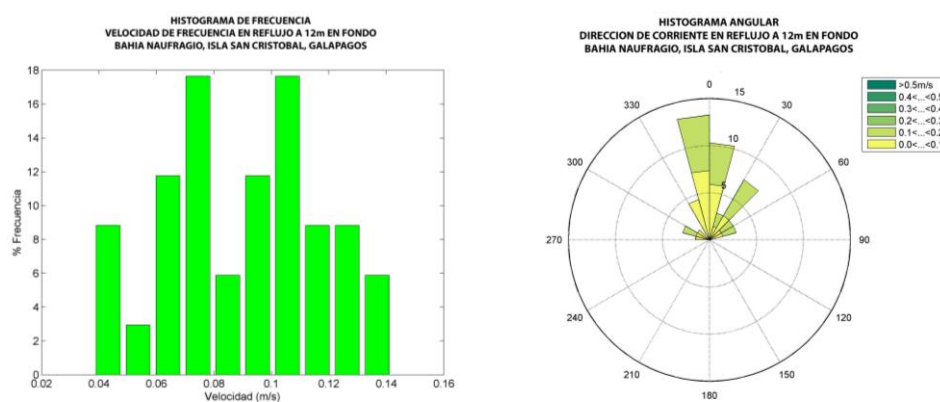


**Figura 3.21** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel MEDIO en la E5, Bahía Naufragio (Elaborado por el autor).

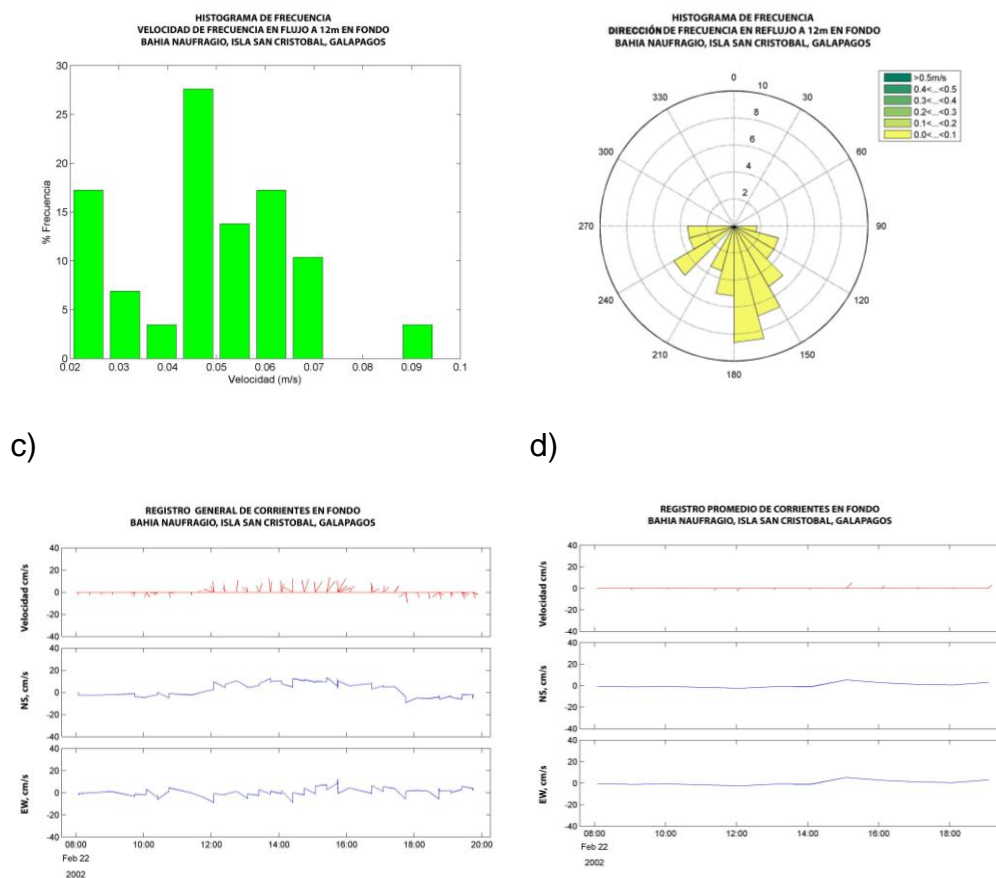
A nivel de fondo, la máxima velocidad se registró durante la fase de reflujo con 0.11 m/s y dirección NE, mientras en el flujo alcanzó la máxima velocidad de 0.06 con la misma dirección. De los histogramas de frecuencia de velocidad de fondo obtenidos se muestra que las velocidades con mayor porcentaje de frecuencia durante el reflujo se encuentran dentro del rango de 0.07 m/s (17%) y 0.10 m/s (17%) con dirección NW (14%), mientras que durante el flujo las velocidades con

mayor porcentaje de frecuencia fue de 0.045 m/s (27.5%), la dirección se ubicó en el tercer y cuarto cuadrante, SE (8.2%). Con ayuda de los gráficos vectoriales de corrientes se observa que las magnitudes son menores en comparación con las registradas en el nivel medio y superficial, así mismo se observa una estrecha relación con el estado de marea, lo cual es verificado en el comportamiento de la componente V de la corriente, la misma que se traslada en los campos norte y sur dependiendo del tiempo. En la siguiente figura se muestran los histogramas de frecuencia y vectoriales para este día de campaña.

a)



b)

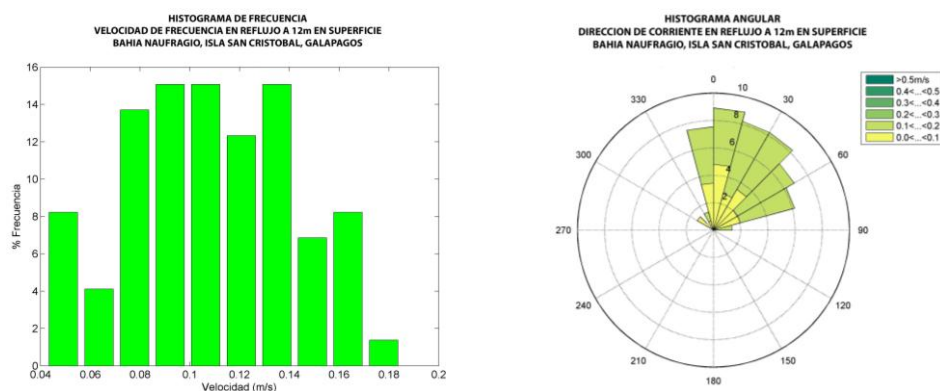


**Figura 3.22** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de FONDO en la E5, Bahía Naufragio (Elaborado por el autor).

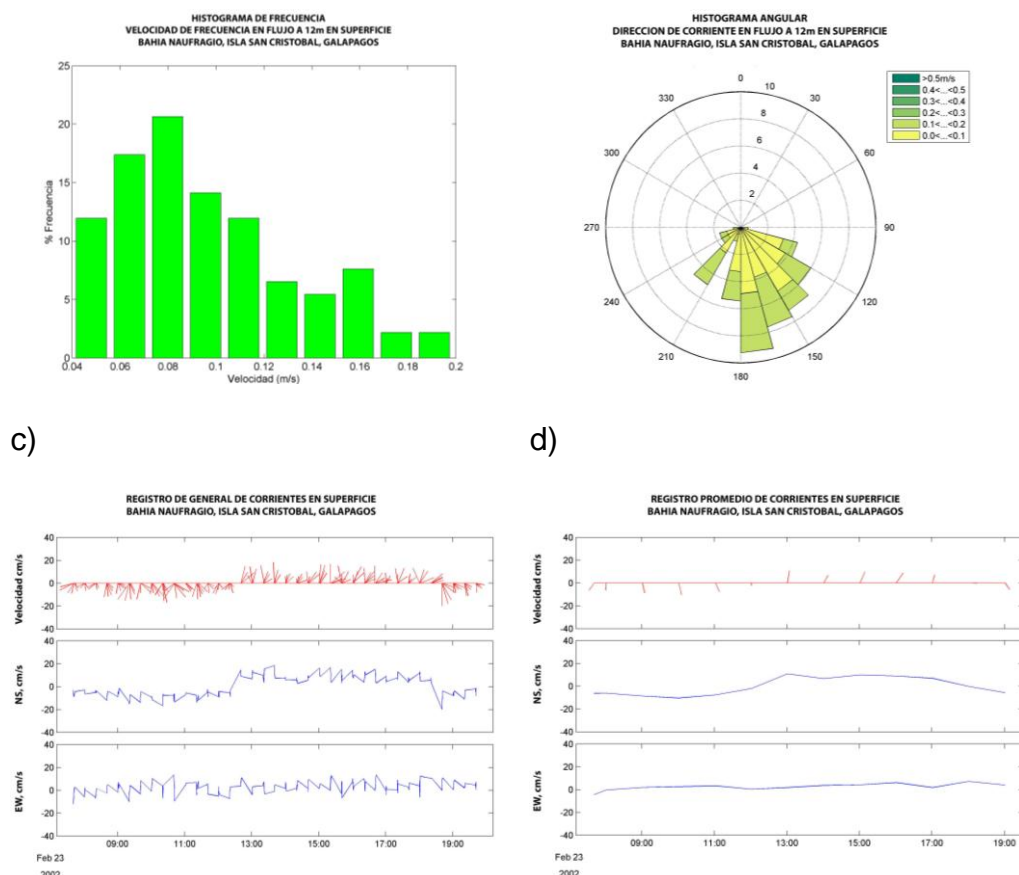
Los resultados obtenidos para la estación 6 (23/02/2002) ubicada al noreste de la bahía, muestran que la máxima velocidad de corriente superficial se la registró durante el estado de reflujo con una magnitud de 0.11 m/s y dirección NE, así mismo en el estado de flujo la máxima velocidad de corriente fue de 0.10 m/s con la misma dirección durante el estado de reflujo. Los histogramas de frecuencia de velocidad de corriente superficial para la fase de reflujo se observan en el rango de

0.09 – 0.11 (15%) y 0.13 – 0.14 (15%), mientras la dirección se ubicó en el primer y segundo cuadrante, con mayor incidencia en este último, NE (8.75%). Para la fase de flujo la velocidad con mayor incidencia fue de 0.08 m/s (21%), la dirección osciló entre el tercer y cuarto cuadrante, siendo los de mayor frecuencia con dirección SE (9%). Los diagramas vectoriales muestran claramente la relación que guarda con el estado de marea, así mismo la componente V muestra claramente el traslado entre el punto norte y sur en relación al pasar del tiempo (figura 3.23).

a)



b)

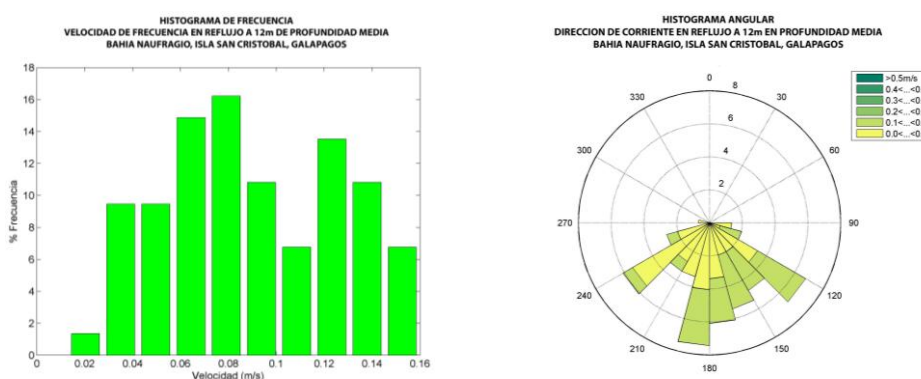


**Figura 3.23** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de SUPERFICIAL en la E6, Bahía Naufragio (Elaborado por el autor, 2012).

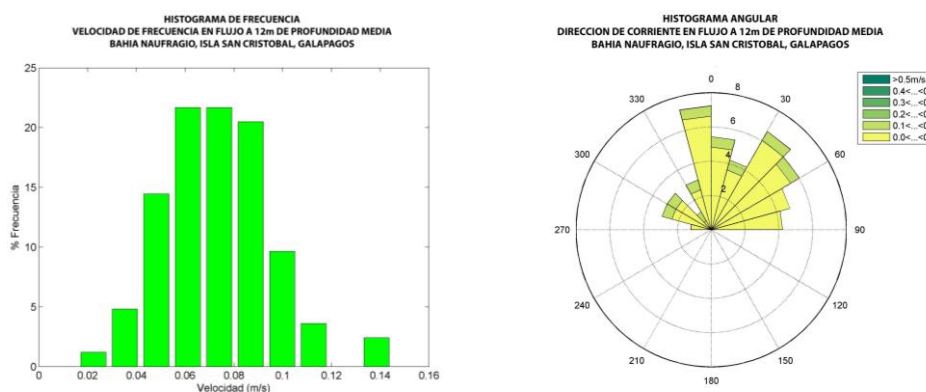
A nivel medio, se muestra que la máxima velocidad de corriente medida se la registró durante el estado de reflujo con una magnitud de 0.10 m/s y dirección SE, para el estado de flujo la máxima velocidad de corriente fue de 0.07 m/s con dirección NE. Los histogramas de frecuencia de la magnitud de la corriente media muestra que la velocidad con mayor incidencia durante el estado de reflujo corresponde a 0.08 m/s (16.4%), con direcciones que se situaron en el tercer y cuarto cuadrante, SW (7.7%) y SE (6.5%). Para el

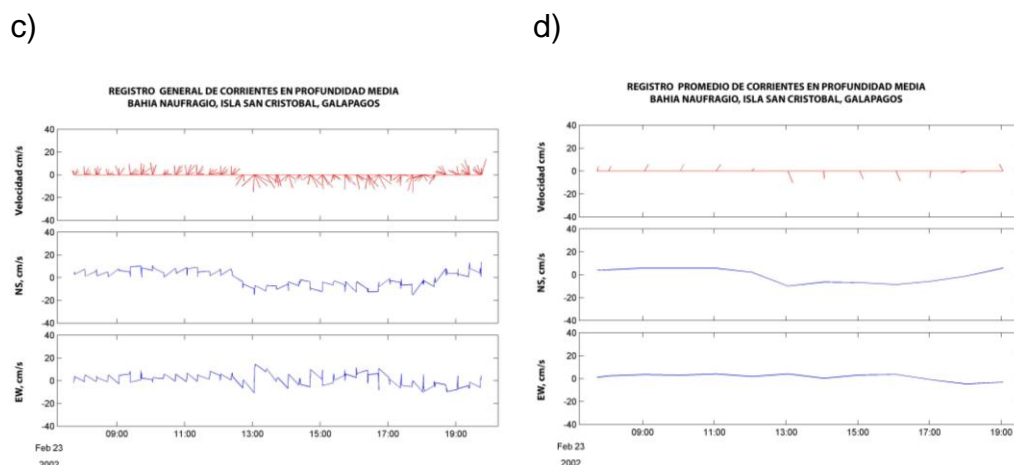
estado de flujo, se tiene que las velocidades con mayor porcentaje de frecuencia se encuentran en los rangos de 0.06 (22%) y 0.07 – 0.08 (22%), mientras que, las direcciones ocuparon el primer y segundo cuadrante, NW (7.2%) y NE (6.7%). Lo mismo que es complementado con el gráfico vectorial de la serie de datos, donde se muestra una clara relación del vector dirección con el estado de la marea. La componente V ratifica este cambio de dirección entre los puntos norte y sur, al igual que la componente U nos da el cambio de este a oeste con el paso del tiempo (figura 3.24).

a)



b)





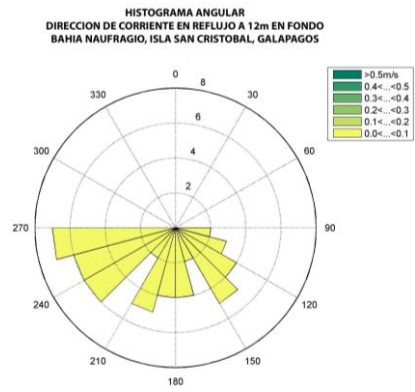
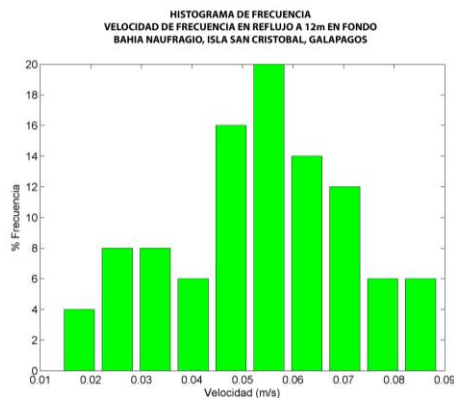
**Figura 3.24** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel MEDIO en la E6, Bahía Naufragio (Elaborado por el autor, 2012).

A nivel de fondo, se muestra que las máximas velocidades de corriente se encuentran en rangos muy cercanos, con velocidades de 0.06 m/s y 0.05 m/s para el reflujo y flujo, respectivamente, mientras que las direcciones oscilaron entre el SE (reflujo) y NE (flujo). Los histogramas de velocidad de corriente de fondo durante el estado de reflujo, muestra que la magnitud con mayor porcentaje de frecuencia fue de 0.04 m/s (20%), la dirección osciló entre el tercer y cuarto cuadrante, SW (7%) y SE (5%). Para el estado de flujo, la velocidad con mayor porcentaje de frecuencia se ubicó en el rango de 0.052 m/s – 0.068 m/s (22%), las direcciones estuvieron asociadas al primer y segundo cuadrante, NW (6%) y NE (9.9%), complementando esta información se realizaron gráficos vectoriales, donde se muestra claramente la relación que guarda las corrientes de fondo con la marea, así mismo las

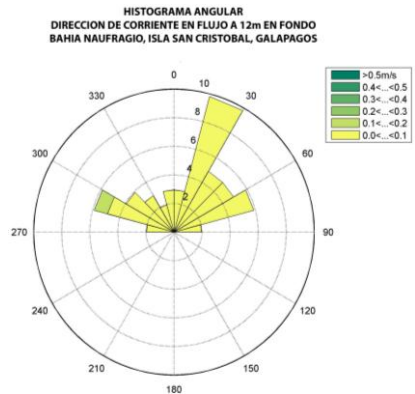
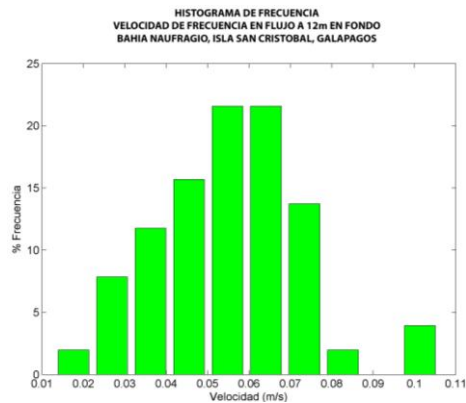


componentes U y V ratifican este comportamiento relacionado a la variabilidad horaria.

a)

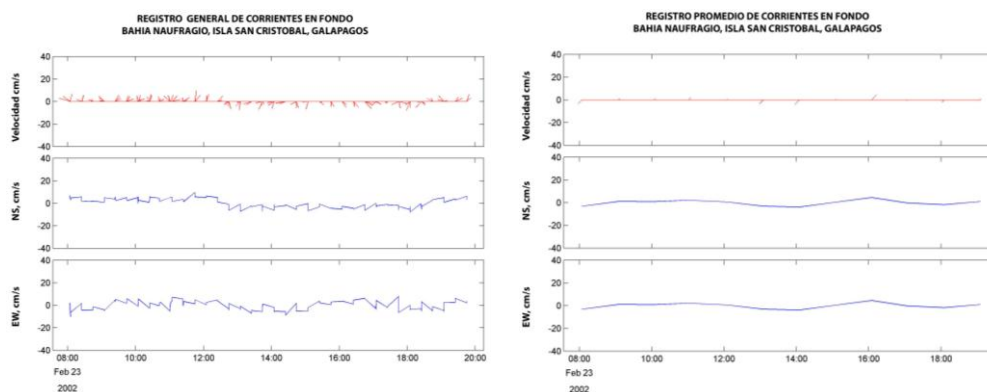


b)



c)

d)

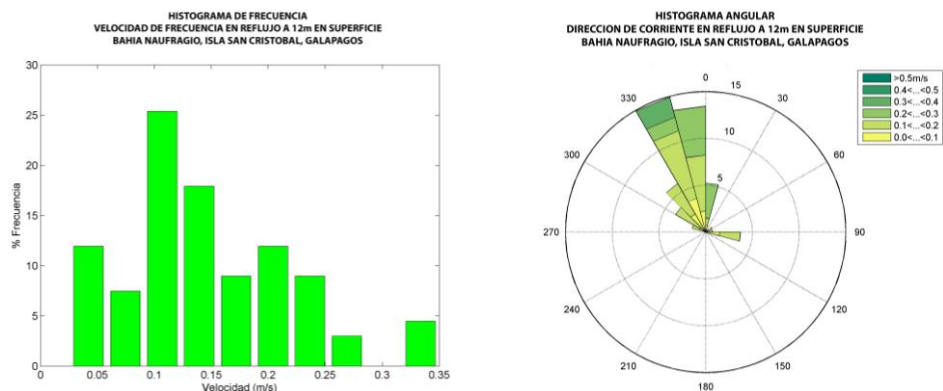


**Figura 3.25** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de FONDO en la E6, Bahía Naufragio (Elaborado por el autor, 2012).

