



Administración  
Portuaria Integral de  
Manzanillo, S.A. de C.V.



---

# ESTUDIO COMPLEMENTARIO CON EL ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE MODELACIÓN DE LA UNIÓN DE LA LAGUNA DE LAS GARZAS CON LA DÁRSENA DE SAN PEDRITO EN MANZANILLO, COLIMA

## Informe Final

ADMINISTRACIÓN PORTUARIA INTEGRAL S.A. DE C.V.  
CONVENIO **API-MAN-CON-06-10**

SUBCOORDINACIÓN DE HIDRÁULICA AMBIENTAL  
COORDINACION DE HIDRÁULICA  
CLAVE IMTA: HC-1018.3

Jefe de proyecto: Jorge Armando Laurel Castillo

Participantes:

Ariosto Aguilar Chávez  
Rubén A. Morales Pérez  
Héctor S. Vélez Muñoz  
José Guadalupe Vergara Urquiza

Agosto 2010



---

## Índice

1. Introducción .....	1
2. Base de datos .....	2
2.1 Mareas .....	2
2.2 Batimetría .....	2
3. Mediciones oceanográficas.....	5
3.1 Registros de temperatura .....	7
3.2 Registros de la variación del nivel de la superficie libre del agua.....	10
3.3 Mediciones de corrientes mediante perfiladores acústicos .....	11
a) Corrientes en la zona cercana a las Garzas.....	11
b) Corrientes en la zona del canal de acceso al puerto .....	13
3.4 Mediciones de corrientes mediante flotadores .....	16
3.5 Medición del campo de masa .....	22
4. Modelación numérica de la hidrodinámica .....	39
4.1 Mareas muertas.....	45
4.2 Mareas vivas .....	53
5. Modelación numérica de la salinidad .....	61
6. Conclusiones .....	66
Referencias .....	68
Anexo A Simulación de los efectos de los pilotes.....	69
Anexo B Perfiles de salinidad, temperatura y densidad .....	79



## Lista de Figuras

Figura 2.1 Batimetría cercana a Manzanillo, Colima. Modificado de GEBCO (2009) .....	3
Figura 2.2 Batimetría de las Bahías de Santiago y Manzanillo. Modificado de SEMAR (1992).....	4
Figura 2.3 Batimetría de proyecto. ....	4
Figura 3.1 Ubicación de los perfiladores acústicos (ADCP), sensores de presión (SP) y cadena de termistores (T). ....	6
Figura 3.2 Registro de variación de temperatura desde la superficie libre hasta cuatro metros de profundidad. Cadena de termistores T1. ....	7
Figura 3.3 Registro de variación de temperatura obtenidos mediante los sensores de presión SP1 y SP2. ....	8
Figura 3.4 Registro de variación de temperatura en la profundidad. Cadena de termistores T2. ....	8
Figura 3.5 Registro de variación de temperatura de fondo obtenidos mediante los ADCP. ....	9
Figura 3.6 Variación del nivel de la superficie libre del agua obtenida mediante SP1 y SP2.....	10
Figura 3.7 Variación del nivel de la superficie libre del agua obtenida mediante ADCP1 y ADCP2. ....	11
Figura 3.8 Velocidad y dirección de la corriente en ADCP1. ....	12
Figura 3.9 Velocidad y dirección de la corriente en las capas de superficie y fondo en ADCP1. ....	13
Figura 3.10 Velocidad y dirección de la corriente en ADCP2. ....	15
Figura 3.11 Velocidad y dirección de la corriente en las capas de superficie y fondo en ADCP2. ....	16
Figura 3.12 Experimento 1 de deriva de flotadores. 25/mayo/2010. ....	18
Figura 3.13 Experimento 2 de deriva de flotadores. 26/mayo/2010. ....	19
Figura 3.14 Experimento 3 de deriva de flotadores. 27/mayo/2010. ....	20
Figura 3.15 Experimento 4 de deriva de flotadores. 27/mayo/2010. ....	21
Figura 3.16 Ubicación temporal de las mediciones de CTD. ....	22
Figura 3.17 Estaciones de CTD realizadas el 25/mayo/2010 de las 10:05 a las 10:53 h. ....	24
Figura 3.18 Estaciones de CTD realizadas el 25/mayo/2010 de las 20:38 a las 21:15 h. ....	25
Figura 3.19 Estaciones de CTD realizadas el 27/mayo/2010 de las 03:51 a las 04:20 h. ....	25
Figura 3.20 Estaciones de CTD realizadas el 27/mayo/2010 de las 21:12 a las 21:47 h. ....	26
Figura 3.21 Estaciones de CTD realizadas el 27/mayo/2010 de las 22:52 a las 23:27 h. ....	26
Figura 3.22 Estaciones de CTD realizadas el 28/mayo/2010 de las 01:04 a las 01:33 h. ....	27
Figura 3.23 Estaciones de CTD realizadas el 28/mayo/2010 de las 09:03 a las 09:28 h. ....	27
Figura 3.24 Variación de temperatura, salinidad y densidad, partiendo de la estación 9 a la estación 1. ....	28
Figura 3.25 Variación de temperatura, salinidad y densidad, partiendo de la estación 17 a la estación 10. ...	29
Figura 3.26 Variación de temperatura, salinidad y densidad, partiendo de la estación 28 a la estación 20. ...	30



Figura 3.27 Variación de temperatura, salinidad y densidad, partiendo de la estación 36 a la estación 29...	31
Figura 3.28 Variación de temperatura, salinidad y densidad, partiendo de la estación 44 a la estación 37...	32
Figura 3.29 Variación de temperatura, salinidad y densidad, partiendo de la estación 52 a la estación 45...	33
Figura 3.30 Variación de temperatura, salinidad y densidad, partiendo de la estación 59 a la estación 53...	34
Figura 3.31 Perfiles de temperatura, salinidad y densidad para las estaciones 9, 17, 28, 36, 44, 52 y 59.....	35
Figura 3.32 Perfiles de temperatura, salinidad y densidad para las estaciones 7,8, 16, 26, 27, 35, 43, 51 y 58. .....	35
Figura 3.33 Perfiles de temperatura, salinidad y densidad para las estaciones 5,15, 25, 34, 42, 50 y 57.....	36
Figura 3.34 Perfiles de temperatura, salinidad y densidad para las estaciones 4,14, 24, 33, 41, 49 y 56.....	36
Figura 3.35 Perfiles de temperatura, salinidad y densidad para las estaciones 2,13, 23, 32, 40 y 48.....	37
Figura 3.36 Perfiles de temperatura, salinidad y densidad para las estaciones 1,12, 22, 31, 39, 47 y 55.....	37
Figura 3.37 Perfiles de temperatura, salinidad y densidad para las estaciones 11, 21, 30, 38, 46 y 54.....	38
Figura 3.38 Perfiles de temperatura, salinidad y densidad para las estaciones 10, 20, 29, 37, 45 y 53.....	38
Figura 4.1 Vista global de la discretización de dominio de cálculo.....	41
Figura 4.2 Detalle de la malla de las bahías.....	42
Figura 4.3 Detalle de la malla en el canal del puerto de Manzanillo.....	42
Figura 4.4 Detalle de la malla en la Laguna de las Garzas.....	43
Figura 4.5 Señal de marea simulada en la bocana del puerto (tiempo GMT).....	44
Figura 4.6 Comparación del nivel de la superficie libre del agua, medida y simulada (tiempo GMT).....	44
Figura 4.7 Comparación de la velocidad promediada en la vertical, medida y simulada (tiempo GMT).....	44
Figura 4.8 Elevación de la superficie libre en el puerto. 5 de mayo de 2010, 03:45 h (GMT).....	46
Figura 4.9 Campo de velocidades. 5 de mayo de 2010, 03:45 h (GMT).....	46
Figura 4.10 Elevación de la superficie libre en el puerto. 5 de mayo de 2010, 05:45 h (GMT).....	47
Figura 4.11 Campo de velocidades. 5 de mayo de 2010, 05:45 h (GMT).....	47
Figura 4.12 Elevación de la superficie libre en el puerto. 5 de mayo de 2010, 17:30 h (GMT).....	48
Figura 4.13 Campo de velocidades. 5 de mayo de 2010, 17:30 h (GMT).....	48
Figura 4.14 Elevación de la superficie libre en el puerto. 5 de mayo de 2010, 21:30 h (GMT).....	49
Figura 4.15 Campo de velocidades. 5 de mayo de 2010, 21:30 h (GMT).....	49
Figura 4.16 Elevación de la superficie libre en el puerto. 6 de mayo de 2010, 01:45 h (GMT).....	50
Figura 4.17 Campo de velocidades. 6 de mayo de 2010, 01:45 h (GMT).....	50
Figura 4.18 Elevación de la superficie libre en el puerto. 6 de mayo de 2010, 14:45 h (GMT).....	51
Figura 4.19 Campo de velocidades. 6 de mayo de 2010, 14:45 h (GMT).....	51
Figura 4.20 Elevación de la superficie libre en el puerto. 6 de mayo de 2010, 14:45 h (GMT).....	52
Figura 4.21 Campo de velocidades. 6 de mayo de 2010, 21:30 h (GMT).....	52