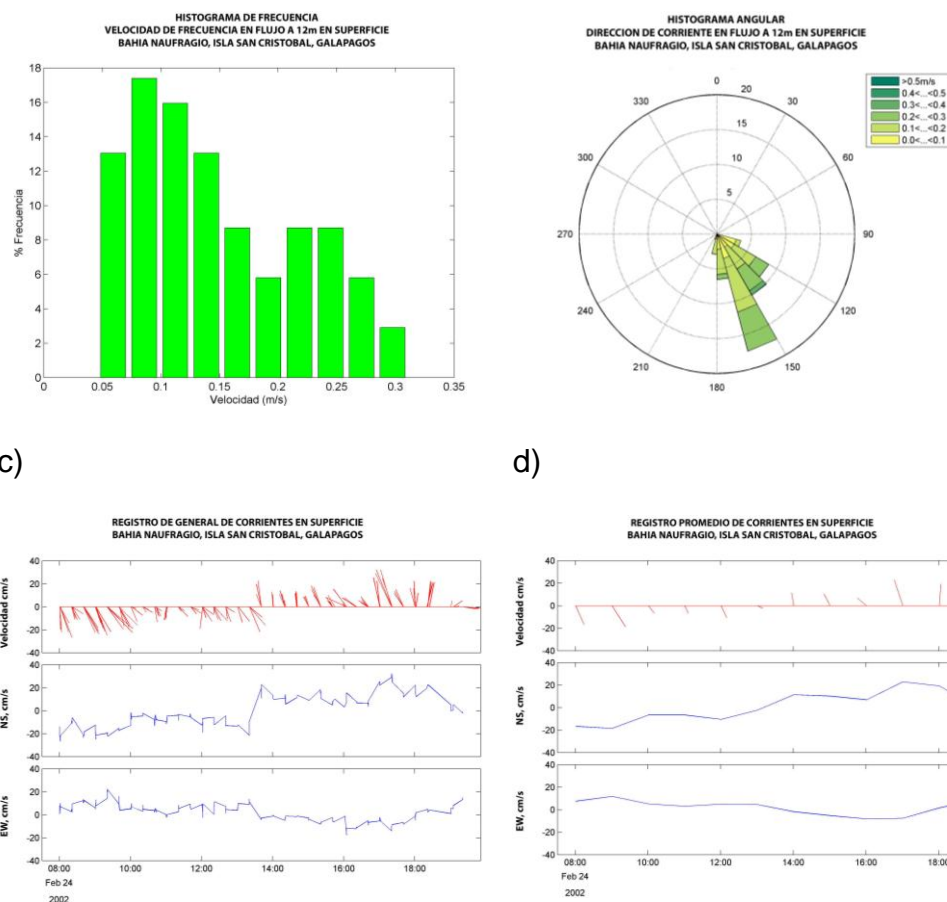
La estación 7 (24/Feb/2002) ubicada al Norte de la Bahía, se encuentra fuera del resguardo de la bahía a diferencia de las dos estaciones anteriores. Los resultados presentados corresponden a un día de registros de corrientes superficiales, medias y de fondo obtenidas con el equipo S4 durante los dos estados de marea (reflujo y flujo) de la misma que goza la bahía. La velocidad máxima durante el reflujo se presentó en 0.24 m/s con dirección NW, y en el flujo con 0.22 m/s y dirección SE. Los histogramas de frecuencia de velocidad durante la fase mareal de reflujo muestra que la magnitud de corriente con mayor frecuencia de incidencia se encuentra en el rango de 0.10 m/s – 0.12 m/s (25.3%), las direcciones rotaron entre el primer y segundo cuadrante, siendo este último en donde se presentaron con mayor incidencia, NW (15%).

Para el estado de flujo, los histogramas de magnitud indican que las velocidades superficiales con mayor incidencia se presentan en el rango de 0.08 m/s – 0.10 m/s (17%), las direcciones se ubicaron en el cuarto cuadrante, SE (17%). A manera de complementar el análisis se realizaron gráficos vectoriales de las direcciones y velocidad de la corriente, demostrando que esta se encuentra influenciada directamente por la marea, lo mismo que es ratificado con el comportamiento de las componentes U y V, donde esta última se desplaza de norte a sur y viceversa dependiendo del paso de las horas (figura 3.26).

a)



b)

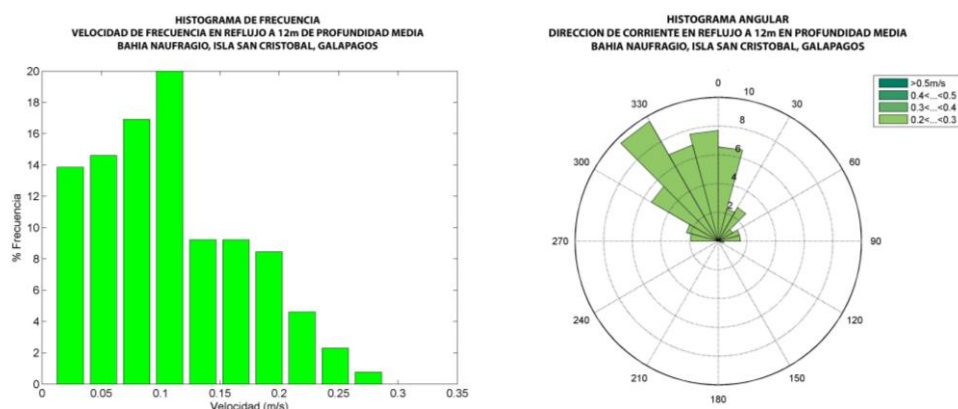


**Figura 3.26** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel SUPERFICIAL en la E7, Bahía Naufragio (Elaborado por el autor, 2012).

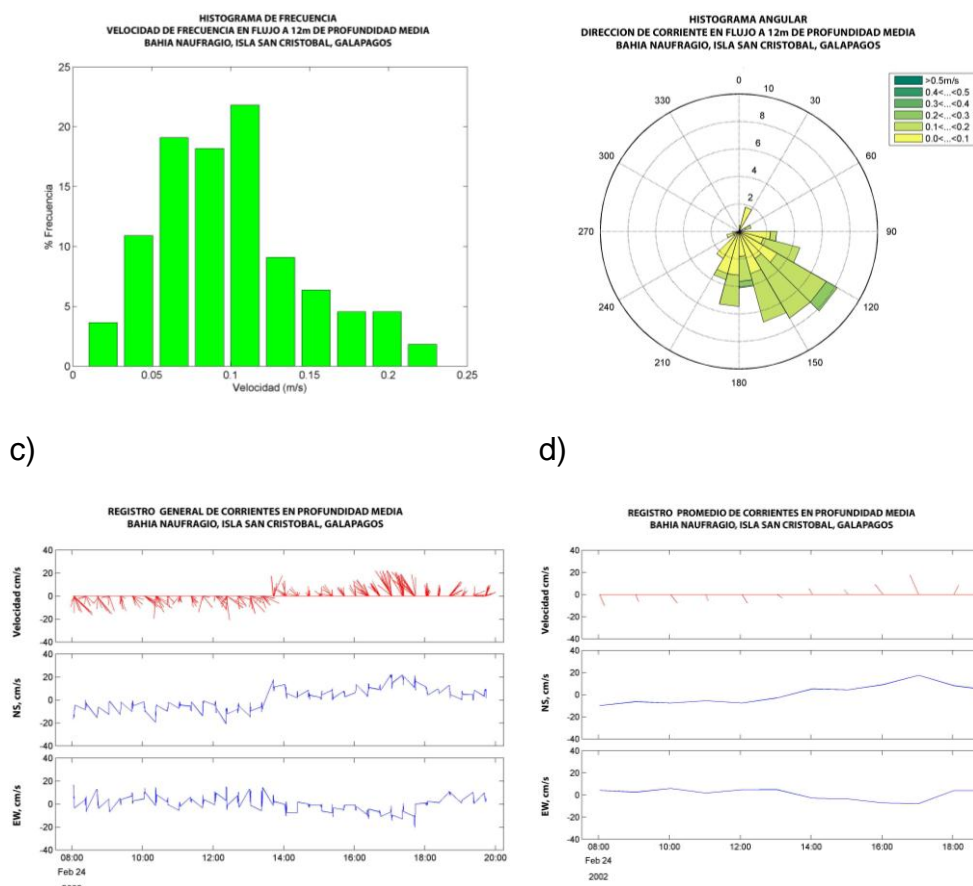
El análisis realizado al set de datos correspondiente al nivel medio, indica que la velocidad máxima durante el reflujo se presentó en 0.19 m/s con dirección NW, y en el flujo con 0.11 m/s y dirección SE. Los histogramas de frecuencia de velocidad y dirección presentados a continuación muestran que durante la fase de reflujo las magnitudes con mayor índice de porcentaje se encuentran en el rango de 0.10 m/s – 0.12 m/s (20%), las direcciones se situaron en el primer y segundo cuadrante, siendo en

este último donde se presentaron las mayores incidencias, NW (9%). Para el estado de flujo las velocidades con mayor porcentaje de incidencia se presentaron en el rango de 0.10 m/s – 0.12 m/s (20%), las direcciones oscilaron entre el tercer y cuarto cuadrante, siendo en este último donde se ubicaron la mayoría, NW (8%). Los gráficos vectoriales para este set de datos, confirma que el sistema de corrientes medias tienen relación directa con la marea, mostrando patrones bien diferenciados en las direcciones de las corrientes, lo cual es verificado con los componentes U y V, siendo esta última componente la que determina el traslado del vector hacia el norte o sur y viceversa dependiendo del tiempo. A continuación se muestran las figuras de histogramas y vectoriales.

a)



b)

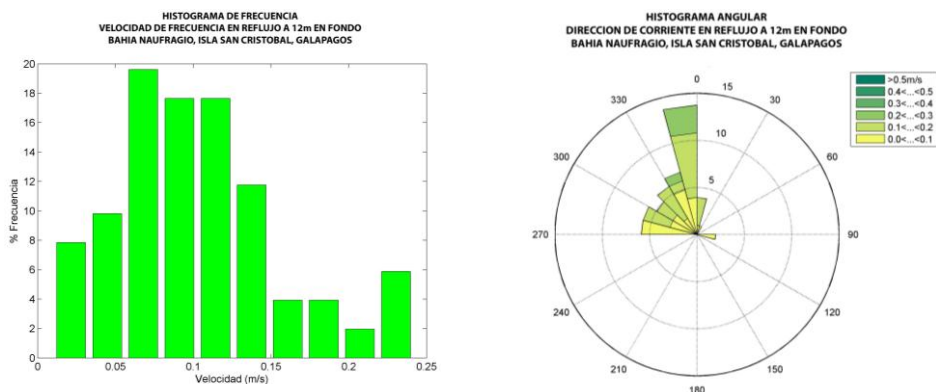


**Figura 3.27** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel MEDIO en la E7, Bahía Naufragio (Elaborado por el autor, 2012).

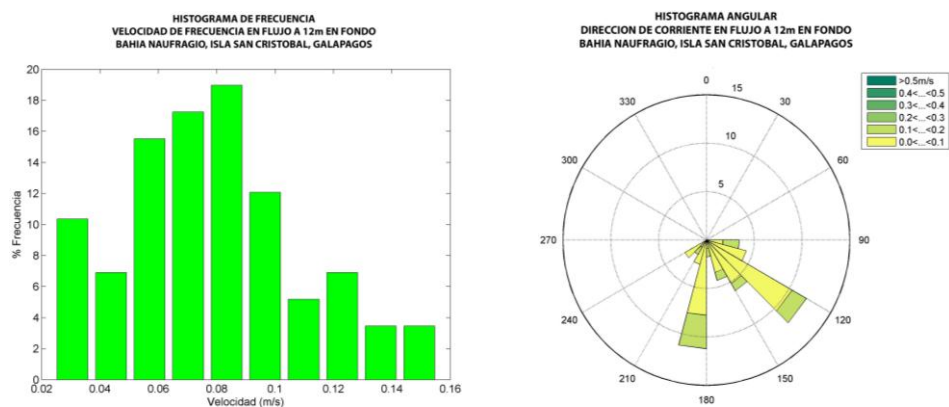
A nivel de fondo, las velocidades máximas que se registraron durante el reflujo fue de 0.18 m/s con dirección NW, mientras en el flujo registró 0.08 m/s y dirección SE. Los histogramas de frecuencia de velocidad muestran que las magnitudes con mayor porcentaje de incidencia se encuentra en el rango de 0.06 m/s – 0.07 m/s (19%), las direcciones se agrupan en su mayoría en el segundo cuadrante, NW (13.5%), y durante la fase de flujo, las magnitudes con mayor porcentaje de incidencia se

encuentra entre 0.08 m/s – 0.09 m/s (19%), las direcciones oscilan entre el SW (11%) y SE (13.5%). Los gráficos o diagramas vectoriales muestran claramente la relación que guarda la corriente con la marea, siendo verificado con el comportamiento de sus componentes, donde la componente V tiende a trasladarse de norte a sur o viceversa dependiendo del ciclo horario (figura 3.28).

a)

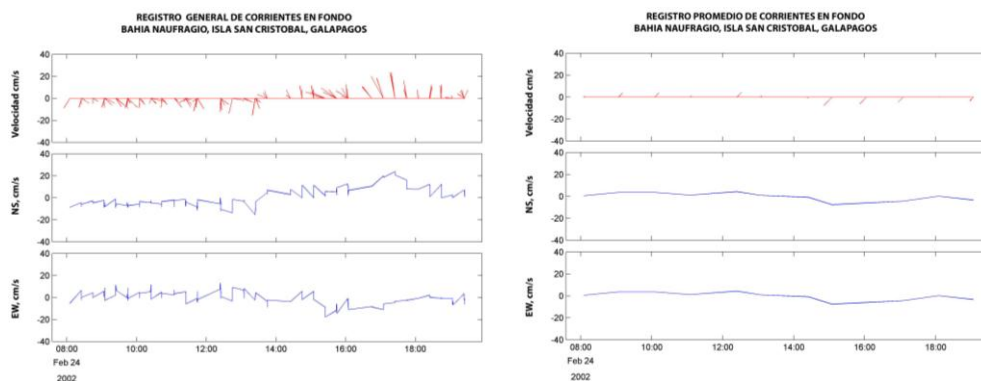


b)



c)

d)



**Figura 3.28** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Vectorial general (c) y vectorial promedio (d) a nivel de FONDO en la E7, Bahía Naufragio (Elaborado por el autor, 2012).

**Tabla 3.3** Resultados obtenidos durante el año del 2002, Bahía Naufragio

Fecha	Profundidad	Velocidad Prom. (m/s)	Dirección (grados*)	Velocidad Max. (m/s)	Dirección (grados*)	Estado de marea
22/02/2002	Superficie	0.09	166	0.14	165	Flujo
Estación 5	Superficie	0.15	15	0.24	39	Reflujo
	Medio	0.05	133	0.14	34	Flujo
	Medio	0.09	4	0.16	27	Reflujo
	Fondo	0.02	154	0.06	25	Flujo
	Fondo	0.06	358	0.11	30	Reflujo
23/02/2002	Superficie	0.07	171	0.10	166	Flujo
Estación 6	Superficie	0.08	30	0.11	9	Reflujo
	Medio	0.05	21	0.07	36	Flujo
	Medio	0.06	172	0.10	158	Reflujo
	Fondo	0.03	6	0.05	25	Flujo
	Fondo	0.04	194	0.06	132	Reflujo
24/02/2002	Superficie	0.13	145	0.22	148	Flujo
Estación 7	Superficie	0.12	346	0.24	341	Reflujo
	Medio	0.07	145	0.11	157	Flujo
	Medio	0.08	342	0.19	336	Reflujo
	Fondo	0.05	160	0.08	149	Flujo
	Fondo	0.08	338	0.18	346	Reflujo

\*Grados en relación a brújula

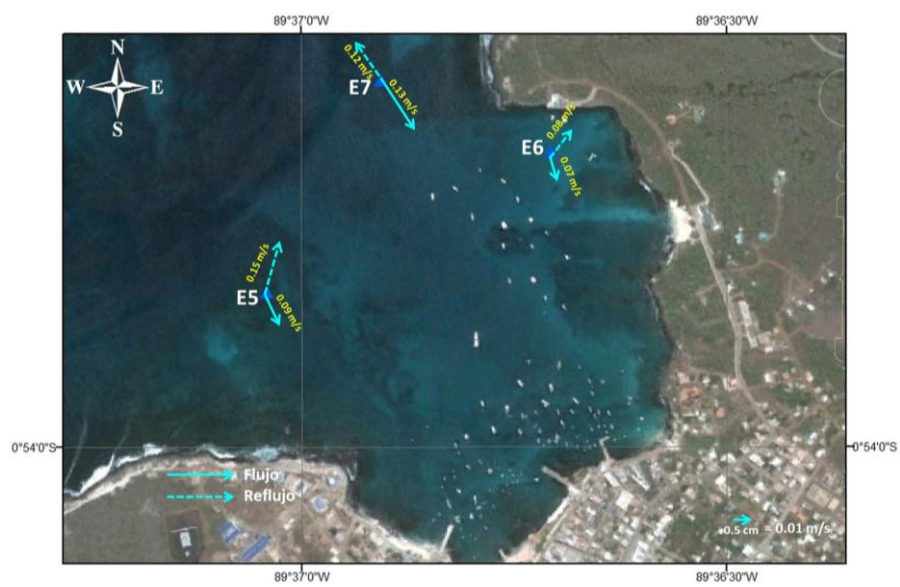
De los resultados presentados se puede apreciar que durante los tres días de medición el reflujo fue mayor que el flujo, así mismo se observa



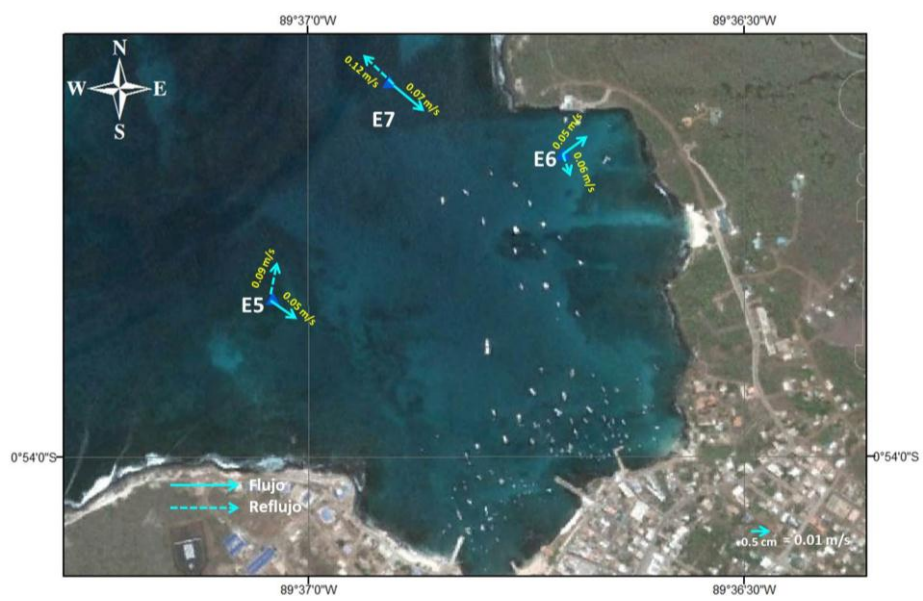
que en la estación 7 se registraron las mayores velocidades, con 0.24 m/s, 0.19 m/s y 0.18 m/s para la superficie, media y fondo respectivamente, estos valores pueden haberse dado por la ubicación de la estación, puesto que esta es la estación más lejana, como se puede apreciar en la figura (2.10). A diferencia con la segunda estación donde se registraron las menores velocidades, lo cual puede ser explicado por su ubicación, la segunda estación es una de las más protegidas de la bahía, mientras la primera está ubicada a la entrada de la bahía, estando más influenciada por la contracorriente ecuatorial.

Los vectores resultantes para las estaciones del 2002 muestran que a nivel superficial se registraron las mayores magnitudes en comparación con el nivel medio y de fondo. Así mismo, la dirección de la corriente en toda la columna de agua se encuentra influenciada directamente de la fase mareal, teniendo que a nivel superficial durante el refluo la dirección es hacia el NW y NE para las tres estaciones, y durante el flujo la dirección predominante es hacia el SE.

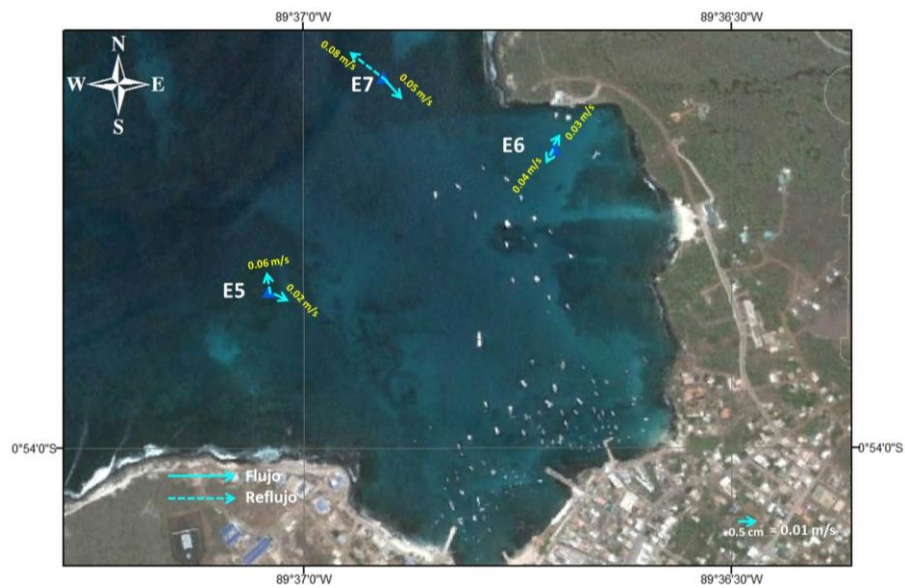
a)



b)



c)



**Figura 3.29** Vectores resultantes de la corriente Superficial (a), Media (b) y de fondo (c), año 2002, Bahía Naufragio (Elaborado por el autor, 2012).

### 3.2.3 Resultados de la campaña 1991.

Durante la campaña del **año 1991** se realizó únicamente mediciones de corriente de fondo en una estación fija, durante cuatro meses, abarcando las dos épocas del año, considerando a los meses de marzo y abril como época cálida y de mayo a junio como época seca (Lucero M. y Mendiola M., 2007). La figura 3.30 muestra la ubicación geográfica de la estación 7.



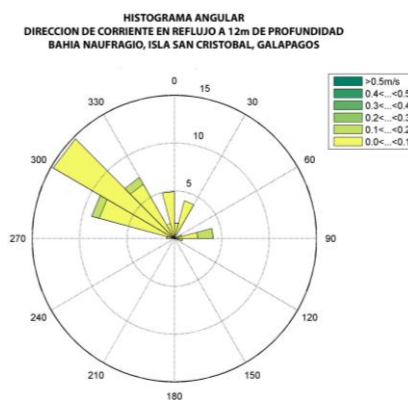
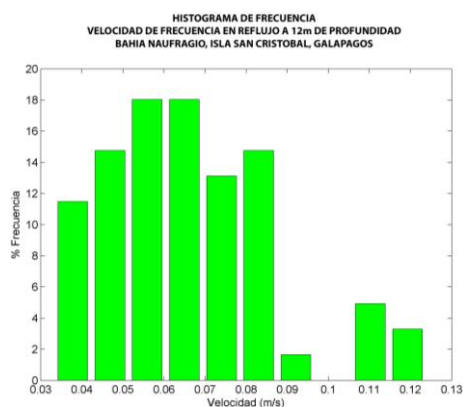
**Figura 3.30** Ubicación geográfica de la estación 1991 dentro de Bahía Naufragio, Isla San Cristóbal, Galápagos (Elaborado por el autor, 2012).

Los resultados del año 1991 se los presenta mensualmente para mantener la misma metodología de análisis que los años anteriores, al termino de la presentación de los meses correspondientes a la época se realizará el respectivo análisis.

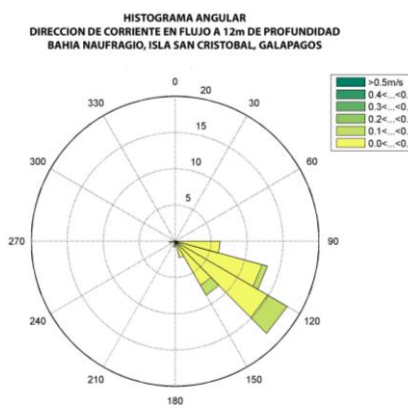
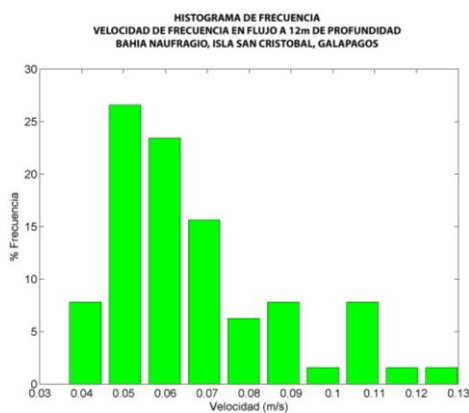
La data recogida por el S4 durante el mes de marzo, indica que la corriente máxima de fondo registrada por el equipo durante el reflujó fue de 0.05 m/s con dirección NW, y en el flujo 0.08 con dirección SE. Los histogramas de frecuencia muestran que las mayores incidencias se ubican en el rango de 0.05 m/s – 0.06 m/s (18%) y 0.06 – 0.07 (18%), las direcciones estuvieron asociadas al primer y segundo cuadrante, siendo en este último donde se agruparon con mayor frecuencia, NW (14.9%).

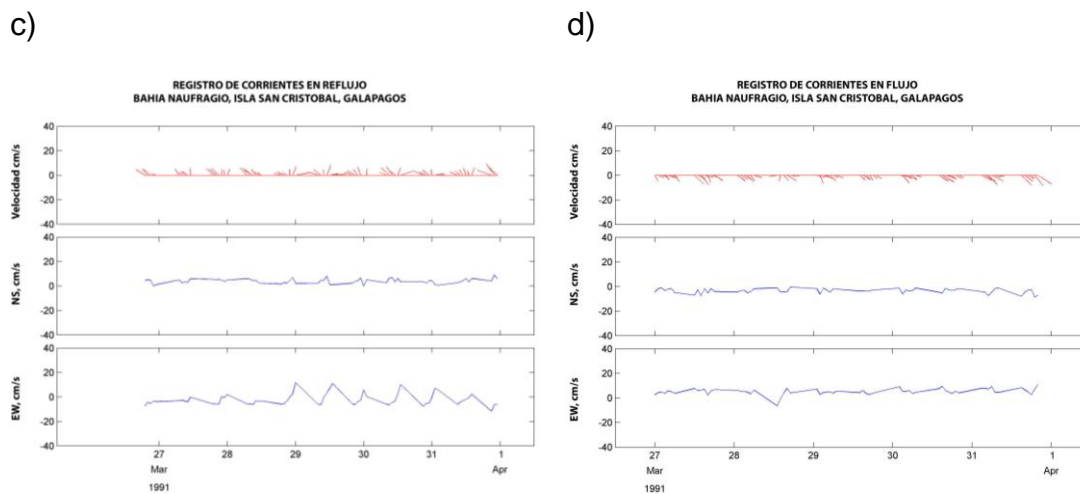
Durante el flujo, se tiene que la velocidad con mayor porcentaje de frecuencia fue de 0.05 m/s (27%), la dirección se ubicó únicamente en el cuarto cuadrante, SE (18%), complementando esta información se incluyó diagramas vectoriales tanto para el refluo como para el flujo, donde se observa claramente que la corriente de fondo se encuentra relacionada con la marea, siendo también verificado con el comportamiento de las componentes U (E-W) y V (N-S) (figura 3.31).

a)



b)



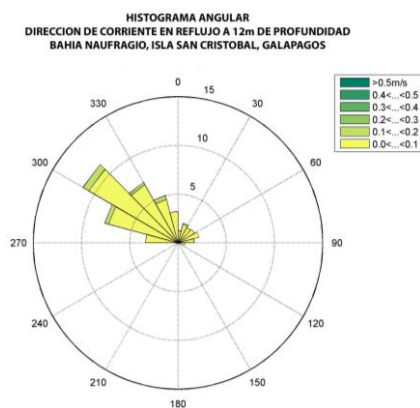
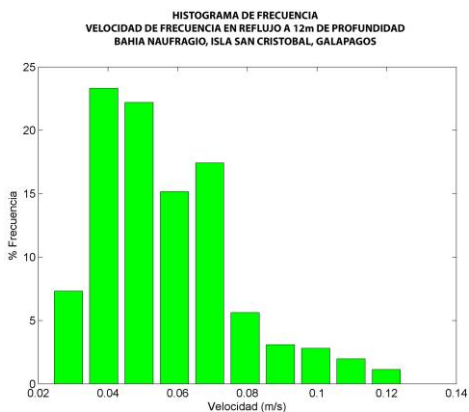


**Figura 3.31** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Diagrama Vectorial Reflujo (c) y Diagrama Vectorial Flujo (d) a nivel de FONDO en la E8. Mes de Marzo, Bahía Naufragio (Elaborado por el autor, 2012).

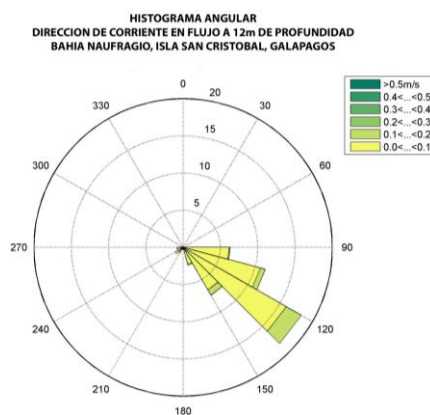
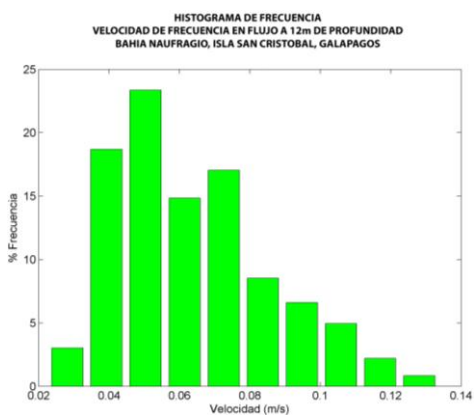
Durante las mediciones realizadas en el mes de abril, la magnitud o intensidad máxima de corriente de fondo que registró el S4 en la fase de reflujo fue de 0.04 m/s con dirección NW, mientras en el flujo 0.07 m/s y dirección SE. Los histogramas desarrollados para este mes muestran que durante reflujo la magnitud con mayor porcentaje de frecuencia fue 0.04 m/s (23.5%), la dirección ocupó el primer y segundo cuadrante, siendo en este último donde se presentaron los mayores porcentajes, NW (11%). Para el flujo la máxima frecuencia de incidencia se ubicó en 0.05 m/s (23.5%), la dirección se centró únicamente en el cuarto cuadrante, SE (18%), observándose una tendencia en la dirección de la corriente relacionada con las fases de manera, lo mismo que es verificado con los diagramas vectoriales, donde el comportamiento de las componentes U y

V determinan una relación estrecha con la variabilidad horaria, como se muestra en las siguientes figuras.

a)

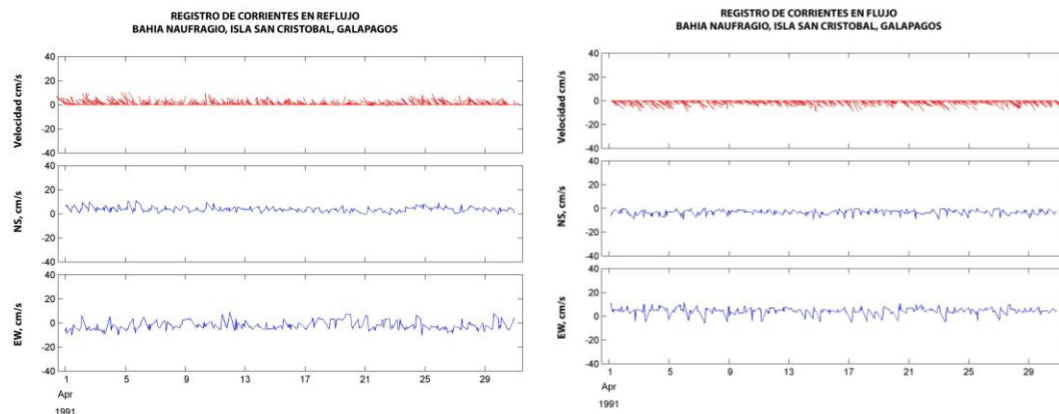


b)



c)

d)

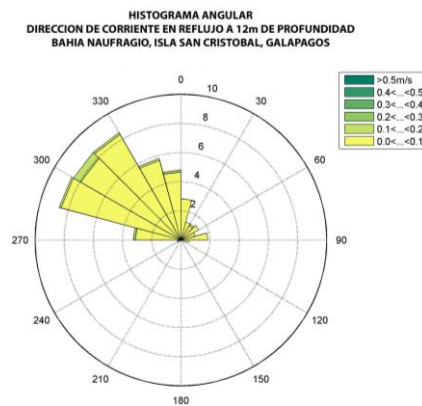
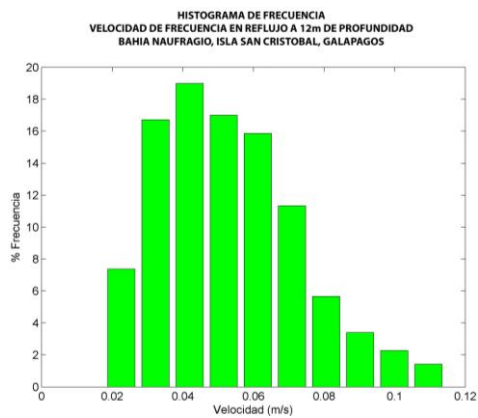


**Figura 3.32** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Diagrama Vectorial Reflujo (c) y Diagrama Vectorial Flujo (d) a nivel de FONDO en la E8. Mes de Abril, Bahía Naufragio (Elaborado por el autor, 2012).

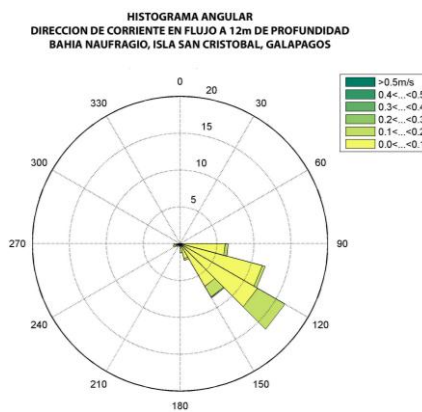
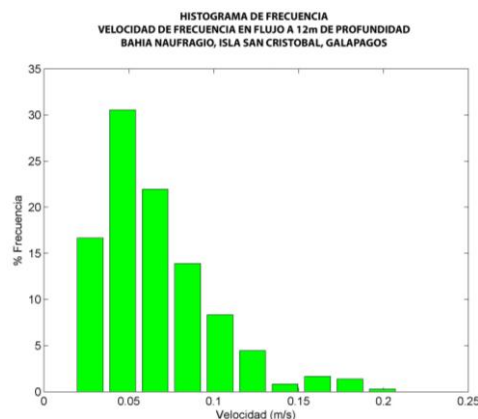
En el mes de mayo, la máxima intensidad de corriente de fondo que el equipo registró durante el mes de mediciones durante la fase de reflujo fue de 0.06 m/s con dirección NW, mientras en el flujo la máxima velocidad de 0.12 m/s y dirección SE. Los histogramas de frecuencia de la velocidad de corriente de fondo muestran que durante el reflujo la mayor frecuencia se presenta en el valor de 0.04 m/s (19%), y en el flujo 0.05 m/s (31%). La distribución de la dirección de la corriente para el reflujo es diferente a la de flujo, las frecuencias se concentran en el componente NW (8.2%) y SE (16%) respectivamente. Los gráficos vectoriales demuestran la distribución de las direcciones de la corriente, donde se puede observar claramente que la dirección de la corriente está relacionada con la fase de marea, lo mismo que se puede verificar con el comportamiento de las componentes U y V (figura 3.33).