---

Figura 4.22 Elevación de la superficie libre en el puerto. 25 de mayo de 2010, 01:30 h (GMT).....	54
Figura 4.23 Campo de velocidades. 25 de mayo de 2010, 01:30 h (GMT).....	54
Figura 4.24 Elevación de la superficie libre en el puerto. 25 de mayo de 2010, 04:30 h (GMT).....	55
Figura 4.25 Campo de velocidades. 25 de mayo de 2010, 04:30 h (GMT).....	55
Figura 4.26 Elevación de la superficie libre en el puerto. 25 de mayo de 2010, 07:45 h (GMT).....	56
Figura 4.27 Campo de velocidades. 25 de mayo de 2010, 07:45 h (GMT).....	56
Figura 4.28 Elevación de la superficie libre en el puerto. 25 de mayo de 2010, 10:30 h (GMT).....	57
Figura 4.29 Campo de velocidades. 25 de mayo de 2010, 10:30 h (GMT).....	57
Figura 4.30 Elevación de la superficie libre en el puerto. 25 de mayo de 2010, 22:30 h (GMT).....	58
Figura 4.31 Campo de velocidades. 25 de mayo de 2010, 22:30 h (GMT).....	58
Figura 4.32 Elevación de la superficie libre en el puerto. 26 de mayo de 2010, 04:45 h (GMT).....	59
Figura 4.33 Campo de velocidades. 26 de mayo de 2010, 04:45 h (GMT).....	59
Figura 4.34 Elevación de la superficie libre en el puerto. 26 de mayo de 2010, 08:30 h (GMT).....	60
Figura 4.35 Campo de velocidades. 26 de mayo de 2010, 04:45 h (GMT).....	60
Figura 5.1 Vista en planta de la malla para la simulación de la salinidad.....	61
Figura 5.2 Concentración de salinidad en la superficie libre a 5 hr de simulación. ....	63
Figura 5.3 Concentración de salinidad en la superficie libre a 55 hr de simulación. ....	64
Figura 5.4 Concentración de salinidad en la superficie libre a 105 hr de simulación. ....	64
Figura 5.5 Concentración de salinidad en la superficie libre a 155 hr de simulación. ....	65
Figura 5.6 Concentración de salinidad en la superficie libre a 222 hr de simulación. ....	65
Figura A.1 Plano del cruce 1 .....	72
Figura A.2 Plano del cruce 2 .....	73
Figura A.3 Configuración geométrica del Cruce 1. ....	74
Figura A.4 Configuración geométrica del Cruce 2. ....	75
Figura A.6 Contornos de presiones Cruce 1.....	76
Figura A.7 Contornos de iso-velocidades Cruce 1.....	76
Figura A.8 Contornos de presiones Cruce 2.....	77
Figura A.9 Contornos de iso-velocidades Cruce 2.....	77
Figura A.10 Tiempo de residencia Cruce 1.....	78
Figura A.11 Tiempo de residencia Cruce 2.....	78
Figura B.1 Estación de CTD 1. 25/MAY/2010 16:05:44 h (GMT). ....	79
Figura B.2 Estación de CTD 2 25/MAY/2010 16:11:25 hr (GMT). ....	79
Figura B.3 Estación de CTD 3 25/MAY/2010 16:17:45 h (GMT). ....	79
Figura B.4 Estación de CTD 4. 25/MAY/2010 16:22:42 h (GMT). ....	80

---

Figura B.5 Estación de CTD 5. 25/MAY/2010 16:29:44 h (GMT).	80
Figura B.6 Estación de CTD 6. 25/MAY/2010 16:34:23 h (GMT).	80
Figura B.7 Estación de CTD 7. 25/MAY/2010 16:39:18 h (GMT).	81
Figura B.8 Estación de CTD 8. 25/MAY/2010 16:48:54 h (GMT).	81
Figura B.9 Estación de CTD 9. 25/MAY/2010 16:53:13 h (GMT).	81
Figura B.11 Estación de CTD 11. 26/MAY/2010 02:43:25 h (GMT).	82
Figura B.12 Estación de CTD 12. 26/MAY/2010 02:49:04 h (GMT).	82
Figura B.13 Estación de CTD 13. 26/MAY/2010 02:55:01 h (GMT).	83
Figura B.14 Estación de CTD 14. 26/MAY/2010 02:59:43 h (GMT).	83
Figura B.15 Estación de CTD 15. 26/MAY/2010 03:05:08 h (GMT).	83
Figura B.17 Estación de CTD. 17 26/MAY/2010 03:15:06 h (GMT).	84
Figura B.18 Estación de CTD 18. 26/MAY/2010 04:28:22 h (GMT).	84
Figura B.19 Estación de CTD 19. 26/MAY/2010 05:16:44 h (GMT).	85
Figura B.20 Estación de CTD 20. 27/MAY/2010 09:51:20 h (GMT).	85
Figura B.22 Estación de CTD 22. 27/MAY/2010 09:58:33 h (GMT).	86
Figura B.23 Estación de CTD 23. 27/MAY/2010 10:02:20 h (GMT).	86
Figura B.24 Estación de CTD 24. 27/MAY/2010 10:05:49 h (GMT).	86
Figura B.25 Estación de CTD 25. 27/MAY/2010 10:10:47 h (GMT).	87
Figura B.26 Estación de CTD 26. 27/MAY/2010 10:13:57 h (GMT).	87
Figura B.27 Estación de CTD 27. 27/MAY/2010 10:16:28 h (GMT).	87
Figura B.28 Estación de CTD 28. 27/MAY/2010 10:20:00 h (GMT).	88
Figura B.29 Estación de CTD 29. 28/MAY/2010 03:12:46 h (GMT).	88
Figura B.30 Estación de CTD 30. 28/MAY/2010 03:17:10 h (GMT).	88
Figura B.31 Estación de CTD 31. 28/MAY/2010 03:21:31 h (GMT).	89
Figura B.32 Estación de CTD 32. 28/MAY/2010 03:26:51 h (GMT).	89
Figura B.33 Estación de CTD 33. 28/MAY/2010 03:31:58 h (GMT).	89
Figura B.34 Estación de CTD 34. 28/MAY/2010 03:37:53 h (GMT).	90
Figura B.35 Estación de CTD 35. 28/MAY/2010 03:42:37 h (GMT).	90
Figura B.36 Estación de CTD 36. 28/MAY/2010 03:47:16 h (GMT).	90
Figura B.37 Estación de CTD 37. 28/MAY/2010 04:52:34 h (GMT).	91
Figura B.38 Estación de CTD 38. 28/MAY/2010 04:57:05 h (GMT).	91
Figura B.39 Estación de CTD 39. 28/MAY/2010 05:01:21 h (GMT).	91
Figura B.40 Estación de CTD 40. 28/MAY/2010 05:05:58 h (GMT).	92
Figura B.41 Estación de CTD 41. 28/MAY/2010 05:09:44 h (GMT).	92



---

Figura B.42 Estación de CTD 42. 28/MAY/2010 05:17:37 h (GMT).....	92
Figura B.43 Estación de CTD 43. 28/MAY/2010 05:22:06 h (GMT).....	93
Figura B.44 Estación de CTD 44. 28/MAY/2010 05:27:13 h (GMT).....	93
Figura B.45 Estación de CTD 45. 28/MAY/2010 07:04:57 h (GMT).....	93
Figura B.46 Estación de CTD 46. 28/MAY/2010 07:08:49 h (GMT).....	94
Figura B.47 Estación de CTD 47. 28/MAY/2010 07:13:06 h (GMT).....	94
Figura B.48 Estación de CTD 48. 28/MAY/2010 07:17:15 h (GMT).....	94
Figura B.49 Estación de CTD 49. 28/MAY/2010 07:21:27 h (GMT).....	95
Figura B.50 Estación de CTD 50. 28/MAY/2010 07:25:14 h (GMT).....	95
Figura B.51 Estación de CTD 51. 28/MAY/2010 07:29:08 h (GMT).....	95
Figura B.52 Estación de CTD 52 28/MAY/2010 07:33:25 h (GMT).....	96
Figura B.53 Estación de CTD 53. 28/MAY/2010 09:03:58 h (GMT).....	96
Figura B.54 Estación de CTD 54. 28/MAY/2010 09:08:11 h (GMT).....	96
Figura B.55 Estación de CTD 55. 28/MAY/2010 09:12:37 h (GMT).....	97
Figura B.56 Estación de CTD 56. 28/MAY/2010 09:18:03 h (GMT).....	97
Figura B.57 Estación de CTD 57 28/MAY/2010 09:23:57 h (GMT).....	97
Figura B.58 Estación de CTD 58. 28/MAY/2010 09:28:44 h (GMT).....	98
Figura B.59 Estación de CTD 59. 28/MAY/2010 09:28:44 h (GMT).....	98



---

## 1. Introducción

La configuración geométrica del puerto de Manzanillo ha sido modificada de acuerdo con su plan maestro. Previo a su modificación, se han realizado diversos estudios por diferentes compañías y dependencias con el fin de determinar su viabilidad técnica y ambiental. El fin de este estudio es analizar una variante al proyecto de la laguna de las Garzas.

Debido a la nueva configuración, se desea conocer las condiciones hidrodinámicas que prevalecerán en el puerto, así como también el tiempo de residencia en la laguna de las Garzas para su nueva condición de proyecto.

Para llevar a cabo este estudio, primeramente se consultaron las bases de datos utilizadas en un estudio anterior, como batimetrías, mediciones de corrientes, nivel del mar, salinidad y temperatura.

La información batimétrica fue complementada con una batimetría realizada por la API Manzanillo después del dragado y modificación de la configuración de puerto. Posteriormente se realizó una campaña de mediciones, en la que se obtuvieron bases de datos de velocidades, temperatura, salinidad y variación del nivel del mar.

Una vez analizada la información se realizaron diversas modelaciones numéricas de la hidrodinámica en las nuevas condiciones de proyecto. Primeramente, se analizó la influencia de los pilotes de los puentes que servirán para cruzar el canal de comunicación entre la Laguna de las Garzas y la Dársena de San Pedrito (Anexo A1). Posteriormente, se estableció la hidrodinámica del puerto inducida por la marea, en la cual se utilizó un dominio de cálculo con un radio de 135 km con centro en la boca de entrada de las Bahías de Manzanillo y Santiago. Finalmente, se realizó una simulación de la hidrodinámica y de

salinidad en el interior de la Laguna de las Garzas, con lo que se estableció el tiempo de residencia de la misma.

## 2. Base de datos

### 2.1 Mareas

Para la simulación hidrodinámica se consideraron siete componentes armónicas de la marea (Tabla 2.1). Los valores de amplitudes y fase de cada componente a lo largo de la frontera del dominio de cálculo, se obtuvieron de la base de datos de marea de Leprovost *et al.* (1994). Donde T es el periodo (h) y C (m) y  $\alpha$  son coeficientes de la marea de equilibrio.