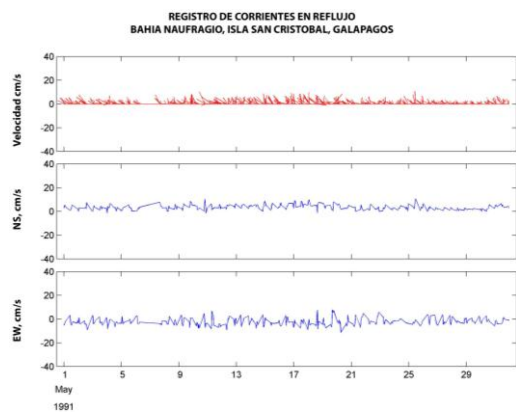
a)



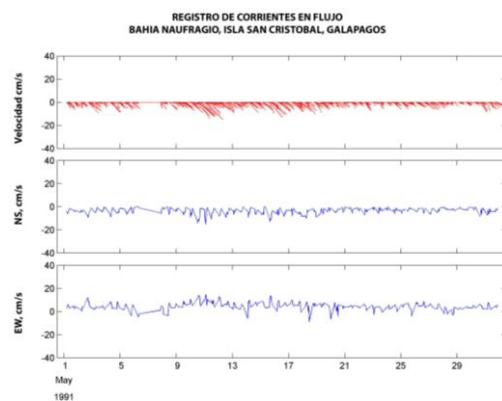
b)



c)



d)

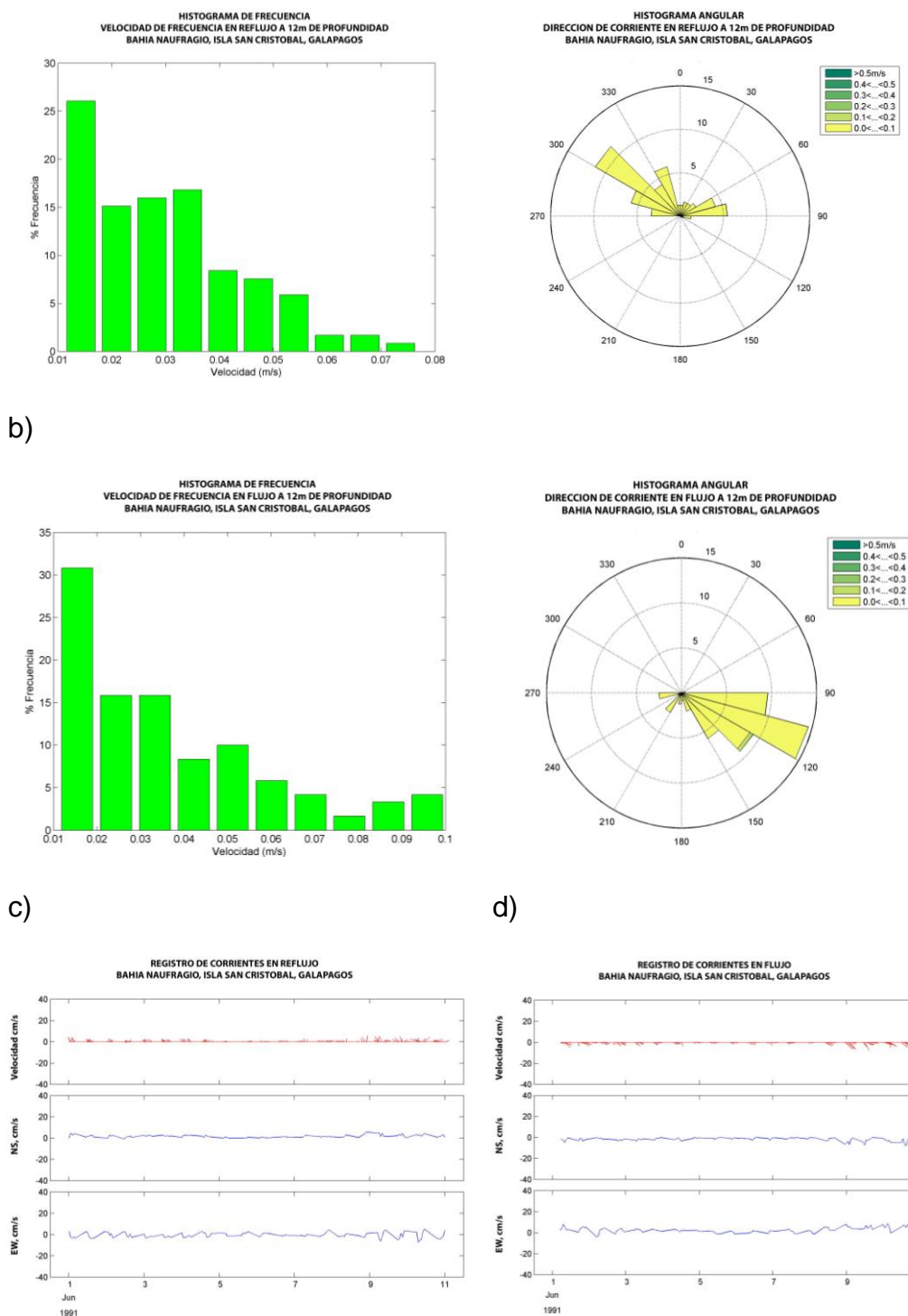


**Figura 3.33** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Diagrama Vectorial Reflujo (c) y

Diagrama Vectorial Flujo (d) a nivel de FONDO en la E8. Mes de Mayo, Bahía Naufragio (Elaborado por el autor, 2012).

De las mediciones realizadas en el mes de junio, la máxima velocidad durante el reflujó fue de 0.04 m/s con dirección NE, mientras en el flujo la máxima velocidad es de 0.07 m/s y dirección SE. Las velocidades que tuvieron mayor incidencia en la estación 8 durante la fase de reflujó y flujo, estuvieron dentro de los rangos 0.01 – 0.017 (26%) y 0.01 – 0.019 (31%) respectivamente. La distribución de la dirección de la corriente en reflujó es diferente a la presentada en flujo, teniendo que esta oscila entre el NE (6%) y NW (12%) en el reflujó, y SE (29%) en flujo. Los diagramas vectoriales muestran claramente la relación que guarda la dirección de la corriente con la fase de marea, lo mismo que es corroborado con el comportamiento de las componentes U y V, donde la componente V tiende a desplazarse de norte a sur o viceversa dependiendo de la variabilidad horaria (figura 3.34).

a)



**Figura 3.34** Histograma de Frecuencia e Histograma Angular durante el estado de Reflujo (a) y Flujo (b). Diagrama Vectorial Reflujo (c) y Diagrama Vectorial Flujo (d) a nivel de FONDO en la E8. Mes de Junio, Bahía Naufragio (Elaborado por el autor, 2012).

Los resultados presentados de marzo a abril corresponderían a la época cálida de acuerdo Lucero M. y Mendiola M., 2007, donde se observa que la corriente en velocidad promedio oscila entre 0.02 m/s y 0.04 m/s, mientras sus direcciones se orientan a distribuirse en el primer, segundo y cuarto cuadrante dependiendo del estado de marea. Y los correspondientes a los meses de mayo y junio estarían dentro de la época seca, con velocidades promedios de 0.03 m/s y 0.06 m/s, y direcciones que oscilan entre el segundo y cuarto cuadrante. Comparando los resultados entre las dos épocas del año se demuestra una distribución bastante homogénea en lo que se refiere a la dirección; las velocidades también presentan intensidades similares para ambas épocas.

**Tabla 3.4** Resultados obtenidos durante el año de 1991, Bahía Naufragio

Año	Mes	Velocidad Prom. (m/s)	Dirección (grados*)	Velocidad Max.(m/s)	Dirección (grados*)	Estado de marea
1991	Marzo	0.04	97	0.08	121	Flujo
	Marzo	0.03	311	0.05	296	Reflujo
1991	Abril	0.04	115	0.07	130	Flujo
	Abril	0.02	311	0.04	310	Reflujo
1991	Mayo	0.04	121	0.12	128	Flujo
	Mayo	0.03	319	0.06	334	Reflujo
1991	Junio	0.03	117	0.07	121	Flujo
	Junio	0.06	342	0.04	78	Reflujo

\*Grados en relación a brújula

De acuerdo a trabajos previos realizados por Lucero (2000) alrededor de todo el archipiélago, se tiene un conocimiento general del

comportamiento de las corrientes. Encontrando resultados similares en dirección, teniendo en cuenta que los resultados presentados por Lucero corresponden a datos de cruceo oceanográfico con mediciones hasta 100 metros de profundidad. Mientras el análisis realizado corresponde al interior de la Bahía, teniendo en cuenta que la batimetría presente en el área es bastante regular, con profundidades que varían suavemente entre los 5 y 10 metros (Espín, et. al., 1992), encontrándose hacia el exterior profundidades de hasta 16 metros. Además de la presencia de una barrera natural, conocida como arrecife Schianovi, ubicado frente a la Bahía, generando una zona de rompientes, y constituyendo un factor importante en la propagación y arribo de ondas marinas hacia la costa.

a)



b)



c)



d)



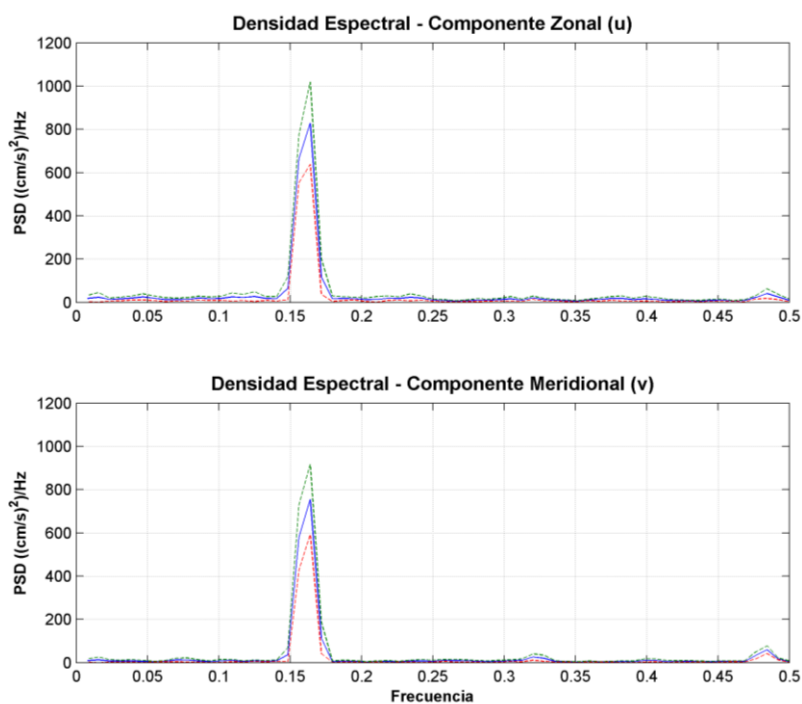
**Figura 3.35** Vectores resultantes de la corriente de fondo, marzo (a), abril (b), mayo (c) y junio (d), año 1991, Bahía Naufragio (Elaborado por el autor, 2012).

### 3.3 Análisis Espectral de la data de 1991.

Se realizó un análisis espectral (conocido también como análisis de Fourier, Oppenheim y Schafer, 1975) de las series de tiempo de magnitud de velocidad de la corriente, por componente zonal ( $u$ ) y meridional ( $v$ ), de tal manera que se obtiene la amplitud de las frecuencias predominantes en el tiempo. La frecuencia predominante mostrada por el análisis de Fourier en las componentes  $u$  y  $v$  corresponderá a aquella que tenga mayor dominancia dentro de la bahía.

El análisis espectral sobre las series de tiempo indicadas refleja una energía que oscila para la componente  $u$  entre los 0 y  $826 \text{ mm}^2/\text{s}^2$  y

componente v entre los 0 y 753 mm<sup>2</sup>/seg<sup>2</sup> (Figura 3.36). En ambos casos es evidente que el ciclo de mareas es reflejado en los picos cuyas frecuencias equivalen a 0.16 cph (ciclos por hora). Al invertir estas frecuencias, se puede reflejar un período de 6.30 horas que es explicado por la acción de las mareas, lo que tiene mucho sentido al relacionarlo con la orientación de la costa de la Bahía (N-S, E-W), lo que haría que la onda de marea se mueva entre los ejes x e y (es decir, de Sureste a Noroeste). Ninguna componente domina a la otra en cuanto al movimiento de las corrientes influenciadas por la marea.



**Figura 3.36** Espectro de la magnitud de la corriente (línea azul) para los meses de abril y mayo. La frecuencia predominante es de 0.16 cph (ciclos por hora), que corresponde un periodo de 6.30 horas, (Elaborado por el autor, 2012).



# CAPITULO 4

## 4. CONCLUSIONES

### 4.1 Conclusiones

Con los resultados obtenidos en el presente estudio se realizó una descripción del régimen de corrientes superficiales, medias y de fondo en la Bahía Naufragio, presentando un modelo de circulación para los dos estados de marea (flujo y reflujo). Teniendo que las mismas están sujetas a variaciones, probablemente debido a la acción conjugada de los vientos, al ciclo mareal y a la batimetría, identificada por los dos métodos de medición de corriente.

A continuación se detallan las conclusiones a las que se han llegado después del análisis de información contenida en gráficos y tablas resúmenes.

- a) En base a las trayectorias de los flotadores (veletas), se puede apreciar que no tienen influencia directa de la marea, determinando una dirección predominante hacia el NW en ambos estados de marea.
- b) La velocidad y dirección de las veletas están altamente influenciadas por el efecto del viento SE.
- c) La veleta superficial se mueve más rápidamente que las subsuperficiales. En consecuencia se concluye que las aguas superficiales se mueven más rápidamente que las profundas (esto es compatible con las observaciones eulerianas). Probablemente debido a que el efecto del viento disminuye con profundidad.
- d) Las corrientes superficiales y subsuperficiales estarían relacionadas con la influencia del viento y la batimetría, teniendo que el viento sopla del SE y que la batimetría aportaría el desplazamiento debido a sus variaciones.
- e) Del estudio de corrientes por el método Euleriano, se aprecia que las velocidades a nivel superficial, medio y de fondo están influenciadas por la marea, teniendo un claro cambio de dirección en las dos fases de marea, en el punto de medición, dado que las corrientes lagrangianas muestran influencia directa del viento. Sin embargo, serían necesarias mediciones de largo periodo tanto de las corrientes

como del viento para determinar la contribución de las corrientes de marea y cuantificar la influencia del viento. Estas mediciones podrían ser de un periodo más largo, con el fin de tener una visión general de la influencia de años normales y años Niño.

- f) De las ocho estaciones ubicadas dentro de la Bahía, se observa que las mayores corrientes se las registraron durante reflujo, es decir la vaciante supera al ingreso de agua.
- g) Se observa un claro patrón de dirección de la corriente, teniendo que durante el reflujo esta tiende a dirigirse hacia el NW con oscilaciones hacia el NE, mientras que durante el flujo esta tiende a dirigirse hacia el SW con fluctuaciones hacia él SE.
- h) Los resultados obtenidos permiten deducir un constante equilibrio de circulación dentro de la bahía, pues si superficialmente ingresa agua a la bahía, en las capas inferiores sale o viceversa el agua ingresa por las capas inferiores y sale superficialmente, visualizado en los gráficos vectoriales resultantes de cada estación.
- i) Del análisis espectral, se tiene que el factor marea sería el responsable de las variaciones presente en Bahía Naufragio, ya que no se llega a observar la influencia del viento, lo mismo que se debería a la longitud de las mediciones con que se contó.

- j) De acuerdo a este complejo patrón de circulación obtenido, podríamos indicar que en el área de estudio se presenta un modelo conceptual de circulación que co-existe con los factores del ciclo mareal e intensidad del viento.

# CAPITULO 5

## 5. RECOMENDACIONES

### 5.1 Recomendaciones

- a) Es importante seguir monitoreando las condiciones oceanográficas físicas, y dentro de ellas, el sistema circulatorio de la zona, por cuanto estos datos pudieran ser requeridos para modelar derrames potenciales de combustibles como fue el caso del buque Jessica (2001). Estos monitoreos estarían sujetos a la estacionalidad del sitio, con mediciones de corto o largo periodo, procurando que cuando éstas se repitan, se las realice en la misma época del año y en el mismo sitio, y de esta manera realizar un mejor análisis.
  
- b) Se debe incrementar el conocimiento científico de los sistemas ambientales de Galápagos, así como la realización de tesis de investigación, especialmente encaminándolos a la caracterización de los procesos hidrodinámicos, hidrogeomorfológicos y geoquímicos esenciales que determinan la integridad ecológica de los ecosistemas

acuáticos (insulares y marinos) y terrestres del archipiélago de Galápagos.

- c) Es necesario efectuar un estudio detallado de la climatología del área, en especial del parámetro meteorológico de viento, por cuanto en el estudio se presentaron inconvenientes con la data de vientos proporcionada por INAMHI, inconveniente originado por la falta de mantenimiento de la estación meteorológica presente en San Cristóbal. Según información del INAMHI los años en que no se tiene registros de velocidad y dirección de vientos corresponden a: 2002, 2003, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, y 2010. Actualmente la estación meteorológica se encuentra funcionando.
- d) Se debe establecer un marco metodológico de toma de datos de corrientes, incluyendo el tiempo de medición y frecuencia de muestreos de acuerdo a las características del sitio y magnitudes referenciales de velocidades de corrientes en el sitio.
- e) Es necesario establecer facilidades, para que, en el marco de los proyectos científicos y tecnológicos que se lleven a cabo en las áreas protegidas insulares y marinas y en las áreas urbanas y rurales, puedan realizarse actividades de voluntariado científico y tecnológico, así como trabajos de tesis de grado y post-grado. Sobre esto, el

Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) se encuentra ya trabajando para el establecimiento de un laboratorio oceanográfico dentro de la iniciativa “Centro de Investigación Marina Galápagos (CIMAG)”. Instituciones como la ESPOL, con una gran tradición en investigación oceanográfica, debería de aliarse con el INOCAR para la conjugación de intereses en ciencias marinas en las islas Galápagos.

# **ANEXO A**

**Ventanas del software S4 para la programación de adquisición de datos**



```
c:\ Simbolo del sistema - cmapp

Installed Serial Ports are:
COM 1:  UART Type- 8250A/16540
COM 2:  UART Type- 8250A/16540
COM 3:  UART Type- 8250/8250B
COM 4:  UART Type- 8250/8250B

Do Not Use Baud-Rates greater than 19,200 if UART type 16550A not installed!

Free Memory: 384720
--- Hit any key to continue ---
```

```
c:\ Simbolo del sistema - cmapp

INTEROCEAN SYSTEMS, INC.
Model S4 Current Meter
Application Software
Version 2.72

[F1] - Help -
[F2] Terminal Mode
[F3] Retrieve data from S4
[F4] Output retrieved data
[F5] Realtime output
[F6] Data drive = Default
[F7] Setup S4
[F8] Calibration
[F9] AutoStart Setup
[F10] AutoStart RealTime Logging
<ESC> Return to DOS

Printer Port: Lpt1 Type: Epson Comm Port: COM1 Baud: 4800
```

```
Simbolo del sistema - cmapp
Set up Filename: S4CMDFLT

[F1] Header :          cris2
[F2] Period :          ON: 0 days 0 hrs 5 min
True Averaging: Enabled CYCLE: 0 days 0 hrs 30 min
[F3] Average count :   40
[F4] Channels at average : 6
[F5] SRB count :       30
[F6] Channels at SRB : 6
[F7] Write mode :      Internal
[F8] Log mode :         North & East
[F9] Start time :      09/12/07 07:00
[F10] Initialize Memory: NO

[R]etrieve Setup from disk      [S]ave Setup      [H]ardcopy of Setup
[F]ind S4(A)                    [D]ual-Mode Toggle  Normal Mode
[E]stimate Memory & Battery Life [Q]uit logging     [Esc] to Main Menu

<ENTER> Start logging according to setup above

Printer Port: Lpt1 Type: Epson      Comm Port: COM1 Baud: 4800
```

# **ANEXO B**

**Códigos MATLAB para la generación de figuras del Capítulo 3 (Análisis  
de los resultados**

**Función principal**

```

[datos_sup2_hor,datos_med2_hor,datos_fon2_hor]=auto_scy(datos)
% function
[datos_sup2_hor,datos_med2_hor,datos_fon2_hor]=auto_scy(datos)
%
% Variables de Entrada:
%
%     datos = matriz de datos de entrada
%           1era. col = dia
%           2da.  col = mes
%           3era. col = anno
%           4ta.  col = hora continental
%           5ta.  col = hora galapagos
%           6ta.  col = profundidad
%           7ma.  col = velocidad
%           8va.  col = direccion
%           9na.  col = 1, flujo; 2, reflujo

format bank, datos(:,6)=datos(:,6)*-1;

% coordenadas polares a cartesianas
[u_scy,v_scy]=poly2cart(datos(:,8),datos(:,7));

% convertir a dias julianosq1
for i_julian=1:length(datos(:,1)),

julian_scy(i_julian,:)=julian(datos(i_julian,3),datos(i_julian,2),da
tos(i_julian,1),datos(i_julian,4)); % pause,
end

% TIME = 4ta.  col = hora continental
defTime_scy=floor(datos(:,4)); i_time2=1;
for i_time=1:length(datos(:,1))-1,
    if defTime_scy(i_time)~=defTime_scy(i_time+1)
        hours_scy(i_time2,:)=defTime_scy(i_time);
        i_time2=i_time2+1;
    end
end

hours_scy=[hours_scy;defTime_scy(length(defTime_scy))]; % pause,

% para la def. de niveles, MAX San Cristobal = 10m
fprf_scy=10/3; minmax_scy=[0,10];

% ---- CASE 1, rangos superficial / medio / fondo

% rango superficial,
ii_sup=find(datos(:,6)<=minmax_scy(1,1)+fprf_scy &
datos(:,6)>=minmax_scy(1,1));
%                               fecha en juliano,   input,
u_corrientes,   v_corrientes