Componente		T (h)	C (m)	$\alpha$
K1	Luni solar	23.934470	0.141565	0.736
O1	Lunar principal	25.819342	0.100514	0.695
Q1	Elíptico lunar	26.868357	0.019256	0.695
M2	Lunar principal	12.420601	0.242334	0.693
S2	Solar principal	12.000000	0.112841	0.693
N2	Elíptico lunar	12.658348	0.046398	0.693
K2	Luni solar	11.967235	0.030704	0.693

Tabla 2.1 Componentes armónicas utilizadas en la simulación.

### 2.2 Batimetría

Para implementar el modelo de circulación del puerto de Manzanillo, se usaron tres bases de datos batimétricas. La primera fue GEBCO (*General bathymetric chart of the oceans*), que cubre todo el globo terrestre con una resolución de 30 segundos de grado en latitud y longitud. De esta base de datos se extrajo un dominio aproximado de 370 x 450 km (figura 2.1). La segunda base de datos utilizada fue el portulano número 21342A de la Secretaría de Marina, de la cual se obtuvo la batimetría de las bahías de Manzanillo y Santiago.

Finalmente, se hizo uso de una batimetría reciente proporcionada por la Administración Portuaria Integral (API) de Manzanillo, producto de mediciones realizadas en el interior del puerto, la cual fue complementada con la información de la batimetría de proyecto de la Laguna de las Garzas (Figura 2.3).

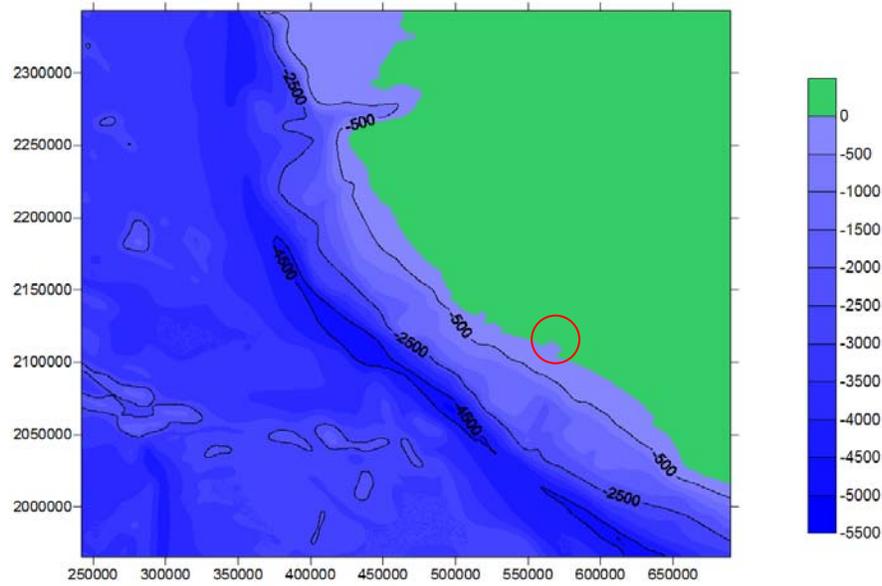


Figura 2.1 Batimetría cercana a Manzanillo, Colima. Modificado de GEBCO (2009)

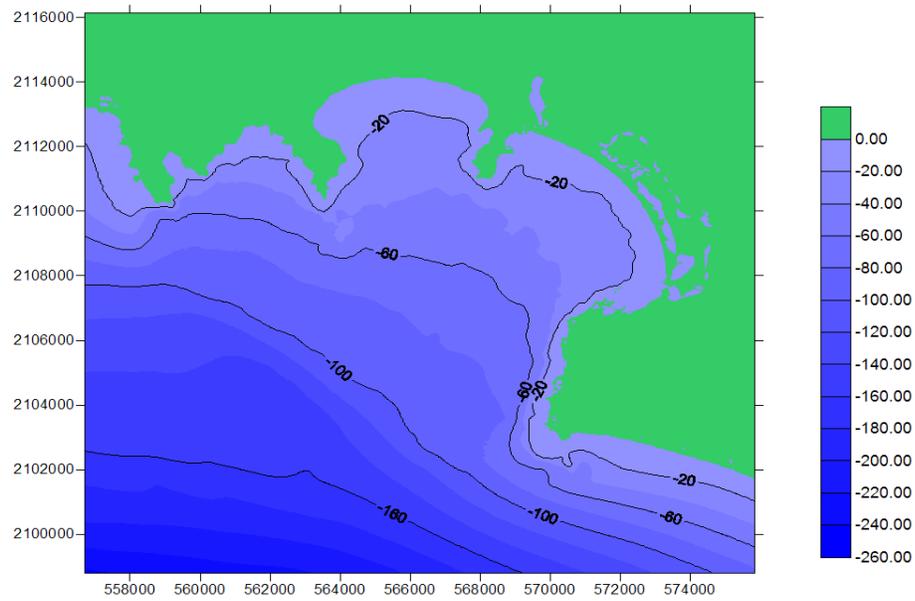


Figura 2.2 Batimetría de las Bahías de Santiago y Manzanillo. Modificado de SEMAR (1992)

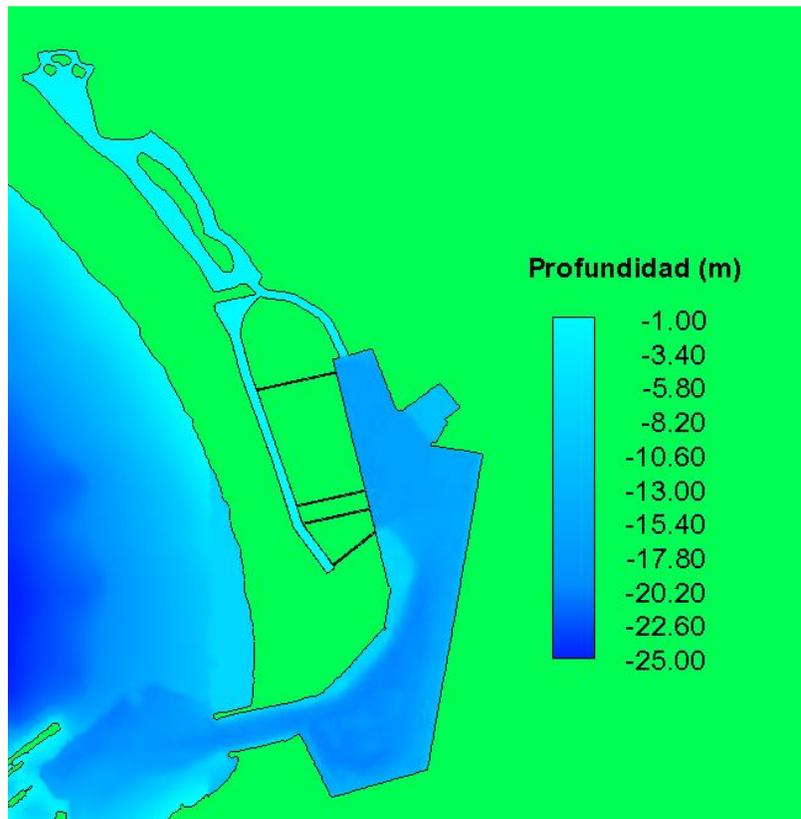


Figura 2.3 Batimetría de proyecto.



---

### 3. Mediciones oceanográficas

Con la finalidad de establecer la dinámica del Puerto de Manzanillo, del 24 al 29 de mayo de 2010 se llevaron a cabo una serie de mediciones de corrientes, temperatura, salinidad y nivel del mar en el interior del puerto. Por otra parte, se cuenta con registros de temperatura y variación del nivel del mar en el interior del puerto desde el 4 de mayo de 2010, día en que se colocaron sensores de temperatura a diferentes profundidades (T en la figura 3.1), así como también dos sensores de presión (SP1 y SP2 en la figura 3.1), uno en las cercanías del canal de comunicación entre la Laguna de las Garzas y la Dársena de San Pedrito, y otro al final del dren ecológico existente.

Para medir la variación de nivel de mar, temperatura de la masa de agua en el fondo, y la distribución de velocidades en la vertical, se hizo uso de dos perfiladores acústicos marcas RDI y Sontek (ADCP1 y ADCP2, respectivamente), cuya posición se muestra en la figura 3.1. También se realizaron mediciones de velocidades mediante el uso de flotadores. Los resultados obtenidos se muestran más adelante en el inciso 3.4.

Finalmente, se realizaron mediciones de perfiles de temperatura y salinidad en diferentes puntos del puerto en distintas condiciones de marea (CTD), la posición espacial de dichas mediciones, así como su ubicación con respecto a la marea, se muestran en el inciso 3.5.

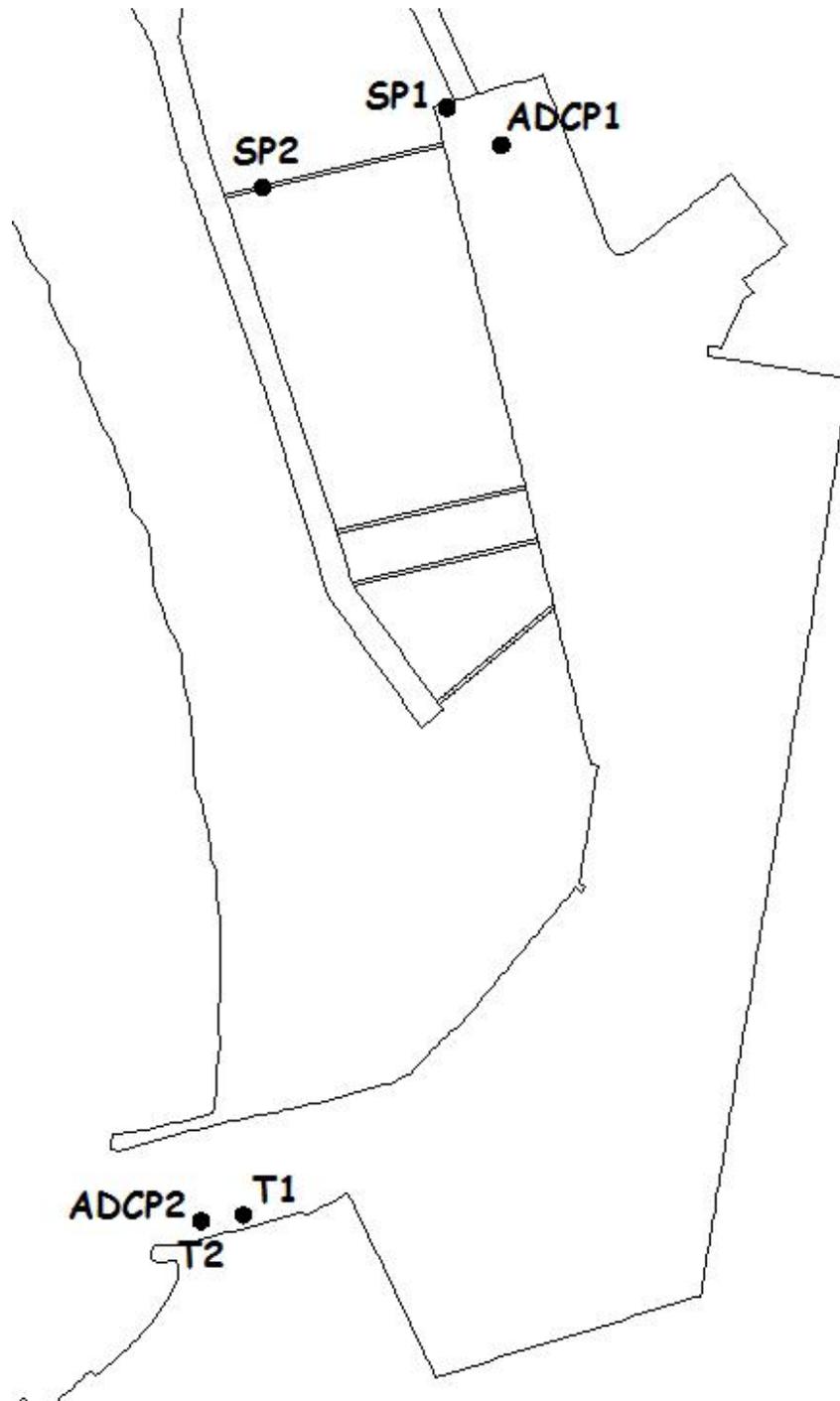


Figura 3.1 Ubicación de los perfiladores acústicos (ADCP), sensores de presión (SP) y cadena de termistores (T).

### 3.1 Registros de temperatura

En la Figura 3.2 se muestra la variación de la temperatura del agua desde la superficie libre, hasta casi los cuatro metros de profundidad, obtenida mediante una cadena de termistores (T1 en la Figura 3.1). De acuerdo con el registro, se observa un incremento de casi 6 grados en la temperatura del agua durante un periodo aproximado de 21 días. Este incremento de temperatura se debe al intercambio de masa debido a la debilitación de la Corriente de California y la influencia de la Corriente de Costa Rica (Kessler, 2006). En la Figura 3.3 puede observarse que el registro temperaturas obtenido en el dren ecológico (SP2), presenta variaciones altamente influenciadas por la radiación solar y la temperatura ambiente, en contraste con el registro obtenido cerca del canal de comunicación (SP2), el cual muestra también una línea de tendencia de incremento de temperatura, la cual tiene menor pendiente que la obtenida en el canal de acceso al puerto.

En la Figura 3.4 se muestra la variación de la temperatura a lo largo de la profundidad en el canal de acceso, obtenida mediante una cadena de termistores (T2 en la Figura 3.1) durante un periodo de 5 días. Pueden observarse variaciones máximas de hasta 4 °C entre el termistor a 2.5 m del fondo contra el colocado cerca de la superficie.

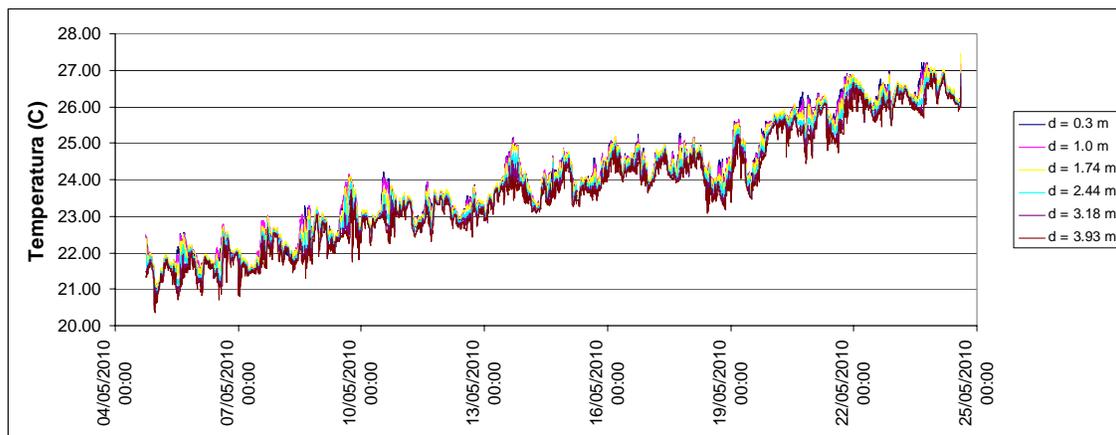


Figura 3.2 Registro de variación de temperatura desde la superficie libre hasta cuatro metros de profundidad. Cadena de termistores T1.

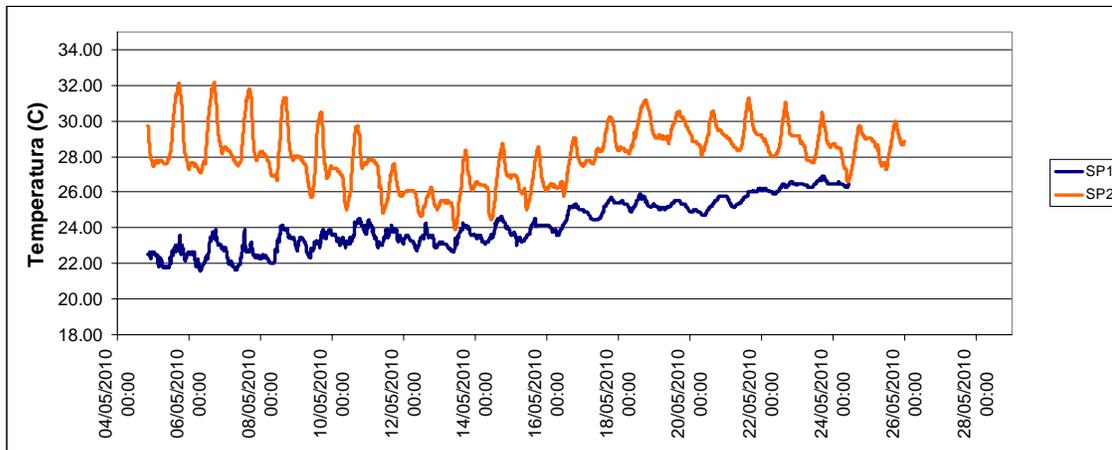


Figura 3.3 Registro de variación de temperatura obtenidos mediante los sensores de presión SP1 y SP2.

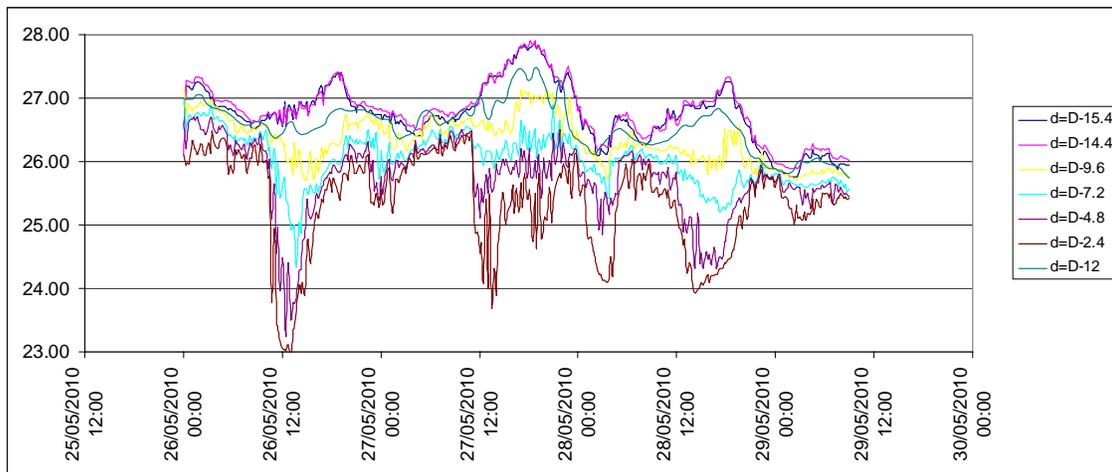


Figura 3.4 Registro de variación de temperatura en la profundidad. Cadena de termistores T2.

Por otra parte, de acuerdo con los registros de temperatura de fondo obtenidos mediante los ADCP, en la zona del canal se presentaron variaciones de temperatura, relacionadas con el recambio de agua inducido por la marea de hasta 1 °C (ADCP2), mientras que cerca del canal de comunicación (ADCP1) la variación máxima fue de 4 °C (Figura 3.6).

Para este periodo de mediciones, al contrario del año pasado (Morales *et al*, 2009), el agua fría provenía del mar, tal que las mínimas temperaturas se alcanzaban con marea alta y las máximas con marea baja.