```

```

datos_sup=datos(ii_sup,1:8);
datos_sup2=[julian_scy(ii_sup,:),datos_sup,u_scy(ii_sup,:),v_scy(ii_
sup,:)]; % disp('sup'), pause,

% rango medio,
ii_med=find(datos(:,6)>=minmax_scy(1,1)+fprf_scy &
datos(:,6)<=minmax_scy(1,2)-fprf_scy);
datos_med=datos(ii_med,1:8);
datos_med2=[julian_scy(ii_med,:),datos_med,u_scy(ii_med,:),v_scy(ii_
med,:)]; % disp('med'), pause,

% rango fondo,
ii_fon=find(datos(:,6)<=minmax_scy(1,2) &
datos(:,6)>=minmax_scy(1,2)-fprf_scy);
datos_fon=datos(ii_fon,1:8);
datos_fon2=[julian_scy(ii_fon,:),datos_fon,u_scy(ii_fon,:),v_scy(ii_
fon,:)]; % disp('fon'), pause,

% ---- CASE 2, discriminando inclusive entre flujo/reflujo

% rango superficial,
ii_sup_F=find(datos(:,6)<=minmax_scy(1,1)+fprf_scy &
datos(:,6)>=minmax_scy(1,1) & datos(:,9)==1);
ii_sup_R=find(datos(:,6)<=minmax_scy(1,1)+fprf_scy &
datos(:,6)>=minmax_scy(1,1) & datos(:,9)==2);
%           fecha en juliano,      input,
u_corrientes,      v_corrientes
datos_sup2_F=[julian_scy(ii_sup_F,:),datos(ii_sup_F,1:8),u_scy(ii_su
p_F,:),v_scy(ii_sup_F,:)],
datos_sup2_R=[julian_scy(ii_sup_R,:),datos(ii_sup_R,1:8),u_scy(ii_su
p_R,:),v_scy(ii_sup_R,:)], % pause,

% rango medio,
ii_med_F=find(datos(:,6)>=minmax_scy(1,1)+fprf_scy &
datos(:,6)<=minmax_scy(1,2)-fprf_scy & datos(:,9)==1);
ii_med_R=find(datos(:,6)>=minmax_scy(1,1)+fprf_scy &
datos(:,6)<=minmax_scy(1,2)-fprf_scy & datos(:,9)==2);
datos_med2_F=[julian_scy(ii_med_F,:),datos(ii_med_F,1:8),u_scy(ii_me
d_F,:),v_scy(ii_med_F,:)],
datos_med2_R=[julian_scy(ii_med_R,:),datos(ii_med_R,1:8),u_scy(ii_me
d_R,:),v_scy(ii_med_R,:)], % pause,

% rango fondo,
ii_fon_F=find(datos(:,6)<=minmax_scy(1,2) &
datos(:,6)>=minmax_scy(1,2)-fprf_scy & datos(:,9)==1);
ii_fon_R=find(datos(:,6)<=minmax_scy(1,2) &
datos(:,6)>=minmax_scy(1,2)-fprf_scy & datos(:,9)==2);
datos_fon2_F=[julian_scy(ii_fon_F,:),datos(ii_fon_F,1:8),u_scy(ii_fo
n_F,:),v_scy(ii_fon_F,:)],
datos_fon2_R=[julian_scy(ii_fon_R,:),datos(ii_fon_R,1:8),u_scy(ii_fo
n_R,:),v_scy(ii_fon_R,:)], % pause,

```

```

time_master1=hours_scy;
time_master2=[hours_scy(2:length(hours_scy),1);hours_scy(length(hours_scy)+1)];
[time_master1,time_master2], pause,

% % start* - SOLO SUPERFICIAL, FALTA MEDIO Y FONDO !!!
%
% datos_sup2_hor=[data_sup2_hor,corr_sup2_hor], pause,
  datos_sup2_hor=corr_hourly(time_master1,time_master2,datos_sup2);
pause,
%
% % Hora de Plotear - SUPERFICIAL
% %
% % [h] = timeplt(jd,u,[istack],[ylims]);
% % where:
% % jd = Julian Day time vector (e.g produced by JULIAN.M)
% % u = column vector or matrix of column vectors
containing time
% % series data. If the column is complex, it will be
plotted
% % as a stick plot.
% % istack = vector of indices indicating which panel you want
% % to plot the time series data. istack=[1 2] would
make
% % two panels one on top of the other and plot the
first
% % column of u in the lower panel and the second
column of
% % u in the upper panel. If any column in u is
complex,
% % istack must be specified. If istack is not
specified, all the
% % columns will be plotted in the first panel.
% % ylimits = [npanels x 2] matrix containing the ylimits of
% % the panel plots. If you are plotting two panels
and
% % you want the limits of both plots to be from -10
to 15,
% % then set ylimits=[-10 15; -10 15]. Autoscales if
ylims
% % is not set
% %
% % outputs:
% % h = handles for stack plots (axes)
% %
figure(1), timeplt(datos_sup2(:,1)',...
  [datos_sup2(:,10) datos_sup2(:,11)
(datos_sup2(:,10)+i*datos_sup2(:,11))],...
  [1 2 3],[-40,40;-40,40;-40,40]);
print('-djpeg','-r300','scy_sfc_raw')
%
figure(2), timeplt(datos_sup2_hor(:,1)',...
  [datos_sup2_hor(:,10) datos_sup2_hor(:,11)
(datos_sup2_hor(:,10)+i*datos_sup2_hor(:,11))],...

```

```

        [1 2 3], [-40,40;-40,40;-40,40]);
    print('-djpeg', '-r300', 'scy_sfc_avg')
%
% % start* - SOLO MEDIO
%
%   datos_med2_hor=[data_med2_hor,corr_med2_hor], pause,
%   datos_med2_hor=corr_hourly(time_master1,time_master2,datos_med2);
%   pause,
%
% %Hora de Plotear - MEDIA
%
%   figure(3), timeplt(datos_med2(:,1)',...
%   [datos_med2(:,10) datos_med2(:,11)
%   (datos_med2(:,10)+i*datos_med2(:,11))],...
%   [1 2 3], [-40,40;-40,40;-40,40]);
%   print('-djpeg', '-r300', 'scy_media_raw')
%
%   figure(4), timeplt(datos_med2_hor(:,1)',...
%   [datos_med2_hor(:,10) datos_med2_hor(:,11)
%   (datos_med2_hor(:,10)+i*datos_med2_hor(:,11))],...
%   [1 2 3], [-40,40;-40,40;-40,40]);
%   print('-djpeg', '-r300', 'scy_media_avg')
%
% % start* - SOLO FONDO
%
%   datos_fon2_hor=[data_fon2_hor,corr_fon2_hor], pause,
%   datos_fon2_hor=corr_hourly(time_master1,time_master2,datos_fon2);
%   pause,
%
% %Hora de Plotear - FONDO
%
%   figure(5), timeplt(datos_fon2(:,1)',...
%   [datos_fon2(:,10) datos_fon2(:,11)
%   (datos_fon2(:,10)+i*datos_fon2(:,11))],...
%   [1 2 3], [-40,40;-40,40;-40,40]);
%   print('-djpeg', '-r300', 'scy_bottom_raw')
%
%   figure(6), timeplt(datos_fon2_hor(:,1)',...
%   [datos_fon2_hor(:,10) datos_fon2_hor(:,10)
%   (datos_fon2_hor(:,10)+i*datos_fon2_hor(:,10))],...
%   [1 2 3], [-40,40;-40,40;-40,40]);
%   print('-djpeg', '-r300', 'scy_bottom_avg')

% ---- PLOTEANDO LA ROSA DE CORRIENTES [-SUP]

datos_sup2_R, pause,

% [hh,t,radio]=ROSA_CORRIENTES(direc,veloc,nombre,prof)
figure(7),
ROSA_CORRIENTES_20070911(datos_sup2_F(:,9),datos_sup2_F(:,8)./100,'S
an Cristóbal','Superficie - Flujo')
print('-djpeg', '-r300', 'rosa_corr_F_sup')

```

```

figure(8),
ROSA_CORRIENTES_20070911(datos_sup2_R(:,9),datos_sup2_R(:,8)./100,'S
an Cristóbal','Superficie - Reflujo')
print('-djpeg','-r300','rosa_corr_R_sup')

% [h,n,x]=hist_velo(velocidad,nombre,nombre_columna_veloc,prof)
figure(9), HIST_VELO(datos_sup2_F(:,8)./100,'San Cristóbal','San
Cristóbal','Superficie - Flujo')
print('-djpeg','-r300','histo_velo_F_sup')
figure(10), HIST_VELO(datos_sup2_R(:,8)./100,'San Cristóbal','San
Cristóbal','Superficie - Flujo')
print('-djpeg','-r300','histo_velo_R_sup')

% ---- PLOTEANDO LA ROSA DE CORRIENTES [-MED]

% [hh,t,radio]=ROSA_CORRIENTES(direc,veloc,nombre,prof)
figure(11),
ROSA_CORRIENTES_20070911(datos_med2_F(:,9),datos_med2_F(:,8)./100,'S
an Cristóbal','Media - Flujo')
print('-djpeg','-r300','rosa_corr_F_med')
figure(12),
ROSA_CORRIENTES_20070911(datos_med2_R(:,9),datos_med2_R(:,8)./100,'S
an Cristóbal','Media - Reflujo')
print('-djpeg','-r300','rosa_corr_R_med')

% [h,n,x]=hist_velo(velocidad,nombre,nombre_columna_veloc,prof)
figure(13), HIST_VELO(datos_med2_F(:,8)./100,'San Cristóbal','San
Cristóbal','Media - Flujo')
print('-djpeg','-r300','histo_velo_F_med')
figure(14), HIST_VELO(datos_med2_R(:,8)./100,'San Cristóbal','San
Cristóbal','Media - Flujo')
print('-djpeg','-r300','histo_velo_R_med')

% ---- PLOTEANDO LA ROSA DE CORRIENTES [-FON]

% [hh,t,radio]=ROSA_CORRIENTES(direc,veloc,nombre,prof)
figure(15),
ROSA_CORRIENTES_20070911(datos_fon2_F(:,9),datos_fon2_F(:,8)./100,'S
an Cristóbal','Fondo - Flujo')
print('-djpeg','-r300','rosa_corr_F_fon')
figure(16),
ROSA_CORRIENTES_20070911(datos_fon2_R(:,9),datos_fon2_R(:,8)./100,'S
an Cristóbal','Fondo - Reflujo')
print('-djpeg','-r300','rosa_corr_R_fon')

% [h,n,x]=hist_velo(velocidad,nombre,nombre_columna_veloc,prof)
figure(17), HIST_VELO(datos_fon2_F(:,8)./100,'San Cristóbal','San
Cristóbal','Fondo - Flujo')
print('-djpeg','-r300','histo_velo_F_fon')
figure(18), HIST_VELO(datos_fon2_R(:,8)./100,'San Cristóbal','San
Cristóbal','Fondo - Flujo')
print('-djpeg','-r300','histo_velo_R_fon')

```



```

% ----- SUBROUTINE STARTING -----
% -----

function answ320_hor=corr_hourly(time1,time2,data_input)
% function corr_hourly(time1,time2,data_input)
%
% CORR_HOURLY Promedios Horarios

% [time1,time2,data_input], pause,

for i_hor=1:length(time1),

    % time1(i_hor),

    if i_hor==length(i_hor),
        i_hor2=find(data_input(:,5)>=time1(i_hor) &
data_input(:,5)<=time2(i_hor));
    else
        i_hor2=find(data_input(:,5)>=time1(i_hor) &
data_input(:,5)<time2(i_hor));
    end

    if ~isempty(i_hor2)

corr_hor_CAR(i_hor,:)=[nanmean(data_input(i_hor2,10)),nanmean(data_i
nput(i_hor2,11))];

[corr_hor_POL(i_hor,1),corr_hor_POL(i_hor,2)]=cart2poly(corr_hor_CAR
(i_hor,1),corr_hor_CAR(i_hor,2));

data_hor(i_hor,:)=[data_input(i_hor2(1),1),data_input(i_hor2(1),2),.
..
        data_input(i_hor2(1),3),data_input(i_hor2(1),4),...
        time1(i_hor),time1(i_hor)-1,data_input(i_hor2(1),7)];
    else
        data_hor(i_hor,:)=[julian(data_hor(i_hor-
1,4),data_hor(i_hor-1,3)),...
        data_hor(i_hor-1,2),time1(i_hor)),...
        data_hor(i_hor-1,2),data_hor(i_hor-1,3),data_hor(i_hor-
1,4),...
        time1(i_hor),time1(i_hor)-1,NaN];
        corr_hor_CAR(i_hor,:)=[NaN,NaN];
corr_hor_POL(i_hor,:)=[NaN,NaN];
    end

    i_hor2=[];

end
end

```

```
answ320_hor=[data_hor,corr_hor_POL,corr_hor_CAR];
```

-----O-----

### Función para cálculo de Histogramas

```
function
[h,n,x]=hist_velo(velocidad,nombre,nombre_columna_veloc,prof)
%velocidad debe ser vector columna
%figure
nn=ceil((nanmax(velocidad)-nanmin(velocidad))/0.02);
[n,x] = hist(velocidad);%,nn);
h=bar(x,n*100/sum(n));
set(h,'FaceColor','g');
title(sprintf(' HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS. MÓDULO DE LA VELOCIDAD \n
%s   Prof:%4.0fm',nombre,prof),'FontSize',12);
ylabel('% Frecuencia','FontSize',12);
xlabel('Velocidad (m/s)','FontSize',12);
set(gca,'FontSize',12);

pause(1)
```

-----O-----

```
function []=gregaxh(jd,hourtic);
% GREGAXH Labels the current x-axis with Gregorian labels in units
of hours,
%     GREGAXH(JD,HOURTIC) draws Gregorian time labels on the x-axis
in
%     intervals of HOURTIC hours.
monstr=['Jan';'Feb';'Mar';'Apr';'May';'Jun';'Jul';'Aug';'Sep';...
'Oct';'Nov';'Dec'];

n=length(jd);

jd0_index = find(jd == gmin(jd));
jd0=jd(jd0_index(1));

jdn_index = find(jd == gmax(jd));
n = length(jdn_index);
jdn=jd(jdn_index(n));

[start]=gregorian(jd0);
[stop]=gregorian(jdn);

start=[start(1:4) 0 0];
stop=[stop(1:3) stop(4)+1 0 0];
jd0=julian(start);
jd1=julian(stop);
jdtic=[jd0:hourtic/24:jd1]';
```

```

greg=gregorian(jdtic);
%xlim=[jd0-1/48 jd1+1/48];
%set(gca,'xlim',xlim);
%
% find hour labels
%
hour=greg(:,4);
min=greg(:,5);
hourticlab=sprintf('%2.2d:%2.2d',[hour min]');
nhour=length(hour);
hourticlab=reshape(hourticlab,5,nhour)';
set(gca,'xtick',jdtic,'xticklabels',hourticlab)
%
% find month and day labels
%
mon=greg(:,2);
day=greg(:,3);
daydiff=diff(day);
ind=[1 ; find(daydiff~=0)+1];
daytic=jdtic(ind)';
%
% find year labels
%
year=greg(:,1);
yeardiff=diff(year);
year_ind=[1 ; find(yeardiff~=0)+1];
yeartic=jdtic(year_ind)';

% determine y location of month and year labels by determining
% the font height for the day labels, separating the lines
% by linesep pixels
%
linesep=8;
ylim=get(gca,'ylim'); %y position of x axis in user units
set(gca,'units','pixels');
pos=get(gca,'pos');
ymin=pos(2); % y position of x axis in pixels
fontsize=get(gca,'fontsize'); %fontsize = height in pixels?
set(gca,'units','normalized');
ytop=ymin-(fontsize+linesep); %y location of top of month labels
in pixels
ytopm=ylim(1)-(ymin-ytop)*(ylim(2)-ylim(1))/pos(4); % " ", but in
user units
ytopy=ytopm-(fontsize+linesep)*(ylim(2)-ylim(1))/pos(4);
%
% label day and month
%
for i=1:length(mon(ind));
    monticlab(i,:)=monstr(mon(ind(i)),:);
    text(daytic(i),ytopm,...
        [monticlab(i,:) ' ' int2str(day(ind(i)))],...
        'HorizontalAlignment','center',...
        'VerticalAlignment','top','fontsize',fontsize);
end

```

```

%
% label years
%
for i=1:length(year(year_ind));
    yearticlab(i,:)=int2str(year(year_ind(i)));
    text(yeartic(i),ytopy,yearticlab(i,:),...
        'HorizontalAlignment','center',...
        'VerticalAlignment','top','fontsize',fontsize);
end

```

-----O-----

### **Función para cálculo de Histogramas circulares**

```
function [hh,t,radio]=ROSA_CORRIENTES(direc,veloc,nombre,prof)
```

```

%establezco mapa de colores
colormap(summer);
map=colormap;

```

```

%1°: ROSA TOTAL
[t,radiol]=rose(deg2rad(direc),24);% de 15° en 15°
tot_radio=sum(radiol);
h1=polargeo(t,radiol*100/tot_radio,map(1,:));
hold on

```

```

%2°: rosa de menores de 0.5m/s
auxi=[direc veloc];
for ii=length(auxi(:,1)):-1:1;
    if auxi(ii,2)>0.5;
        auxi(ii,:)=[];
    end
end

```

```

[t,radio2]=rose(deg2rad(auxi(:,1)),24);% de 15° en 15°
h2=polargeo(t,radio2*100/tot_radio, map(13,:));

```

```

%3°: rosa de menores de 0.4m/s
for ii=length(auxi(:,1)):-1:1
    if auxi(ii,2)>0.4
        auxi(ii,:)=[];
    end
end

```

```

[t,radio3]=rose(deg2rad(auxi(:,1)),24);% de 15° en 15°
h3=polargeo(t,radio3*100/tot_radio, map(25,:));

```

```

%4°: rosa de menores de 0.3m/s
for ii=length(auxi(:,1)):-1:1
    if auxi(ii,2)>0.3
        auxi(ii,:)=[];
    end
end

```

```

[t,radio4]=rose(deg2rad(aux(:,1)),24);% de 15° en 15°
h4=polargeo(t,radio4*100/tot_radio, map(37,:));

% %5°: rosa de menores de 0.2m/s
% for ii=length(aux(:,1)):-1:1
%     if aux(ii,2)>0.2
%         aux(ii,:)=[],
%     end
% end
%
% % OJO!!!
% deg2rad(aux(:,1)), pause,
%
% [t,radio5]=rose(deg2rad(aux(:,1)),24),% de 15° en 15°
% h5=polargeo(t,radio5*100/tot_radio, map(49,:));

% %6°: rosa de menores de 0.1m/s
% for ii=length(aux(:,1)):-1:1
%     if aux(ii,2)>0.1
%         aux(ii,:)=[];
%     end
% end
%
% [t,radio6]=rose(deg2rad(aux(:,1)),24);% de 15° en 15°
% h6=polargeo(t,radio6*100/tot_radio, map(61,:));

radio=[radio1' radio2' radio3' radio4'];
hh=[h1 h2 h3 h4];
[LEGH,OBJH]=legend(hh,'>0.5m/s','0.4<...<0.5','0.3<...<0.4','0.2<...
<0.3','0.1<...<0.2','0.0<...<0.1',-1);
title(sprintf('      ROSA DE CORRIENTES \n %s
Prof:%4.0fm',nombre,prof),'FontSize',12);