También resalta que, pese a una condición de marea similar, los rangos de variación de la temperatura, reportados del 24 al medio día del 27 de mayo, fueron mayores a los observados durante los días restantes. Esto debe reflejar que durante los primeros días el agua fría que ingresaba contrastaba más con el agua del interior, pero después de algunos ciclos de marea la masa de agua se fue homogenizando.

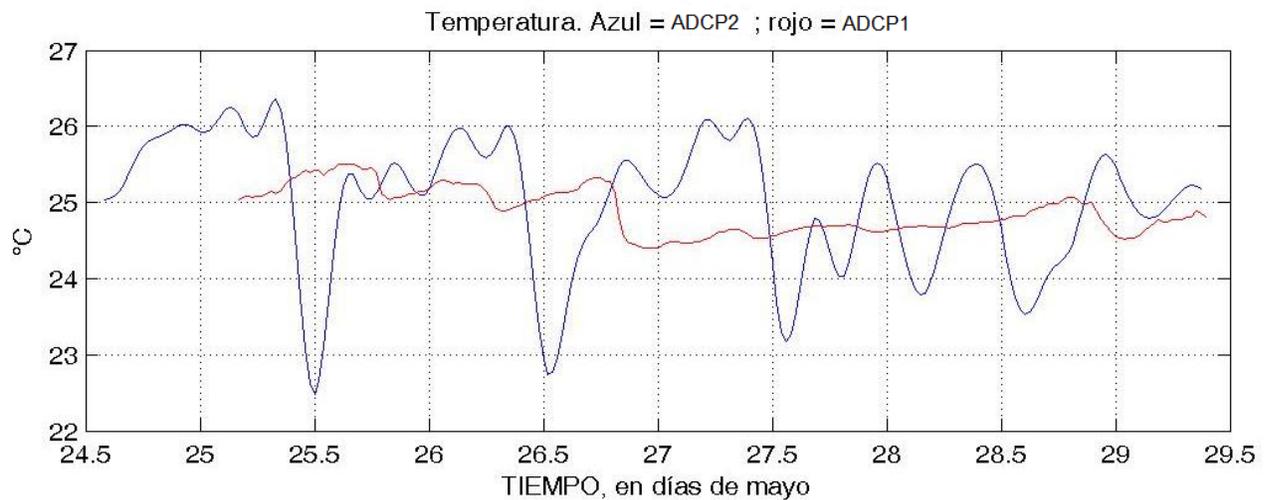


Figura 3.5 Registro de variación de temperatura de fondo obtenidos mediante los ADCP.

Por otra parte, la llegada del agua fría al sitio de anclaje del RDI ocurrió con la fase de marea alta del día 26 (por la tarde-noche). A partir de ese día, la temperatura del agua en la zona fue consistentemente alrededor de 0.8 °C más fría que durante los días previos.

### 3.2 Registros de la variación del nivel de la superficie libre del agua

De acuerdo con el registro obtenido durante los 20 días de medición (SP1 y SP2), puede observarse que la amplitud de la marea alcanza valores mayores a los 50 cm (Figura 3.6). Por otra parte, aunque el dren ecológico no se encuentra totalmente en comunicación con la dársena de San Pedrito, se observa claramente que la amplitud de la marea alcanza valores hasta de 30 cm, por lo que se espera que cuando esté totalmente comunicado, la amplitud de la marea sea muy similar a la registrada en el interior de la dársena.

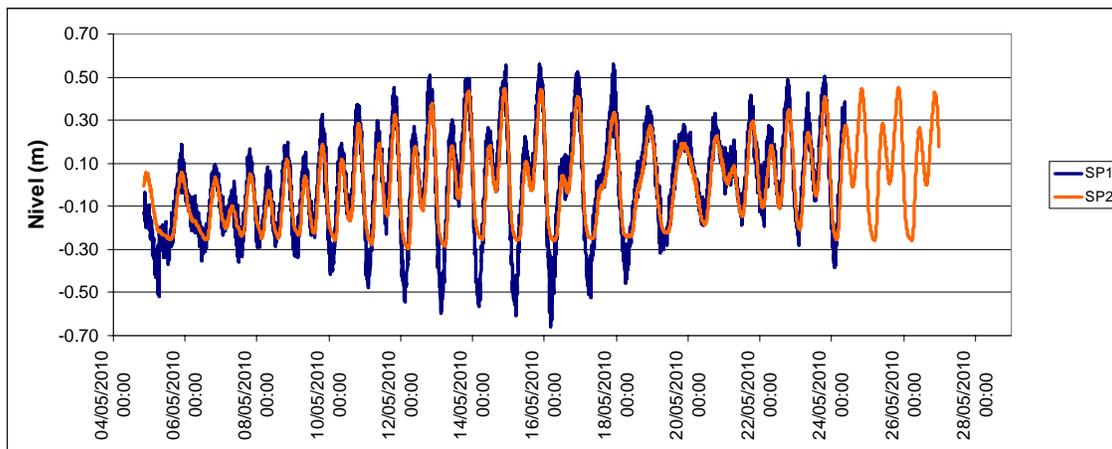


Figura 3.6 Variación del nivel de la superficie libre del agua obtenida mediante SP1 y SP2.

De acuerdo con el registro de la variación del nivel del mar obtenido mediante los ADCP, puede observarse que no existe amortiguamiento ni desfase de la marea a lo largo del puerto, y que para el periodo de mediciones el rango de la marea fue de aproximadamente un metro (Figura 3.7).

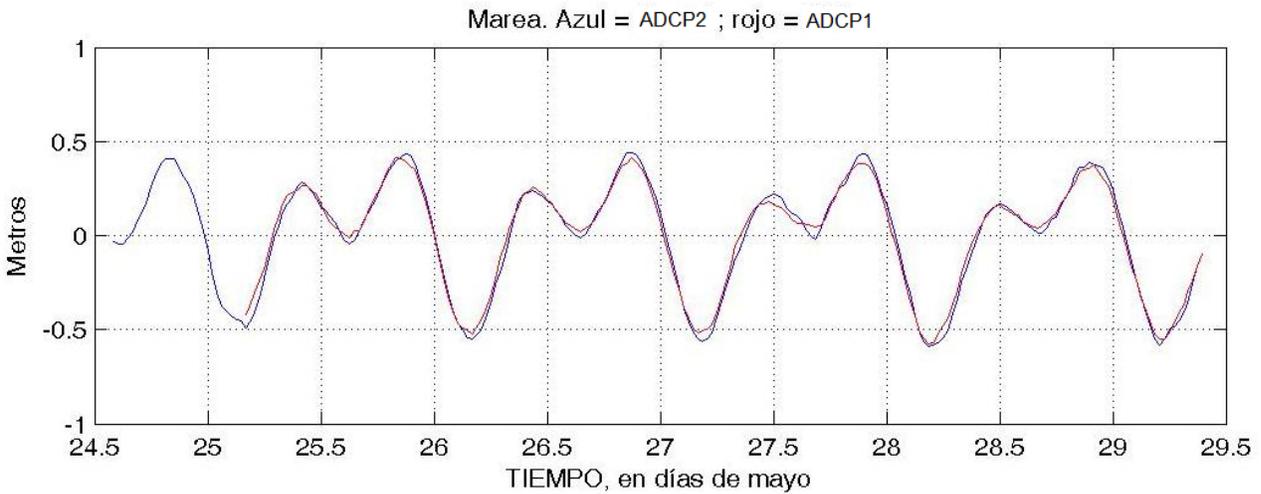


Figura 3.7 Variación del nivel de la superficie libre del agua obtenida mediante ADCP1 y ADCP2.

### 3.3 Mediciones de corrientes mediante perfiladores acústicos

#### a) Corrientes en la zona cercana a las Garzas

Se obtuvieron registros a partir del día 24, pero aparentemente en la madrugada del día 25 pudo haber habido movimientos de barcos en la zona, o cardúmenes de peces, pues no se puede rescatar la información de las primeras capas por mala calidad de datos. Por tanto, se considera únicamente la información a partir de las 04 horas del día 25. Aún así, los datos al inicio de la serie muestran velocidades mucho mayores que durante el resto del período.

Las series de tiempo indican la predominancia de flujos sumamente débiles, en promedio de unos 4 cm/s, lo cual no permite establecer ningún otro análisis, pues tanto el dato de magnitud como el de dirección resultan inciertos, considerando que la desviación estándar de las mediciones es de 1 cm/s. Por tanto, la única condición segura es que dicha área presenta baja circulación.

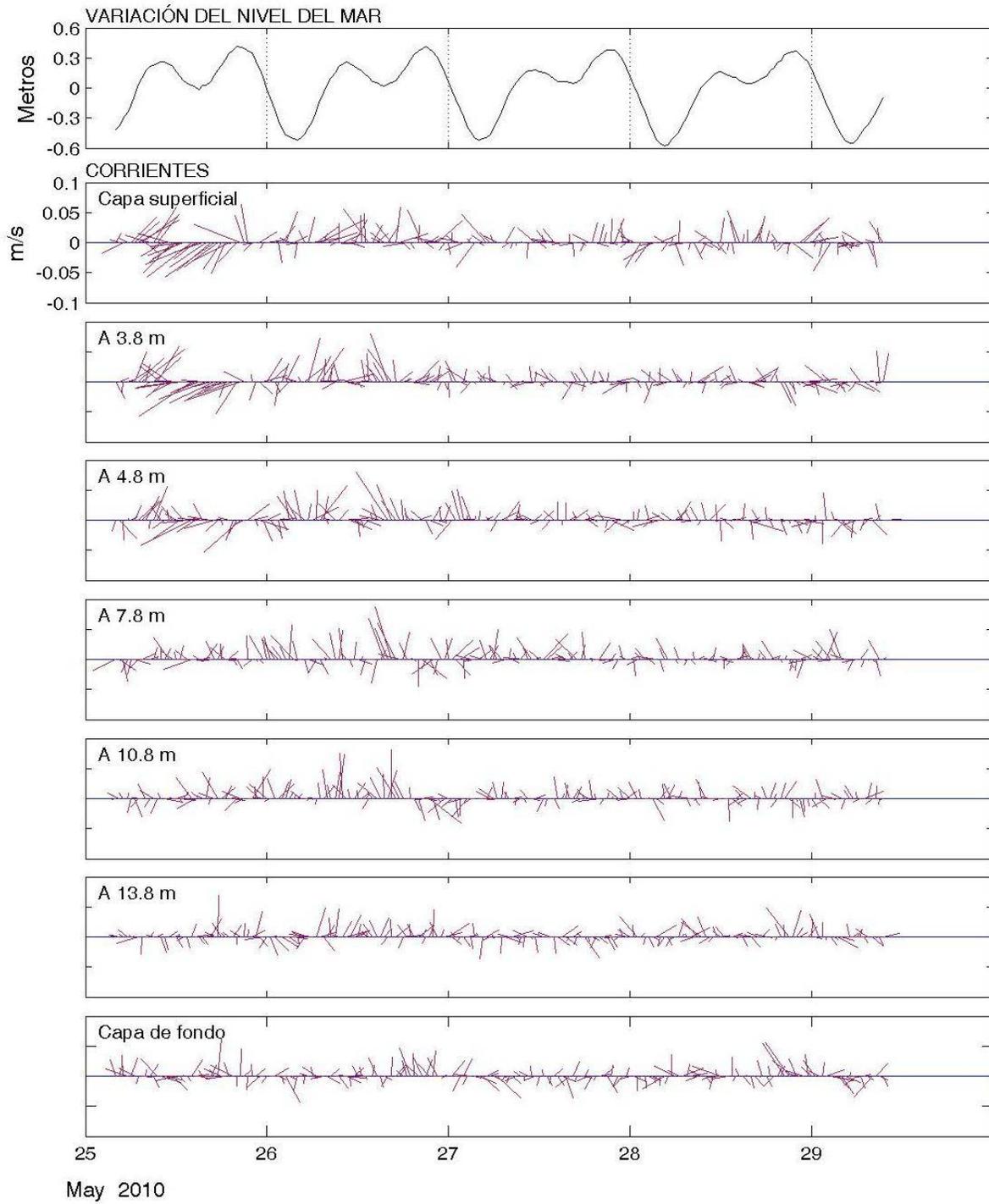


Figura 3.8 Velocidad y dirección de la corriente en ADCP1.

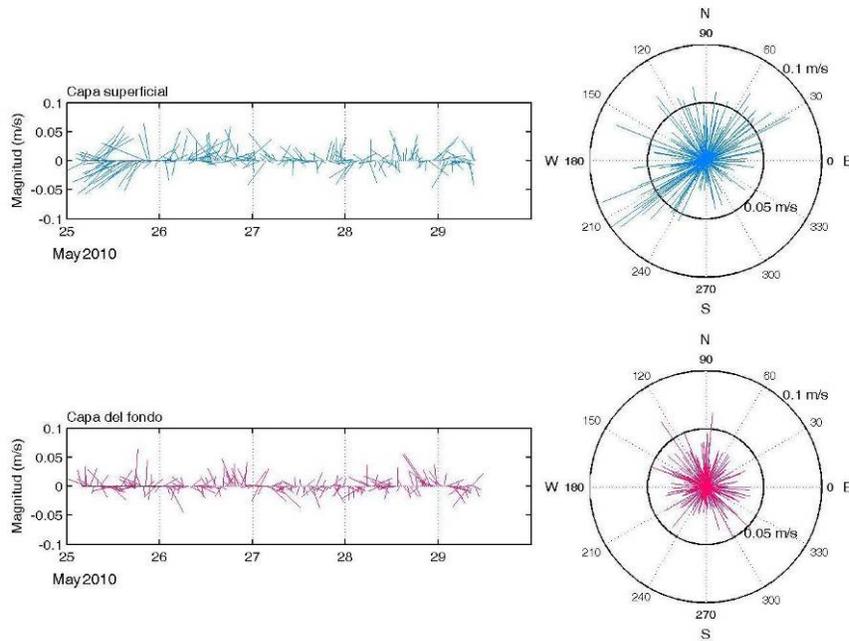


Figura 3.9 Velocidad y dirección de la corriente en las capas de superficie y fondo en ADCP1.

### **b) Corrientes en la zona del canal de acceso al puerto**

Se realizaron dos tipos de medición. Por una parte, se instaló un perfilador acústico en la vecindad de la boya número 6 para obtener registros a intervalos de 30 minutos, de la velocidad y dirección de la corriente a diferentes profundidades. Complementariamente, se realizaron algunos experimentos de deriva de flotadores.

El equipo de medición se ancló en un sitio cercano a la escollera sur del canal de acceso al puerto, y aproximadamente a la mitad de la misma.

Los registros muestran el desarrollo de un patrón de flujo baroclínico, presentándose sistemáticamente flujos en dirección contraria entre las capas superficiales y las de fondo.



---

Las velocidades máximas fueron del orden de 0.5 m/s, en la superficie, y de 0.3 m/s en el fondo.

Otro rasgo a destacar es la orientación de la corriente, cuya dirección preferencial, considerando el sistema de referencia trigonométrico, fue de  $60^\circ$ . En este sentido, dado que el canal está orientado aproximadamente a  $30^\circ$ , la dirección de la corriente fue de  $30^\circ$  respecto al mismo. Por otra parte, resalta también que en el área del anclaje predominantemente ocurre la entrada del agua del mar, y no así la salida del agua del puerto.

El comportamiento arriba descrito debe responder tanto a la ubicación del canal, respecto de la bahía, como de una asimetría temporal, tanto vertical, como horizontal, que debió presentar el campo de densidad.

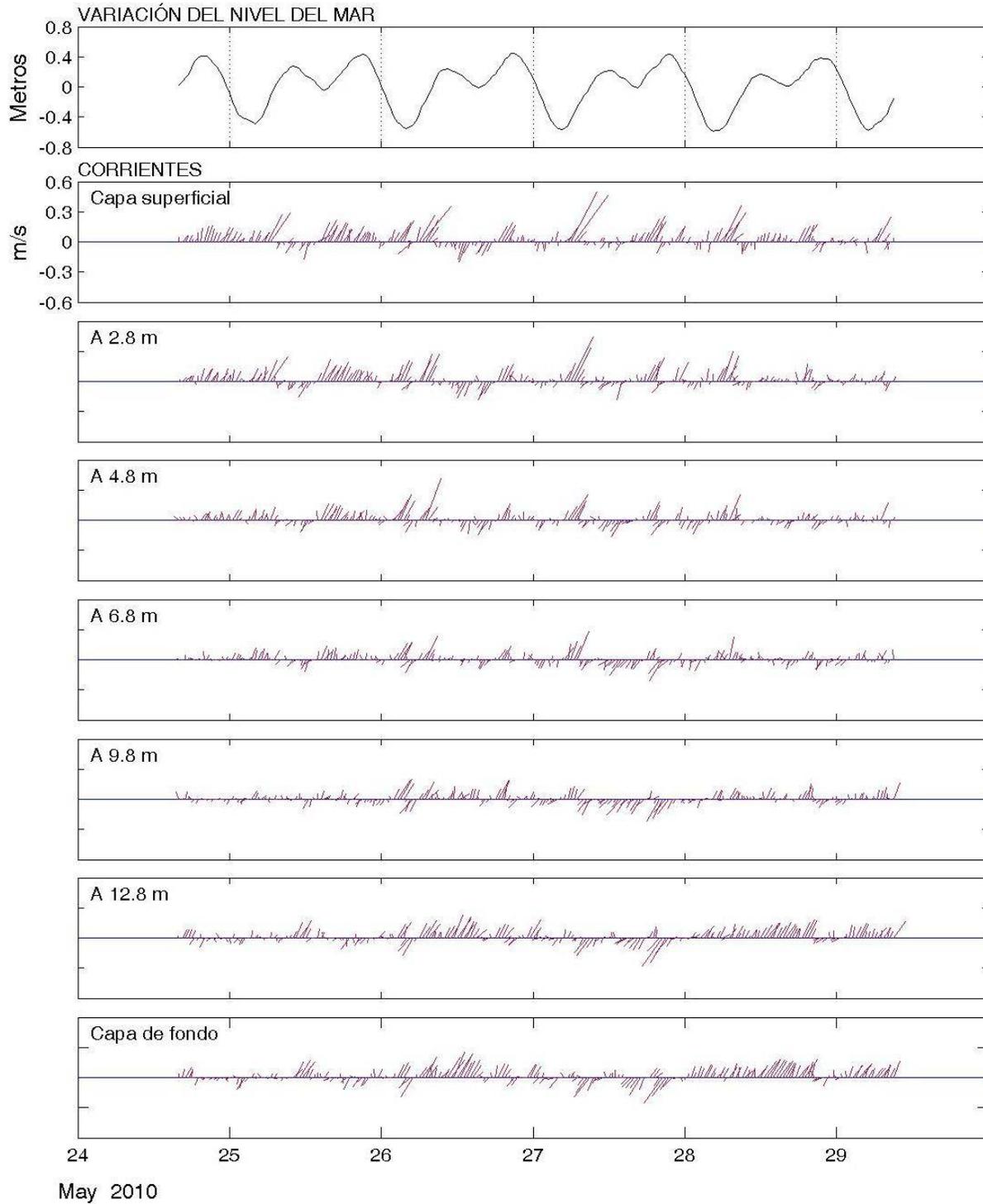


Figura 3.10 Velocidad y dirección de la corriente en ADCP2.