```

-----O-----

### **Función para cálculo del Espectro**

```

function P=spectrum_v6(x,y,m,noverlap)
%function P=spectrum_v6(x,y,m,noverlap)
% SPECTRUM Power spectrum estimate of one or two data sequences.
% P = SPECTRUM(X,Y,M) performs FFT analysis of the two sequences
% X and Y using the Welch method of power spectrum estimation.
% The X and Y sequences of N points are divided into K sections of
% M points each (M must be a power of two). Using an M-point FFT,
% successive sections are Hanning windowed, FFT'd and accumulated.
% SPECTRUM returns the M/2 by 8 array:
%
%
%           P = [Pxx Pyy Pxy Txy Cxy Pxxc Ppyc Pxyc]
%
% where:
%

```

```

%           Pxx = X-vector power spectral density
%           Pyy = Y-vector power spectral density
%           Pxy = Cross spectral density
%           Txy = Complex transfer function from X to Y
%                (Use ABS and ANGLE for magnitude and phase)
%           Cxy = Coherence function between X and Y
% Pxxc,Pyyc,Pxyc = Confidence range (95 percent).
%
% See SPEC PLOT to plot these results.
%
% P = SPECTRUM(X,Y,M,NOVERLAP) specifies that the M-point sections
% should overlap NOVERLAP points.
%
% Pxx = SPECTRUM(X,M) and SPECTRUM(X,M,NOVERLAP) return the single
% sequence power spectrum and confidence range.
%
% See also ETFE, SPA, and ARX in the Identification Toolbox.

% J.N. Little 7-9-86
% Revised 4-25-88 CRD, 12-20-88 LS, 8-31-89 JNL, 8-11-92 LS
% Copyright (c) 1986-92 by the MathWorks, Inc.

% The units on the power spectra Pxx and Pyy are such that, using
% Parseval's theorem:
%
% SUM(Pxx)/LENGTH(Pxx) = SUM(X.^2)/LENGTH(X) = COV(X)
%
% The RMS value of the signal is the square root of this.
% If the input signal is in Volts as a function of time, then
% the units on Pxx are Volts^2*seconds = Volt^2/Hz.
% To normalize Pxx so that a unit sine wave corresponds to
% one unit of Pxx, use Pn = 2*SQRT(Pxx/LENGTH(Pxx))
%
% Here are the covariance, RMS, and spectral amplitude values of
% some common functions:
%           Function  Cov=SUM(Pxx)/LENGTH(Pxx)  RMS      Pxx
%           a*sin(w*t)      a^2/2          a/sqrt(2)
a^2*LENGTH(Pxx)/4
% Normal:  a*rand(t)      a^2          a          a^2
% Uniform: a*rand(t)      a^2/12       a/sqrt(12)  a^2/12
%
% For example, a pure sine wave with amplitude A has an RMS value
% of A/sqrt(2), so A = SQRT(2*SUM(Pxx)/LENGTH(Pxx)).
%
% See Page 556, A.V. Oppenheim and R.W. Schaffer, Digital Signal
% Processing, Prentice-Hall, 1975.

nargin_2 = 1;

if (nargin == 2), m = y; noverlap = 0; end
if (nargin == 3)
    if (max(size(y)) == 1)
        noverlap = m;
    end
end

```

```

        m = y;
        nargin_2 = 2;
    else
        noverlap = 0;
    end
end

x = x(:);           % Make sure x and y are column vectors
y = y(:);
n = max(size(x));   % Number of data points
k = fix((n-noverlap)/(m-noverlap)); % Number of windows
                                % (k = fix(n/m) for noverlap=0)

index = 1:m;
w = hanning(m);     % Window specification; change this if you want:
                                % (Try HAMMING, BLACKMAN, BARTLETT, or your
                                own)
KMU = k*norm(w)^2;  % Normalizing scale factor

if (nargin == 2) || nargin_2 == 2 % Single sequence case.
    Pxx = zeros(m,1); Pxx2 = zeros(m,1);
    for i=1:k
        xw = w.*detrend(x(index));
        index = index + (m - noverlap);
        Xx = abs(fft(xw)).^2;
        Pxx = Pxx + Xx;
        Pxx2 = Pxx2 + abs(Xx).^2;
    end
    % Select first half
    select = [1:m/2];
    Pxx = Pxx(select);
    Pxx2 = Pxx2(select);
    cPxx = zeros(m/2,1);
    if k > 1
        c = (k.*Pxx2-abs(Pxx).^2)./(k-1);
        c = max(c,zeros(m/2,1));
        cPxx = sqrt(c);
    end
    pp = 0.95; % 95 percent confidence.
    f = sqrt(2)*erfinv(pp); % Equal-tails.
    P = [Pxx f.*cPxx]/KMU;
    return
end

Pxx = zeros(m,1); % Dual sequence case.
Pyy = Pxx; Pxy = Pxx; Pxx2 = Pxx; Pyy2 = Pxx; Pxy2 = Pxx;

for i=1:k
    xw = w.*detrend(x(index));
    yw = w.*detrend(y(index));
    index = index + (m - noverlap);
    Xx = fft(xw);
    Yy = fft(yw);
    Yy2 = abs(Yy).^2;
end

```

```

    Xx2 = abs(Xx).^2;
    Xy = Yy .* conj(Xx);
    Pxx = Pxx + Xx2;
    Pyy = Pyy + Yy2;
    Pxy = Pxy + Xy;
    Pxx2 = Pxx2 + abs(Xx2).^2;
    Pyy2 = Pyy2 + abs(Yy2).^2;
    Pxy2 = Pxy2 + Xy .* conj(Xy);
end

% Select first half
select = [1:m/2];

Pxx = Pxx(select);
Pyy = Pyy(select);
Pxy = Pxy(select);
Pxx2 = Pxx2(select);
Pyy2 = Pyy2(select);
Pxy2 = Pxy2(select);

cPxx = zeros(m/2,1);
cPyy = cPxx;
cPxy = cPxx;
if k > 1
    c = max((k.*Pxx2-abs(Pxx).^2)/(k-1), zeros(m/2,1));
    cPxx = sqrt(c);
    c = max((k.*Pyy2-abs(Pyy).^2)/(k-1), zeros(m/2,1));
    cPyy = sqrt(c);
    c = max((k.*Pxy2-abs(Pxy).^2)/(k-1), zeros(m/2,1));
    cPxy = sqrt(c);
end

Txy = Pxy./Pxx;
Cxy = (abs(Pxy).^2)/(Pxx.*Pyy);

pp = 0.95; % 95 percent confidence.
f = sqrt(2)*erfinv(pp); % Equal-tails.

P = [ [Pxx Pyy Pxy]./KMU ...
      Txy Cxy ...
      f.*[cPxx cPyy cPxy]./KMU ];

Pxx_91_u=spectrum_v6(x,720,360); specplotmio(Pxx_91_u),

set(gca,'ylim',[0,2500]), set(gca,'xlim',[0,1]), grid on,

title('Densidad Espectral - Componente Zonal
(u)', 'fontweight','bold', 'fontsize',12),
xlabel('Frecuencia Normalizada', 'fontweight','bold', 'fontsize',10),
ylabel('Esperar instrucciones
SVP', 'fontweight','bold', 'fontsize',10),

```



```

print('-dtiff','-r300','espectro_91_u')

function specplotmio(P,Fs)
%function specplotmio(P,Fs)
% SPECPLOTMIO Plot the output of the SPECTRUM function.
%
% SPECPLOTMIO(P,Fs), uses P, the output of SPECTRUM, and Fs, the
% sample frequency, to successively plot:
%
%       Pxx - X Power Spectral Density & confidence.
%       Pyy - Y Power Spectral Density & confidence.
%       abs(Txy) - Transfer Function Magnitude.
%       angle(Txy) - Transfer Function Phase.
%       Cxy - Coherence Function.
%
% The 95% confidence intervals are displayed on the power
% spectral density curves.
%
% SPECPLOT(P) uses normalized frequency, Fs = 2, so that 1.0 on
% the frequency axis is half the sample rate (the Nyquist
% frequency).

% J.N. Little 7-9-86
% Revised 11-14-91 JNL
% Copyright (c) 1986-91 by the MathWorks, Inc.

[n,m] = size(P);
if margin < 2
    Fs = 2;
end
f = (1:n-1)/n*Fs/2;

if m == 2
    c = [P(2:n,1)+P(2:n,2) P(2:n,1)-P(2:n,2)];
else
    c = [P(2:n,1)+P(2:n,6) P(2:n,1)-P(2:n,6)];
end
c = c .* (c > 0);
figure(10);plot(f,P(2:n,1),f,c(:,1),'--',f,c(:,2),'--'), ...
title('X - Densidad Espectral de
Potencia','FontWeight','bold','FontSize',12), ...
xlabel('Frecuencia','FontWeight','bold','FontSize',10)
% print('-djpeg','-r300','x')
if m == 2
    return
end

pause

c = [P(2:n,2)+P(2:n,7) P(2:n,2)-P(2:n,7)];
c = c .* (c > 0);

```

```
figure(11);plot(f,P(2:n,2),f,c(:,1),'--',f,c(:,2),'--'), ...
title('Y - Densidad Espectral de
Potencia','FontWeight','bold','FontSize',12), ...
xlabel('Frecuencia','FontWeight','bold','FontSize',10), pause
print('-djpeg','-r300','y')

figure(12);semilogy(f,abs(P(2:n,4))), ...
title('Txy - Magnitud de la Funcion de
Transferencia','FontWeight','bold','FontSize',12), ...
xlabel('Frecuencia','FontWeight','bold','FontSize',10), pause
print('-djpeg','-r300','transferencia')

figure(13);portrait;
subplot(2,1,1);plot(f,180/pi*angle(P(2:n,4))), ...
title('Txy - Fase'), ...
xlabel('Frecuencia'), ...
ylabel('grados'), pause

subplot(2,1,2);plot(f,abs(P(2:n,5))), ...
title('Cxy - Coherencia'), ...
xlabel('Frecuencia'), pause
```

## **ANEXO C**

**Pruebas del proyecto “Desarrollo de un Derivador basado en GPS Monitoreado por Radio para Aplicaciones en Oceanografía” en San Pedro de Manglar Alto.**

**Reporte de Oceanografía (v1)**

**Pruebas de campo, validación y de despliegue operativo  
del sistema DMR en Ayangue - San Pedro CENAIM  
Santa Elena, Ecuador**

**Proyecto DMR - Derivador Monitoreado por Radio  
Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL  
FIEC / FIMCM / CVR / CADS / CICYT**

**Jonathan Cedeño  
Karina Abata  
Andrés Aviles  
CADS-ESPOL Oceanografía**

**Samuel Hernández  
Alicia Chacón  
CVR-ESPOL**

**Guayaquil, 13 de julio del 2009**

**INDICE**

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	5
3. CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	6
4. METODOLOGÍA.....	8
5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y DISCUSIÓN.....	10
6. RECOMENDACIONES.....	11
7. BIBLIOGRAFÍA.....	13
8. TABLAS.....	14
9. FIGURAS.....	16
10. ANEXOS.....	22

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de los datos obtenidos de la corrida de veleta superficial, para los días 19-20-21 de junio del 2009.....	14
Tabla 2. Resumen de los datos obtenidos del DMR, para el día 19 de junio del 2009, en la ensenada de Ayangué.....	14
Tabla 3. Resumen de los datos obtenidos del DMR, para el día 20 de junio del 2009, frente a la costa de San Pedro CENAIM.....	14
Tabla 4. Resumen de los datos obtenidos del DMR, para el día 21 de junio del 2009, frente a la costa de San Pedro CENAIM.....	14
Tabla 5. Resumen de los datos obtenidos del veleteo, para los días 19-20-21 de junio del 2009.....	15
Tabla 6. Resumen de los datos obtenidos del DMR, para los días 19-20-21 de junio del 2009.....	15
Tabla 7. Resumen de los datos de vientos, para los días 19-20-21 de junio del 2009.....	15
Tabla 8. Tablas de marea, para los días 19-20-21 de junio del 2009.....	15

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica y área de influencia de la Estación El Pelado.....	16
Figura 2. Comparación a través del tiempo de la técnica de veleteo, para el registro de corrientes por el método lagrangiano.....	16
Figura 3. Sistema DMR.....	17
Figura 4. Flotador DMR durante la campaña del día 19, en la ensenada de Ayangué.....	18
Figura 5. Flotador DMR y base terrena, situada en el edificio comedor del CENAIM.....	18
Figura 6. Ploteo de las trayectorias de la veleta y del DMR, durante el día 19 de junio, en la ensenada de Ayangué.....	19
Figura 7. Ploteo de las trayectorias de la veleta y del DMR, durante el día 20 de junio, frente a la costa de San Pedro CENAIM.....	20
Figura 8. Ploteo de las trayectorias de la veleta y del DMR, durante el día 21 de junio, frente a la costa de San Pedro CENAIM.....	21

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene por finalidad principal la de validar a través del análisis de la información, los datos *in situ* de corrientes superficiales provenientes de dos metodologías propuestas: (1) DMR (Derivado Monitoreado por Radio) y (2) sistema de veleteo, ambos basados en la técnica lagrangiana de medición de corrientes. Dichos datos se obtuvieron en la bahía de Ayangue (día 19 de junio) y frente a las costas de San Pedro CENAIM (20-21 de junio del 2009).

El proyecto DMR, que sustanció dicha salida, comprende el diseño y construcción de un “Derivador Basado en GPS Monitoreado por Radio para Aplicaciones en Oceanografía” (proyecto tesis de FIEC CICYT-PEC-07-11), además de otro estudio de corrientes que permita las pruebas de campo del DMR, denominado “Análisis de Datos Histórico de Corrientes en Bahía Naufragio, Isla San Cristóbal, Galápagos” (proyecto tesis de FIMCM CICYT-PEC-07-10).

Por sus características, y facilidades logísticas asociadas a la presencia del campus CENAIM (Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas) de ESPOL, el sitio se presenta como ideal para llevar a cabo estas pruebas. La bahía de Ayangue permitiría disponer de un área semi-cerrada, protegida por dos puntas rocosas, en la cual se podría, dado el caso, resolver contingencias propias del primer despliegue de un equipo de esas características.

Superadas las pruebas en Ayangue, se buscó probar el DMR en las costas de San Pedro CENAIM, situando la estación terrena en lo alto del campus, en la terraza del edificio comedor, teniendo de esta manera una excelente línea de vista, asegurando una transmisión radial adecuada entre el flotador y la estación terrena.

## **2. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO**

### **Ayangue**

Ayangue pertenece a la provincia de Santa Elena, parroquia Colonche, y está localizada dentro de la bahía del mismo nombre. Está ubicada en la costa noreste de la bahía de Santa Elena, aproximadamente a 45 km de Santa Elena entre los poblados de Palmar al Sur y San Pedro al Norte.

Debido a su muy especial configuración y situación, Ayangue está muy bien protegida por la punta Ayangue al sur y por la punta Delteco al noroeste, tanto de los vientos como de los oleajes que predominantemente vienen de la dirección sur-oeste.

Su localización geográfica, según la carta IOA. 10511, está centrada en la intersección de las coordenadas  $80^{\circ}45'06''\text{W}$  y  $01^{\circ}58'33''\text{S}$ .

### **San Pedro**

La población de San Pedro está ubicada en la parte norte de la península de Santa Elena, pertenece a la parroquia de Manglaralto del cantón Santa Elena, y forma parte de la Zona Especial de Manejo (ZEM) denominada San Pedro – Valdivia - Manglaralto.

Al sur de la población, al pie de la playa, se encuentra localizado el Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM). La estación de muestreo fue localizada en el límite sur de CENAIM, y sus coordenadas geográficas son  $1^{\circ}56'30''$  paralelo Sur y  $80^{\circ}43'30''$  meridiano Oeste, delimitándose 200 metros de la franja de la zona de rompiente.



### 3. CARACTERÍSTICAS GENERALES

#### Ayangué

Ayangué se encuentra en una zona geomorfológicamente caracterizada por la formación Tablazo, que incluye acantilados bajos, subverticales e inestables que enmarcan pequeñas playas embolsadas arenosas así como por depósitos aluviales (que corresponden a toda la anteplaya y playa de Ayangué, Ayón, 1987).

La batimetría del sector en estudio indica que la totalidad de las isolíneas sigue el contorno de la bahía presentándose más unidas en la parte noroeste del poblado donde está la saliente rocosa y, en la parte sureste se presenta una especie de cañón que probablemente se deba a que cuando tiene lugar la crecida del río, la laguna litoral existente se desborda y la consiguiente corriente rápida de avenida ha abierto el lecho profundo que se muestra (ref. levantamiento hidrográfico INOCAR, 1979).

Según la clasificación hecha por Cañadas, 1983 y por los estudios realizados por INOCAR en 1985, se ha establecido que la región de Monteverde (y que por su cercanía y similitud del clima, se podría decir lo mismo de Ayangué) es definida como de clima tropical seco, entiéndase como clima tropical seco a aquel que posea:

- a) Temperatura media del aire entre 20°C y 26°C.
- b) Precipitaciones inferiores a los 500 mm.
- c) Promedio mensual de humedad relativa fluctuando entre 81 y 85%, alcanzando los valores más altos en la época seca.
- d) Las épocas secas, presentan considerables concentraciones de nubosidad, no así las épocas lluviosas en las que se observa cielo claro y soles intensos.
- e) Las tierras son semi-desérticas.

En lo referente a la temperatura del área, Cordero 1982 establece, en base a datos de la estación meteorológica de Salinas de INOCAR, que la temperatura media del aire está comprendida entre los 20°C y 26°C. La variación anual promedio de humedad relativa se encuentra comprendida entre los 79 y 84%.

Los registros de vientos considerados pertinentes para el ambiente litoral en Ayangué, según Cordero 1982, indican un sentido del viento de oeste-este, predominando los vientos del oeste y observando variaciones pequeñas en el sentido norte-sur y este-oeste debido probablemente a la orientación, con respecto al norte magnético, de cada área de estudio y recolección de datos.

En el área de Ayangué se ha podido encontrar valores de 8 m/s en el cerro derecho y de 6 m/s en la playa de intensidad y de 265° y 250° respectivamente de dirección, cuando en Salinas el mismo día y a la misma hora se encontró vientos de 8 m/s de intensidad y 220° de dirección. Esta variabilidad o atenuación de los vientos en la playa es debido posiblemente a la protección natural que posee Ayangué por la localización de los cerros (Cordero, 1982).

## **San Pedro**

El sector costero comprendido entre San Pedro y Manglaralto abarca una longitud de 14 km. de costa, tiene una orientación aproximada Norte-Sur y se encuentra comprendido entre las latitudes  $1^{\circ}47'36''\text{N}$  y  $1^{\circ}57'54''\text{S}$ , estando localizado en la parte norte de la península de Santa Elena.

San Pedro y su zona de influencia se ubican en un área con influencia estacional de varias masas de agua, incluyendo gradientes o frentes entre ellas (Figura 1). Además, debido a la periodicidad del monitoreo, está afectada por una variabilidad de alta frecuencia que para el presente caso únicamente puede ser caracterizada hasta una frecuencia máxima de oscilación de dos semanas.

Meteorológicamente, se encuentra en el área de influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que es una de las estructuras que definen el clima en la región. El área se ve afectada por una variabilidad climática estacional y en otro orden por una variabilidad climática interanual reflejada en eventos extraordinarios.

#### 4. METODOLOGÍA

Durante la salida de campo, se establecieron grupos de trabajo rotatorios para las mediciones de corrientes durante los días 19, 20 y 21 de junio del 2009, en los cuales se trabajó en presencia de la marea de cuadratura.