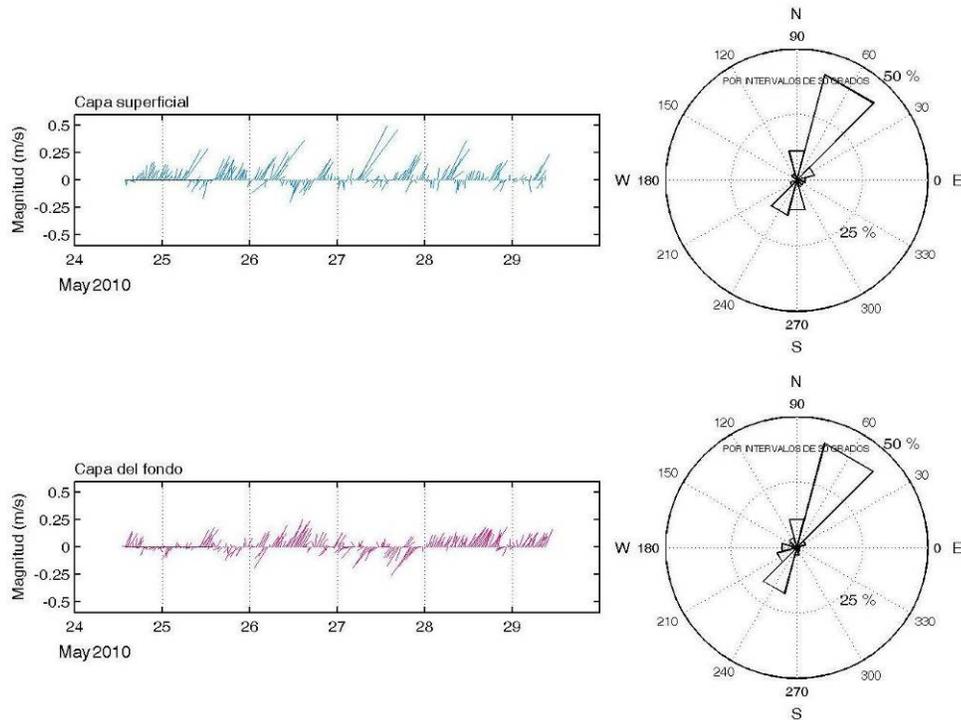


Figura 3.11 Velocidad y dirección de la corriente en las capas de superficie y fondo en ADCP2.

### 3.4 Mediciones de corrientes mediante flotadores

De forma simultánea a los registros de los perfiladores y de las propiedades del campo de masa, se realizaron experimentos de deriva empleando 2 flotadores de superficie y uno de profundidad (a 10 m). Los experimentos debieron ser de corta duración debido a la constante entrada y salida de barcos, y al uso de la lancha en otras actividades de muestro. Los resultados de estos muestreos se describen a continuación:



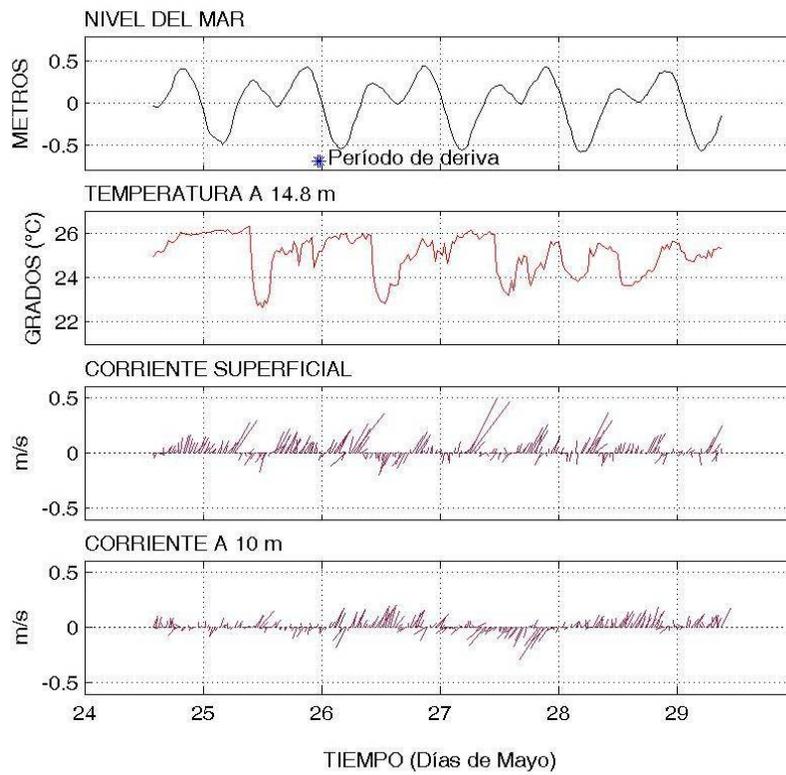
---

**Experimentos No. 1 y 2. Fase de marea de *Alta* a *Baja*. Fecha: medianoche del 25 de mayo.**

En contraste a la condición esperada de una salida generalizada del agua, la deriva de flotadores, y los registros del perfilador, muestran la ocurrencia de corrientes transversales al canal, posiblemente inducidas por corrientes de salida diferenciales. Esto es, que la salida haya ocurrida preferentemente a lo largo de la escollera norte, y lo observado sea resultado de una circulación local inducida por tal condición. La trayectorias de los flotadores del experimento uno puede observarse en la Figura 3.12, mientras que las correspondientes al experimento dos se muestran en la Figura 3.13.

**Experimentos No. 3 y 4. Fase de marea de *Baja* a *Alta*. Fecha: madrugada del 27 de mayo.**

Estos experimentos muestran la notable variabilidad espacial que puede presentar el sistema de corrientes en el canal. Así, tanto la geometría como las propiedades del campo de masa, originan secciones de corrientes rápidas y de corrientes lentas, presentándose de forma simultánea bajo una misma condición de marea. La Figura 3.14, correspondiente al experimento núm. 3, muestra una condición en la que se desarrolla una corriente importante paralela a la orientación del canal. Por el contrario, para una condición de marea casi similar, puede observarse un estado de calma tanto para la boya de superficie como la de 10 metros de profundidad, correspondientes al experimento Núm. 4 (Figura 3.15).



DERIVA DE FLOTADORES. Velocidad máxima de deriva = 0.06 m/s

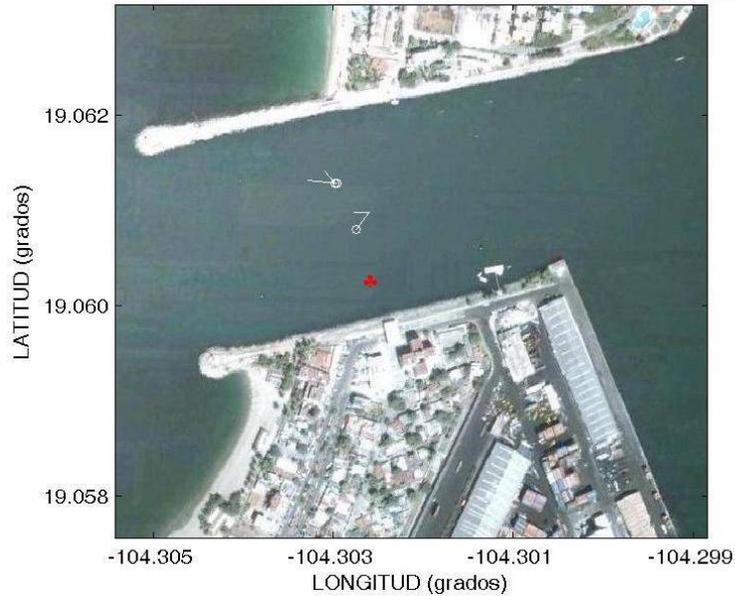


Figura 3.12 Experimento 1 de deriva de flotadores. 25/mayo/2010.

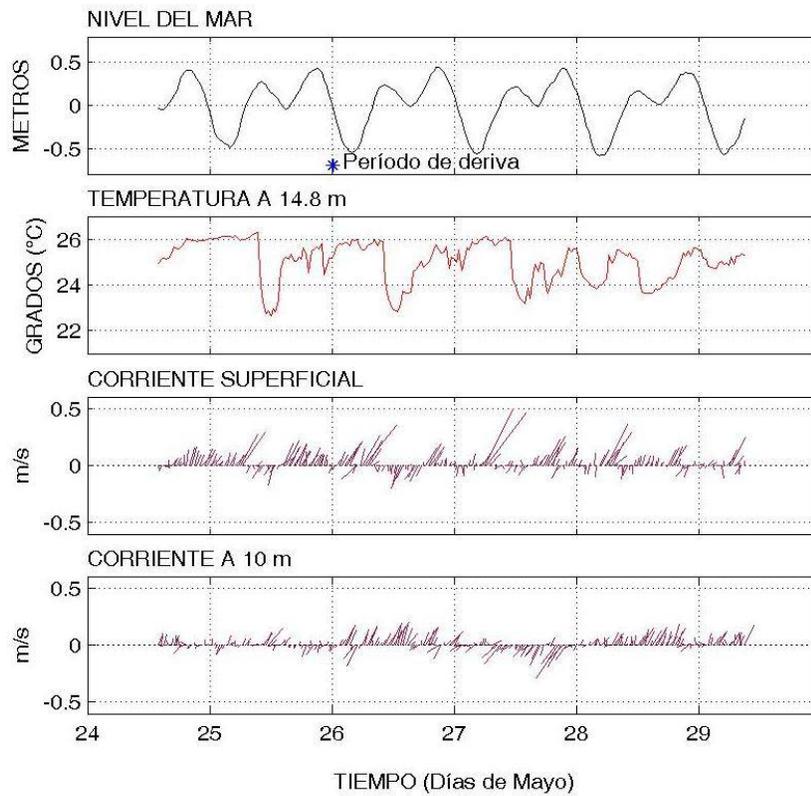


Figura 3.13 Experimento 2 de deriva de flotadores. 26/mayo/2010.