Durante el primer día (19 de junio del 2009), se decidió trabajar en la ensenada de Ayangue por sus características de bahía cerrada y más calma, que permitiría hacer ajustes a las tareas de despliegue y operación del flotador en su primer lance al mar. La estación terrena se ubicó en la playa contigua. Los días subsiguientes (20-21 de junio), se procedió a trabajarse frente a las costas de San Pedro CENAIM, ubicándose la estación terrena en edificio comedor del CENAIM, situado a ~75 m de altura, con una elevada línea de vista.

La utilización de las veletas como medio de adquisición de datos de corrientes superficiales se dio en paralelo a la del DMR. El primer día se realizó el veleteo en pleamar durante 4 horas, cada 30 minutos, a partir de las 14h00. En el segundo día las mediciones se dieron cada 30 minutos a partir de las 9h00, hasta las 18h00, durante la pleamar. El tercer día solo se trabajó hasta las 12h00 desde las 9h00 en pleamar.

El grupo de trabajo en tierra se encargó de receptar y guardar la información que el derivador transmitía durante todo el tiempo que duró las mediciones con las veletas, además de las contingencias propias de la estación terrena, que comprendió la operación del programa de adquisición de datos dmrA, así como la situación de la antena de alta ganancia.

Las mediciones de corrientes superficiales en el área de estudio se las realizaron aplicando el método de Lagrange (Neshiba y Fonseca, 1981) por medio de veletas, y del DMR (flotador autónomo) que utiliza el mismo método.

##### **Veletas**

El método de medición de corrientes por el método lagrangiano utiliza veletas superficiales (0.50 m), las cuales consisten en dos pantallas de plywood marino cruzadas entre si, en cuya parte superior se unen a una varilla delgada de hierro por medio de un eje, la misma que sostiene una banderola plástica de distintos colores para diferenciarlas unas de otras. El punto de boyantes de la veleta está compensado por boyarines ubicados en el eje de las banderolas y por pesos (combos) en la parte inferior de la veleta, dándole al conjunto de la veleta boyantes positiva para que las banderolas sean visibles. La diferencia entre las veletas superficiales y subsuperficiales consiste en que las segundas las pantallas cruzadas se suspenden de la parte flotante por medio de un cabo de polietileno de 3 metros de largo (o de longitud variable según el interés, Figura 2).

Con respecto a este tipo de flotadores utilizado, que tiene una parte sumergida y otra no sumergida, el efecto de las corrientes sobre la parte sumergida es mucho mayor que el efecto de la corriente y viento sobre la parte flotante; es

por eso que efectivamente se mide la corriente a algún nivel bajo la superficie del mar (Johnson y Wiegel, 1959).

Alrededor de cada 30 min., las veletas fueron posicionadas mediante un GPS (Sistema de Posicionamiento Global, por sus siglas en inglés). El GPS básico utiliza señales de al menos cuatro satélites para establecer una posición; cada una de estas señales contiene cierto porcentaje de error y por lo tanto, la lectura final estará influenciada por los mismos.

### **DMR - Derivador Monitoreado por Radio**

El flotador DMR deduce corrientes superficiales por el método lagrangiano al igual que las veletas, pero de una manera autónoma. Para este propósito, el flotador se encuentra equipado con un GPS para la captura de la trayectoria de deriva, y un transmisor de radio que posibilita la transmisión en tiempo real de los datos capturados. El sistema se complementa con una estación terrena basada en una antena receptora, y una computadora que posibilita la recepción, procesamiento, visualización y almacenamiento de los datos. El alcance operativo nominal es de 3 km.

El diseño del flotador consta de dos partes: el módulo electrónico (que incluye la tarjeta madre, GPS, radio, batería y software) y el módulo de la estructura física (carcasa y bastidor del flotador, Figura 3).

- Tarjeta madre: Se encarga de dirigir las tareas de operación del GPS, así como la telemetría de radio. La tarjeta madre está basada principalmente en microcontroladores PIC,
- Software: Usa un lenguaje de programación basado en C que permite controlar y operar de manera autónoma las diferentes tareas del derivador.
- GPS: Para el posicionamiento del derivador, el receptor que se usa es un GPS LAIPAC PG-11 OEM Module, con un error estimado de  $\pm 10$  m. Los mensajes de salida del GPS siguen los estándares NMEA0183, siendo decodificado para su uso en las transmisiones de radio el protocolo RMC (por defecto).
- Radio: El sistema de telemetría consta de dos radios 9XStend de la compañía Digi, una ubicada en el derivador y otra en la estación en tierra. Ambas radios modulan en la frecuencia de 900Mhz y poseen características técnicas que facilitan su programación, además de contar con protocolos de comunicación con lo cual hace posible la comunicación a largas distancias.

Antenas: El Derivador posee dos antenas, una conectada directamente al GPS con la cual recibe la señal de posicionamiento de los satélites y otra antena que se conecta a la radio anteriormente mencionada; esta antena de 3.5dbi de ganancia recepta y envía la información telemétrica a la estación en tierra donde estará el control de mando.

- Carcasa/bastidor: La carcasa es la estructura externa construida en PVC. Sus características hidrodinámicas posibilitan un adecuado registro del campo de corrientes superficial, además de ser totalmente

hermético para impedir el daño del módulo electrónico y baterías a bordo del mismo. El bastidor, hecho íntegramente en acrílico, aloja convenientemente las baterías y los componentes electrónicos. La estructura física del flotador se complementa con un mástil de 0.5 m de alto que soporta un domo para la antena de GPS y la antena de radio.

## 5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y DISCUSIÓN

Del estudio de circulación en la bahía de Ayangue, se observa que el sistema de circulación es dominado por las corrientes de marea (Cordero, 1982). Durante la tarde del 19 de junio, los vectores resultantes marcaron una dirección predominante NE con magnitudes promedio de 3.84 cm/s y dirección de  $77.10^\circ$  (Figura 6 y Tablas 1 y 5). Los datos capturados por el DMR indicaron una tendencia igual a la de las veletas, siendo sus valores promedios de 6.76 cm/s y  $68.75^\circ$  (Figura 6 y Tablas 2 y 6). Cabe recalcar que el despliegue del DMR durante ese día se dio adjuntando una boya superficial de seguridad, que le dió visibilidad y flotación adicional durante ese lance. Es probable que bajo esta configuración la adquisición de datos por parte del DMR se viera afectada; ya que al existir una mayor superficie de arrastre en la superficie, que además interactúa con el viento, los vectores de velocidad detectados serían mayores que sus pares de las veletas.

En el día 20, el área barrida por el equipo se situó al norte de la punta Delteco. Los vectores de velocidad de ambos sistemas mostraron una tendencia muy similar, especialmente después de las 14h30, en los que el DMR y la veleta corrieron casi en paralelo. Los valores de magnitud / dirección de velocidad deducidos de la deriva de la veleta fueron 8.35 cm/seg y  $247^\circ$  (Figura 7 y Tablas 1 y 5), mientras que el DMR reportó 4.39 cm/seg y  $224^\circ$  (Figura 7 y Tablas 3 y 6). Si discriminamos por horas, tenemos que por la mañana, hasta las 14h30, la trayectoria marcada por la veleta fue de 4.89 cm/seg y  $247^\circ$  de dirección, mientras que en el mismo período de tiempo, el DMR marcó 4.13 cm/seg y  $201.14^\circ$  de dirección. Después de las 14h30, la corriente tuvo una velocidad de 11.81 cm/seg y  $247.46^\circ$  de dirección por medio de la veleta, en contraste el DMR midió 8.36 cm/seg y  $254.45^\circ$  (Tabla 3). Los valores encontrados en ese día de mediciones se mostraron mucho más cercanos, bajo una configuración del DMR sin boya de superficie. Vale destacar el hecho de que en este día se adquirió datos del DMR a una distancia de 4.88 km, siendo éste el mayor alcance obtenido durante las pruebas ejecutadas durante este fin de semana. El alcance es, por mucho, muy superior al propuesto inicialmente como objetivo del proyecto (3 km).

En el último día de mediciones, se procedió a adquirir corrientes un poco más al norte, en frente de San Pedro / Valdivia. Bajo esta ubicación, el flujo fue predominantemente al N (presumiblemente parte de la corriente litoral predominante en el área). El paralelismo de ambos equipos fue muy notorio, siendo ambas direcciones preponderantemente al norte, excepto después de las 11h30, en donde la dirección registrada por la deriva del DMR fue hacia el NE. Los valores de magnitud y dirección de la velocidad de la corriente son como siguen: 7.46 cm/seg -  $359.52^\circ$  (veleta, Figura 8 y Tablas 1 y 5) y 9.24

cm/seg -  $13.63^\circ$  (DMR, Figura 8 y Tablas 4 y 6). Durante la última media hora de registro del DMR, (en la cual se procedió a re-lanzarlo al NE de su última ubicación, debido a problemas surgidos en la transmisión de datos) se pudo apreciar un importante incremento de la velocidad, que además tendió hacia el NE. El valor de magnitud y dirección se situó en  $12.92$  cm/seg -  $27.81^\circ$ , siendo esto no corroborado por la última medición de veleta hecho a las 12h00.

Cabe recalcar que durante el primer día de veleteo, las mediciones se hicieron en bajamar en la Bahía de Ayangue, el segundo y el tercero fue en la ensenada de San Pedro, con la diferencia de que el día veinte de junio tuvimos un cambio de marea como se puede apreciar en la Tabla 1 y 8.

En cuanto a vientos sólo se tomó registro el 20 y 21 de junio, con magnitudes de 1.8 y 2 m/s y direcciones de 250W y 200W respectivamente, Tabla 7.

## 6. RECOMENDACIONES

La experiencia en el campo permitió una oportunidad única para probar, bajo condiciones reales de uso, el nuevo sistema DMR y, a la vez, contrastarlo con el clásico estudio de veletas, para adquirir corrientes superficiales. Las principales recomendaciones hechas al proyecto son las siguientes:

- 1) Se detectaron algunas inconsistencias en el procesamiento de los datos de trayectoria a partir de la recepción del mensaje GPRMC desde el derivador, con el programa dmrA. Dichas inconsistencias se refieren a la transformación de coordenadas cartesianas a polares y viceversa, ya que el marco de referencia en el cual situamos la dirección de la corriente es con base al norte magnético, que es equivalente a  $90^\circ$  en el plano cartesiano. Al momento de escribir este reporte, el problema se encuentra plenamente identificado y solucionado, y está siendo incorporado a la versión final del programa.
- 2) Se debe de hacer un último ajuste al programa de adquisición de datos dmrA para que haga un mejor filtraje del mensaje GPRMC que transmite el flotador, ya que durante la prueba si el mensaje llegaba vacío, el programa se paraba, generando un error en la corrida del mismo. Por fortuna, cada vez que se generó un error de este tipo, el programa fue capaz de recuperar los datos adquiridos durante esa tanda.
- 3) Es recomendable que en cada despliegue del DMR se adjunte por seguridad una banderola al mástil del flotador. Esto permitirá una ubicación del equipo mucho más fácil y certero.
- 4) El encendido del flotador debe de ser más sencillo, y sin que ello implique abrir el equipo. Al momento se encuentra instalado el dispositivo remoto que permitirá encender de manera inalámbrica el DMR; sin embargo, el control remoto no pudo ser terminado a tiempo para la operación del mismo en la salida de campo. Además, el interruptor de encendido bien podría ser colocado en la tapa superior, evitando tener que sacar de la carcasa toda la bahía de electrónicos de manera que pueda encenderse el equipo.
- 5) El LED indicador de encendido en la tarjeta madre del DMR debe de mantenerse por cuanto su utilidad ha sido demostrada en el campo, pese a

- su consumo de energía. Cuando esté terminado el control remoto, debe de incluirse en el mismo también un LED indicador de encendido/apagado.
- 6) Para futuras versiones, convendría revisar la disposición del bastidor, ya que la bahía de electrónicos podría ser independiente de la bahía de baterías, permitiendo este diseño más flexibilidad y seguridad en el manejo de ambas partes.
  - 7) La antena de alta ganancia debe de tener una base adecuada que no permita que se asiente la misma sobre el cable conector. Durante los días 20 y 21, se detectaron muchos problemas relacionados al hecho de que la antena podría estar “sentida” debido a que continuamente, el peso de la antena reposaba sobre este cable, pudiendo haber dañado sus conexiones.
  - 8) Se debe de experimentar con un *kit* de conversión del derivador para permitir registrar corrientes sub-superficiales, y paralelamente compararlo con lo obtenido por veletas del mismo tipo.
  - 9) Es aconsejable probar la distancia máxima de transmisión de datos entre el flotador y su estación terrena. En la salida se pudo comprobar un alcance efectivo de 5 Km., pero el constructor de radio indica que es posible tener hasta 32 Km. con una elevada línea de vista y una antena de alta ganancia, además de la configuración de la radio.
  - 10) A pesar de la indiscutible validez de los resultados del DMR vs. los obtenidos con la veleta, es altamente recomendable proseguir con pruebas en el campo. Solo así se asegurará de contar con datos que respalden las bondades del DMR en tareas de registro de corrientes superficiales por el método lagrangiano.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. Ayón H. (1987). Geomorfología de la costa del Ecuador. PMRC, Programa de Manejo de Recursos Costeros. Quito.
2. Allauca S. & M. Lucero (1992). Estudio de la circulación costera frente al puerto de La Libertad (Ecuador) utilizando flotadores. *Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR, Ecuador*, 7(1), 1992.
3. Cañadas L. (1983). El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador. Banco Central del Ecuador. Quito.
4. Cordero C. (1982). Estudio para el mejoramiento de la Playa de Ayangue. *Tesis de Grado de Ingeniería de Costas y Obras Portuarias*, FIMCM-ESPOL. Guayaquil.
5. ESPOL (1996). Memoria Técnica del Proyecto “Características Litorales de San Pedro / Manglaralto”. *Reporte Téc.*, FIMCM-ESPOL. Guayaquil.
6. ESPOL (2000). Oceanografía Física y Procesos Litorales en La Libertad para el diseño de las obras de protección costera. *Reporte Téc.*, FIMCM-ESPOL. Guayaquil.
7. ESPOL (2006). Características Litorales en Ayangue durante el 15/16 de marzo del 2006. *Reporte Téc.*, FIMCM-ESPOL. Guayaquil.
8. INOCAR (1985). Estudios Oceanográficos, Hidrográficos y Meteorológicos de Tipo Estadístico en el área de Monteverde, Ecuador. *Informe Téc.* Dpto. de Ciencias del Mar, INOCAR. Guayaquil.
9. Johnson J.W. y R.L. Wiegel (1959). Investigation of Currents Measurement in Estuarine and Coastal Waters. *State Water Pollution Control Board, Sacramento – California*, Publication No. 19.
10. Neshyba S. y T. Fonseca (1981). Corrientes Costeras, Manual de Mediciones y Análisis. *Investigaciones Marinas Valparaíso*, Suplemento al Volumen 7. 132 pp.



## 8. TABLAS

FECHA	N	HORA INICIO	HORA FIN	U (m/seg)	V (m/seg)	DIR (°magn.)	VEL (m/seg)
19-06-2009	7	14.67	17.77	0.0374	0.0086	77.10	0.0384
20-06-2009	8	9.57	14.27	-0.0449	-0.0193	246.71	0.0489
20-06-2009	7	14.60	18.08	-0.1091	-0.0453	247.46	0.1181
21-06-2009	6	9.33	12.00	-0.0006	0.0746	359.52	0.0746

Tabla 1. Resumen de los datos obtenidos de la corrida de veleta superficial, para los días 19-20-21 de junio del 2009. Los valores de u, v, dirección y velocidad son promedios del conjunto global de corridas por veleta. N marca el número de puntos tomado en la trayectoria, los cuales fueron incluidos en el análisis.

FECHA	N	HORA INICIO	HORA FIN	U (m/seg)	V (m/seg)	DIR (°magn.)	VEL (m/seg)
19-06-2009	48	14.51	15.34	0.0678	0.0171	75.88	0.0699
19-06-2009	20	15.86	16.21	0.0477	0.0041	85.05	0.0478
19-06-2009	20	16.31	16.69	0.0515	0.0292	60.41	0.0592
19-06-2009	10	16.87	17.05	0.0592	0.0420	54.66	0.0726
19-06-2009	30	17.51	18.03	0.0888	0.0301	71.28	0.0938

Tabla 2. Resumen de los datos obtenidos del DMR, para el día 19 de junio del 2009, en la ensenada de Ayangue. Los valores de u, v, dirección y velocidad son promedios del conjunto global de datos para ese día. N marca el número de puntos tomado en la trayectoria, los cuales fueron incluidos en el análisis.

FECHA	N	HORA INICIO	HORA FIN	U (m/seg)	V (m/seg)	DIR (°magn.)	VEL (m/seg)
20-06-2009	54	11.46	12.41	-0.0008	-0.0467	181.00	0.0467
20-06-2009	35	13.42	14.15	-0.0025	-0.0299	184.75	0.0300
20-06-2009	19	14.25	14.88	-0.0399	-0.0253	237.65	0.0472
20-06-2009	60	14.92	17.37	-0.0806	-0.0224	254.45	0.0836

Tabla 3. Resumen de los datos obtenidos del DMR, para el día 20 de junio del 2009, frente a la costa de San Pedro CENAIM. Los valores de u, v, dirección y velocidad son promedios del conjunto global de datos para ese día. N marca el número de puntos tomado en la trayectoria, los cuales fueron incluidos en el análisis.

FECHA	N	HORA INICIO	HORA FIN	U (m/seg)	V (m/seg)	DIR (°magn.)	VEL (m/seg)
21-06-2009	38	9.28	9.95	-0.0001	0.0859	359.93	0.0859
21-06-2009	37	10.04	10.69	0.0052	0.0693	4.26	0.0695
21-06-2009	17	11.69	11.98	0.0603	0.1142	27.81	0.1292

Tabla 4. Resumen de los datos obtenidos del DMR, para el día 21 de junio del 2009, frente a la costa de San Pedro CENAIM. Los valores de u, v, dirección y velocidad son promedios del conjunto global de datos para ese día. N marca el número de puntos tomado en la trayectoria, los cuales fueron incluidos en el análisis.

FECHA	N	HORA INICIO	HORA FIN	U (m/seg)	V (m/seg)	DIR (°magn.)	VEL (m/seg)
19-06-2009	7	14.67	17.77	0.0374	0.0086	77.10	0.0384
20-06-2009	15	9.57	18.08	-0.0770	-0.0323	247.24	0.0835
21-06-2009	6	9.33	12.00	-0.0006	0.0746	359.52	0.0746

Tabla 5. Resumen de los datos obtenidos del veleteo, para los días 19-20-21 de junio del 2009. Los valores de u, v, dirección y velocidad son promedios del conjunto global de datos para ese día. N marca el número de puntos tomado en la trayectoria, los cuales fueron incluidos en el análisis.

FECHA	N	HORA INICIO	HORA FIN	U (m/seg)	V (m/seg)	DIR (°magn.)	VEL (m/seg)
19-06-2009	128	14.51	18.03	0.0630	0.0245	68.75	0.0676
20-06-2009	168	11.46	17.37	-0.0309	-0.0311	224.88	0.0439
21-06-2009	92	9.28	11.98	0.0218	0.0898	13.63	0.0924

Tabla 6. Resumen de los datos obtenidos del DMR, para los días 19-20-21 de junio del 2009. Los valores de u, v, dirección y velocidad son promedios del conjunto global de datos para ese día. N marca el número de puntos tomado en la trayectoria, los cuales fueron incluidos en el análisis.

FECHA	UBICACION	Vel. Prom (m/s)	Vel. Max. (m/s)	DIR (°W)
20-06-2009	CENAIM	1.82	2.8	250
21-06-2009	CENAIM	2.00	2.2	200

Tabla 7. Resumen de los datos de vientos, para los días 20-21 de junio del 2009. Los valores de dirección y velocidad son promedios del conjunto global de datos para ese día.

TABLAS DE MAREA-LA LIBERTAD					
FECHA	HORA (hh:mm)	ALTURAS (m)	FECHA	HORA (hh:mm)	ALTURAS (m)
19/06/2009	0:21	1.87 P	20/06/2009	1:20	1.99 P
19/06/2009	6:15	0.79 B	20/06/2009	7:16	0.73 B
19/06/2009	12:25	2.09 P	20/06/2009	13:21	2.17 P
19/06/2009	19:00	0.46 B	20/06/2009	19:53	0.33 B

FECHA	HORA (hh:mm)	ALTURAS (m)
21/06/2009	2:16	2.13 P
21/06/2009	8:15	0.63 B
21/06/2009	14:17	2.26 P
21/06/2009	20:44	0.20 B

Tabla 8. Tabla de marea, para los días 19-20-21 de junio del 2009.

## 9. FIGURAS

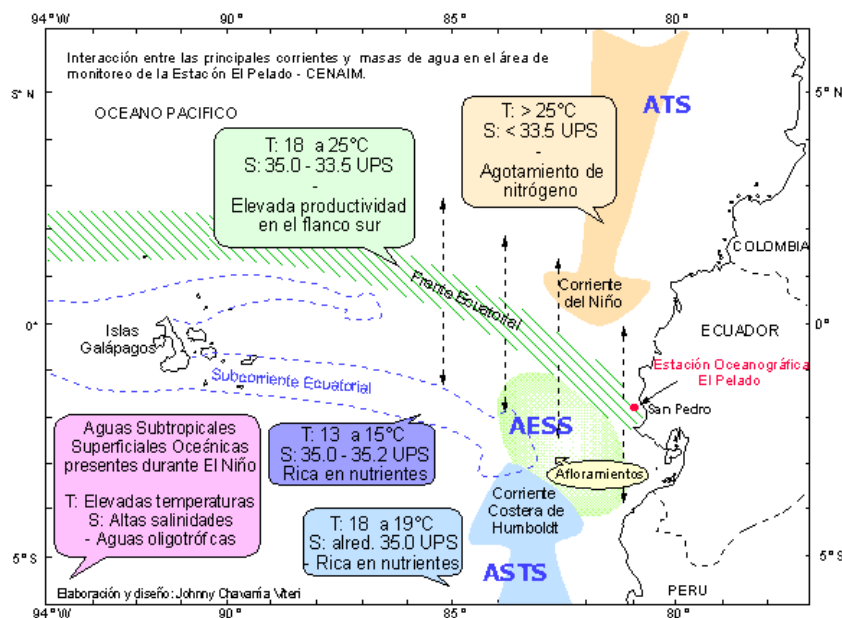


Figura 1. Localización geográfica y área de influencia de la Estación El Pelado.  
Fuente: ACUICLIMA: Acuicultura y Clima. CENAIM, 2009.



Figura 2. La técnica de veleteo a permanecido como la única para desarrollar estudios de corrientes por el sistema de Lagrange, pero a través del tiempo y el desarrollo de la tecnología, el seguimiento de las trayectorias de las veletas cambió. A la izquierda, despliegue de una veleta y seguimiento de la trayectoria desde tierra por teodolitos para la intersección de ángulos. A la derecha, el GPS ha simplificado la tarea de adquisición de la trayectoria, mediante el posicionamiento de las veletas al derivar cada cierto tiempo (ESPOL 1996 y ESPOL 2006).



Figura 3. Sistema DMR. (1) Flotador DMR. Nótese el domo de GPS y la antena de radio colocado en el mástil de antenas. (2) Bahía de electrónicos, en el que se aprecia la tarjeta madre del DMR, su fuente reguladora, y el *receiver* del GPS. (3) Bahía de baterías, en la que constan tres baterías de 6V recargables dispuestas en serie, lo que le confieren al DMR una capacidad operativa de cerca de 84 horas. (4) Estación terrena, compuesta por una computadora *laptop*, el *receiver* de radio y su antena. La configuración mostrada en la foto pertenece a las pruebas realizadas en CENAIM antes de su despliegue operacional. En tareas normales de adquisición de datos, se dispone de una antena de alta ganancia que permite un mayor alcance.



Figura 4. Flotador DMR durante la campaña del día 19, en la ensenada de Ayangue. En ese día, por motivos de seguridad, se le adjuntó una boya.



Figura 5. Flotador DMR durante la campaña del día 20, frente a la costa de San Pedro CENAIM (izquierda). Para ubicarlo fácilmente en el agua, se dispuso la colocación de una banderola que advierta su localización más fácilmente. Computadora con el programa dmrA de adquisición de datos. Este programa, construido en MATLAB, permite la visualización, seguimiento y procesamiento de la señal “cruda” que es transmitida desde el flotador (centro). Ubicación de la antena de alta ganancia en la terraza del edificio comedor del CENAIM (derecha).

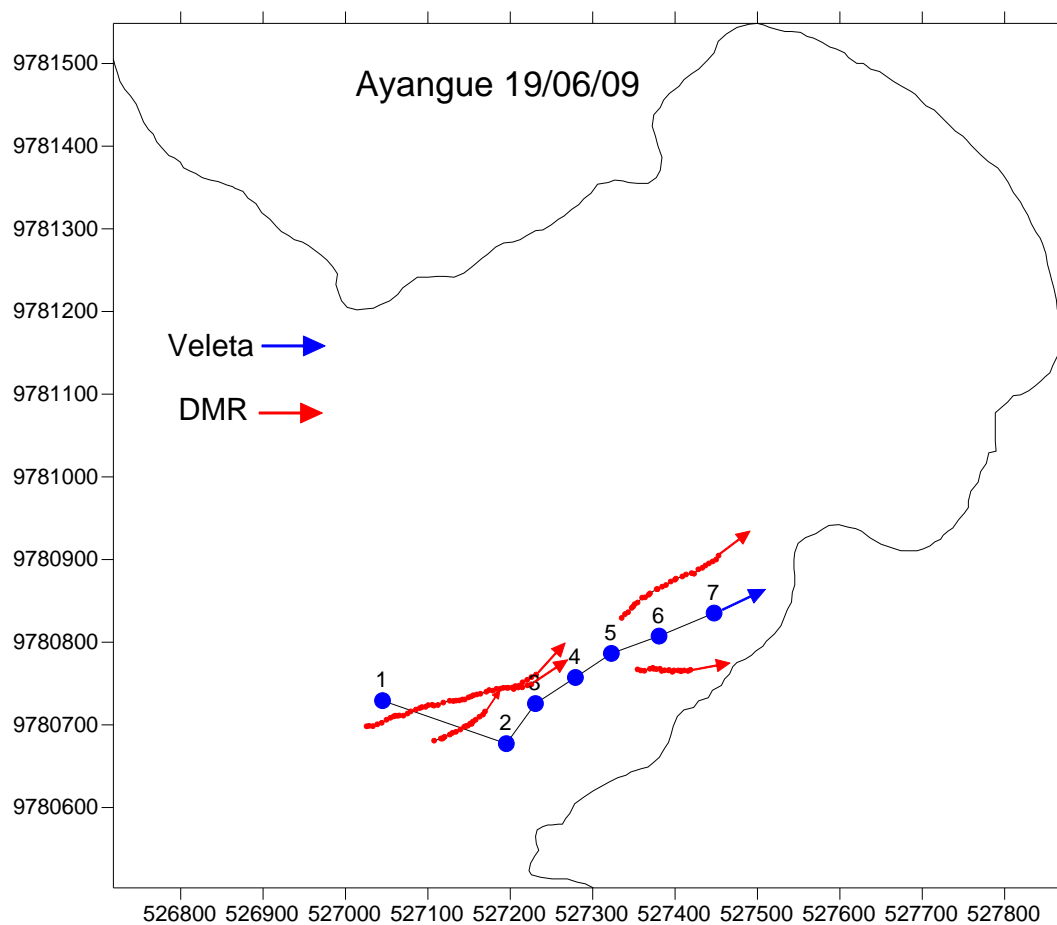


Figura 6. Ploteo de las trayectorias de la veleta y del DMR, durante el día 19 de junio, en la ensenada de Ayangue. El mapa se encuentra en coordenadas UTM, bajo el datum horizontal World Geodesic System WGS84.

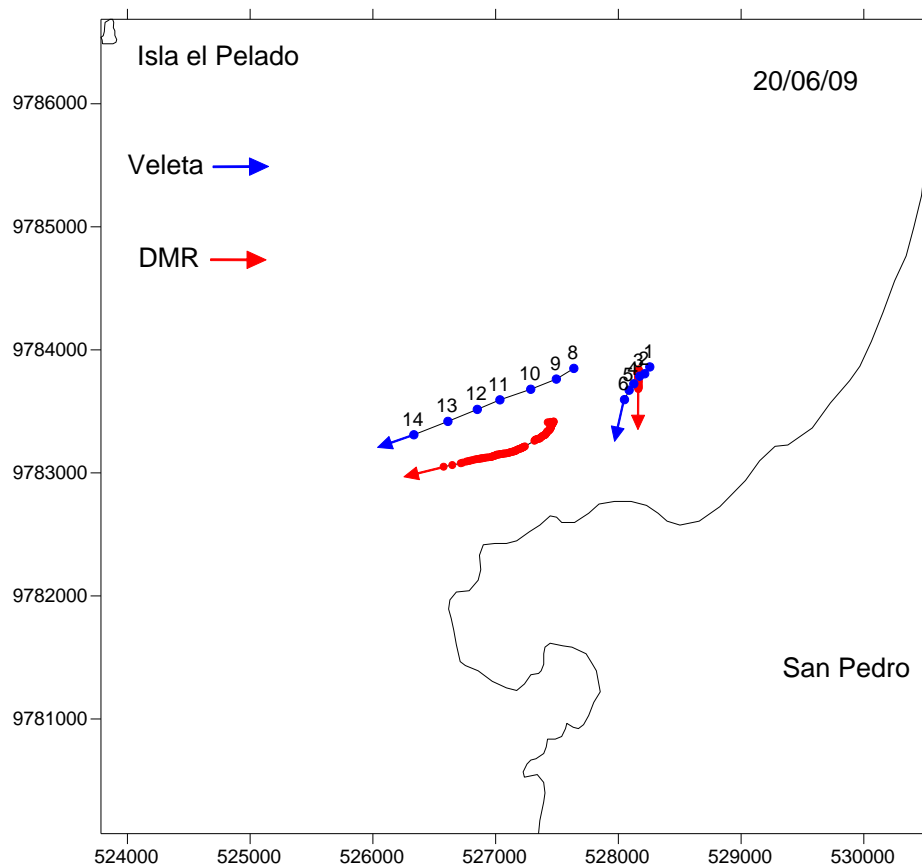


Figura 7. Ploteo de las trayectorias de la veleta y del DMR, durante el día 20 de junio, frente a la costa de San Pedro CENAIM. El mapa se encuentra en coordenadas UTM, bajo el datum horizontal World Geodesic System WGS84.



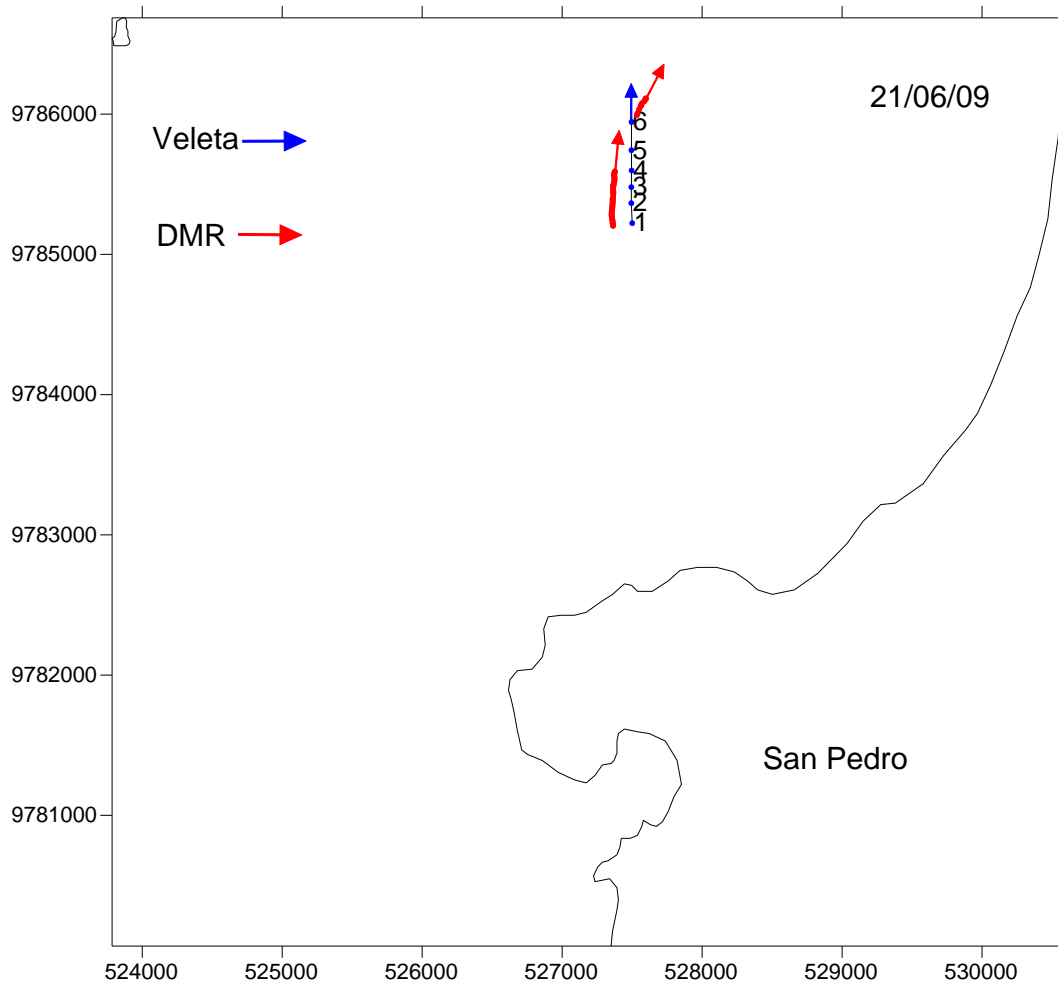


Figura 8. Ploteo de las trayectorias de la veleta y del DMR, durante el día 21 de junio, frente a la costa de San Pedro CENAIM. El mapa se encuentra en coordenadas UTM, bajo el datum horizontal World Geodesic System WGS84.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Abbott D. (1982). Factores que inciden en las afinidades zoogeográficas de la fauna marina costera de Galápagos. Compendio de Ciencia en Galápagos, *Publicación de la Estación Científica Charles Darwin*, 57-77.
2. Case Studies in Oceanography and Marine Affairs (1991). *Prepared by an open university course team*, chapter 5, pp. 166-171.
3. Censo Poblacional Galápagos (2006). *Publicación del Instituto Nacional Galápagos (INGALA)*. Disponible en línea en: [http://www.ingala.gov.ec/galapagos/index.php?option=com\\_content&task=view&id=88&Itemid=99](http://www.ingala.gov.ec/galapagos/index.php?option=com_content&task=view&id=88&Itemid=99).
4. Cocalon E. (1987). Oceanographic Variability off Ecuador associated with El Niño Event in 1982-83, *Journal of Geophysical Research*, Vol. **92 #C13**, pp. 14309-14322.

5. Ecosistemas marinos de Galápagos. *Publicación de la Fundación Charles Darwin*. Disponible en línea en :  
<http://www.darwinfoundation.org/es/galapagos/marine>
  
6. Ecosistema terrestre de Galápagos. *Publicación de la Fundación Charles Darwin* : Disponible en línea en :  
<http://www.darwinfoundation.org/es/galapagos/land>.
  
7. Equatorial Pacific Ocean Climate Studies (EPOCS) (1987). An EPOCS study of the Pacific North Equatorial Countercurrent and the Intertropical Convergence Zone.
  
8. Enfield D. (1975). Oceanografía de la Región Norte del Frente Ecuatorial: Aspectos físicos. Instituto Oceanográfico de la Armada.
  
9. Espin S., Nath J. (1992). Características del régimen de olas en San Cristóbal Islas Galápagos. Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. 7.
  
10. Fleming R. H. (1938). Tides and tidal currents in the Gulf of Panama. *Journal of Marine Research* 1, 192-206.

11. Glynn P. and Wellington G. (1983). Corals and Coral reefs of the Galapagos Islands. University of California Press.
12. Harris M. P. (1969). Breeding Seasons of Sea-Birds in the Galapagos Islands, *J. Zool. Lond* – 159, 145-165.
13. Houvenaghel G. T. (1978). Oceanographic conditions in the Galapagos Archipelago and its relationship with life on the Islands, *Upwelling Ecosystems*, pp. 181-189.
14. Houvenaghel G. T. y Houvenaghel N. (1982). Aspectos ecológicos de la zonificación de entre marea en las costas rocosas de las Islas Galápagos, compendio de *Ciencia en Galápagos, Publicación de la Estación Científica Charles Darwin*, 79-100.
15. Houvenaghel G. T. (1984). Oceanographic Setting of the Galapagos Islands. *Key Environment Series: Galapagos Islands*, 43-54.
16. Impactos Biológicos del derrame del Jessica en los ambientes de Galápagos (2001), *Publicación de la Fundación Charles Darwin para las Islas Galápagos*, 02-29.

17. Jackson M. H. (1993). Galapagos Natural History. University of Calgary Press.
18. Lucero M. y Cornejo-Rodriguez M. (1990). Evidencia de la corriente de Cromwell entre 92°00' y 84°00' observada en periodos normales y durante el Niño 82-83, *Acta Oceanográfica del Pacífico*, Vol. **6 #1**.
19. Lukas R. (1985). The termination of the Equatorial Undercurrente in the Eastern Pacific. Join Institute for Marine and Atmospheric Research, University of Hawaii, Honolulu HI 96822 U.S.A.
20. Neshiba, S. y T. Fonseca A. Corrientes Costeras. Manual de Medición y Análisis. Ediciones Universitarias de Valparaíso, 1981, pp. 132.
21. Oceanografía física de áreas ecológicamente sensibles a la contaminación marina en la costa Ecuatoriana (1991). *Presentado por Francisco Medina M.Sc.*
22. Okuda T. (1983) Variación estacional de la posición del frente ecuatorial y su efecto sobre la fertilidad de las aguas superficiales ecuatorianas. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, Vol. **2 #1**.

23. Pickard (1975). *Descriptive Physical Oceanography*.
24. Plan de Manejo del Parque Nacional Galápagos (2005). *Publicación del Parque Nacional Galápagos (PNG)*. Disponible en línea : <http://www.galapagospark.org/png/index.php>.
25. Principles of Oceanography (1978). Prepared by Richard A. Davis, Jr., pp. 93-111.
26. Snell et al. (1996). A summary of geographical characteristics of the Galápagos. *Journal of Biogeography* 23, No 5, pp. 619 – 624.
27. Strub P., Mesias J., Montecino V & J. Rutland (1998). Circulación inducida por el viento en Bahía de Antofagasta, norte de Chile (23°S). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 36, No 1, pp 43 – 60.
28. Sverdrup, Fleming H. R. y Johnson W. (1942). *The Oceans* Prentice Hall, Inc. New York.
29. Tye et al. (2002), Sobresalientes características terrestres del archipiélago de Galápagos. *Visión para la biodiversidad de las islas Galápagos*. Fundación Charles Darwin, pp. 12 – 23.

30. Tsuchiya M. (1972). Upper waters of the Intertropical Pacific Ocean, *John Oceanographic Studies #4*.
31. Von Arx W. (1967). An introduction to physical oceanography ed. Addison – Wesley Publishing Company. -16.
32. Wyrki K. (1996). Oceanography of the Eastern Equatorial Pacific Ocean, *Oceanography and Marine Biology: an annual review*, Vol. 4, pp. 33-68.