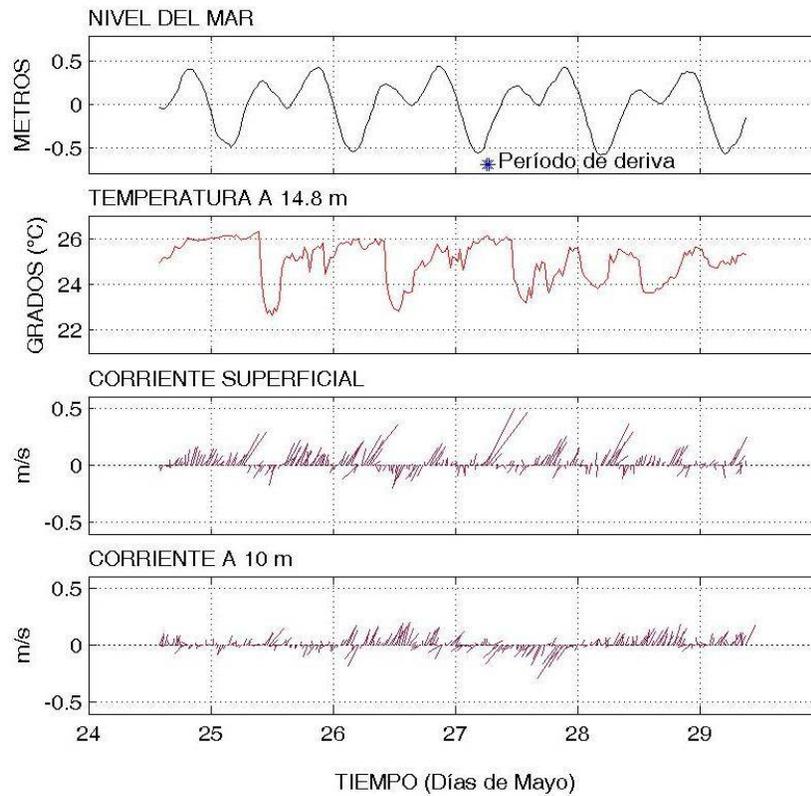


Figura 3.14 Experimento 3 de deriva de flotadores. 27/mayo/2010.

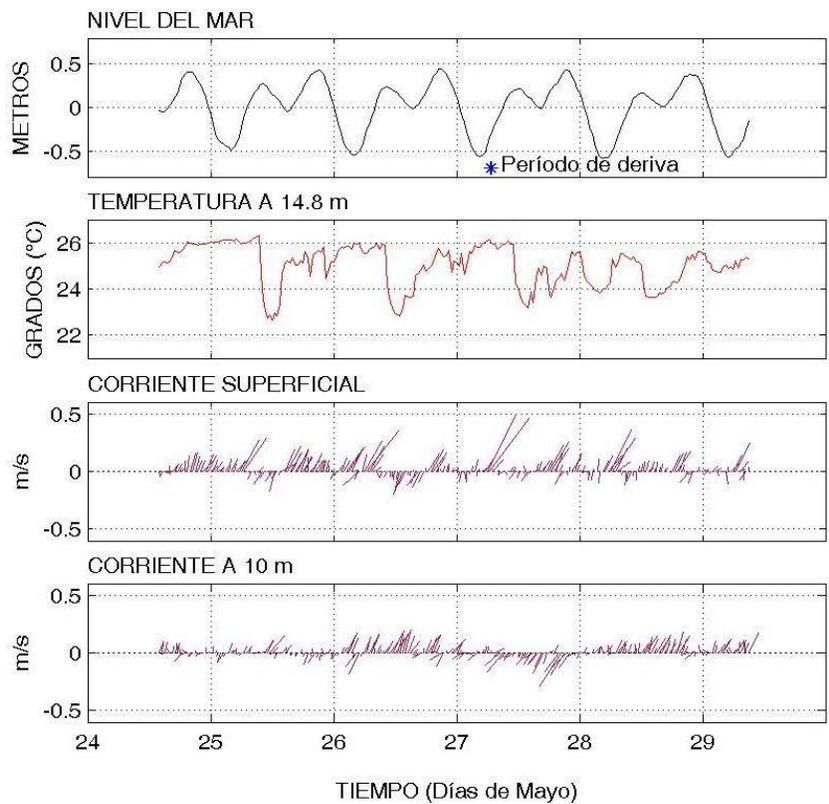


Figura 3.15 Experimento 4 de deriva de flotadores. 27/mayo/2010.

### 3.5 Medición del campo de masa

Para conocer las características de la masa de agua en el interior de la dársena, se realizaron mediciones de perfiles de salinidad y temperatura bajo diferentes condiciones de marea en diferentes zonas de la dársena. En la Figura 3.16 se muestran los periodos de medición de las diferentes estaciones de CTD, y la localización de dichas estaciones se muestran de la Figura 3.17 a la Figura 3.23. La variación espacial y temporal de salinidad, temperatura y densidad calculada se muestran de la Figura 3.24 a la Figura 3.38.

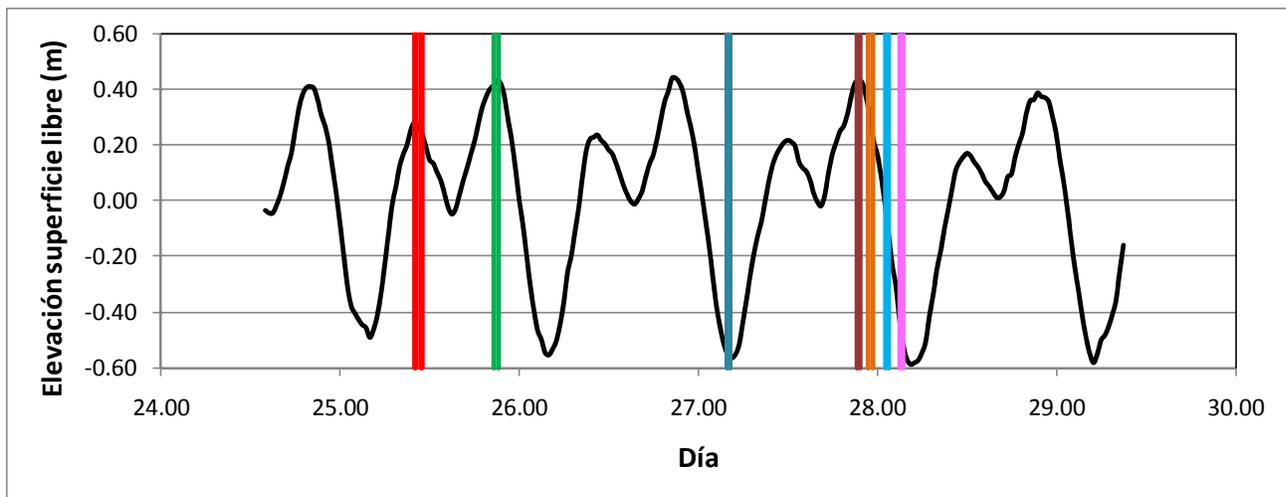


Figura 3.16 Ubicación temporal de las mediciones de CTD.

La información indica que la mayor variabilidad de temperatura y densidad ocurrió en las capas de fondo, mientras que la de salinidad en las capas superficiales. La evolución del campo de masa muestra, sin embargo, la ocurrencia en cada región de rasgos particulares que deben ser analizados con mayor detalle.

El primer muestreo se realizó el día 25, cuando la variación del nivel del mar progresaba hacia bajamar. En este tiempo, las características dominantes de las masas de agua de las regiones extremas del puerto, *i.e.*, la entrada (estación 9) y la región cercana a las



---

Garzas (estación 10), revelan la presencia de dos masas de agua con propiedades distintas, presentándose el agua fría, más salina, y por tanto más densa, en las capas profundas en la región de entrada del puerto.

En este sentido, la condición descrita ofrece la oportunidad de monitorear la mezcla, que durante los períodos subsecuentes de marea, debió de ocurrir entre estas dos masas de agua. Complementariamente, aunque asociado a un rango de marea particular, esto permitirá dimensionar la efectividad de los procesos de mezcla dentro del puerto.

La evolución observada durante los días posteriores indica que durante el día 26, la presencia individual de ambas masas seguía siendo la condición dominante en el puerto. No obstante, a partir del día 27 y hasta el final de los registros, la mezcla progresó, homogenizando inicialmente las capas superiores, y eventualmente la columna de agua.

De esta forma, para el caso que se analizó, fue suficiente la ocurrencia de dos ciclos diurnos de marea para que se pudiera alcanzar una mezcla efectiva entre las dos masas de agua. Lo anterior supone una condición sumamente favorable para el puerto, en cuanto a los procesos de recambio de masa, sustentando que el tiempo de residencia de la misma sea convenientemente corto.

Otra característica del campo de masa a resaltar es el gradiente horizontal de densidad que se presentó en la región de entrada del puerto, de acuerdo con los muestreos del 26. Durante el desarrollo de las mediciones por analizar la condición de nivel del mar progresaba de marea baja a alta.

En este caso, los registros de las estaciones 26 (cercana a la escollera norte), 27 (cercana a la escollera sur) y la 28 (aguas afuera del puerto), indica la ocurrencia de una variabilidad lateral importante, no sólo por la magnitud de los gradientes, sino porque estos ocurren sobre una limitada escala espacial.

Entonces, de acuerdo con la información la masa de agua de las capas intermedias en la región de la escollera norte era más fría, relativamente menos salina, pero más densa que la correspondiente a la escollera sur. No obstante, en las capas profundas la condición era contraria, es decir, con el agua más densa ocurriendo en la región de la escollera sur.



Figura 3.17 Estaciones de CTD realizadas el 25/mayo/2010 de las 10:05 a las 10:53 h.



Figura 3.18 Estaciones de CTD realizadas el 25/mayo/2010 de las 20:38 a las 21:15 h.



Figura 3.19 Estaciones de CTD realizadas el 27/mayo/2010 de las 03:51 a las 04:20 h.



Figura 3.20 Estaciones de CTD realizadas el 27/mayo/2010 de las 21:12 a las 21:47 h.



Figura 3.21 Estaciones de CTD realizadas el 27/mayo/2010 de las 22:52 a las 23:27 h.



Figura 3.22 Estaciones de CTD realizadas el 28/mayo/2010 de las 01:04 a las 01:33 h.



Figura 3.23 Estaciones de CTD realizadas el 28/mayo/2010 de las 09:03 a las 09:28 h.

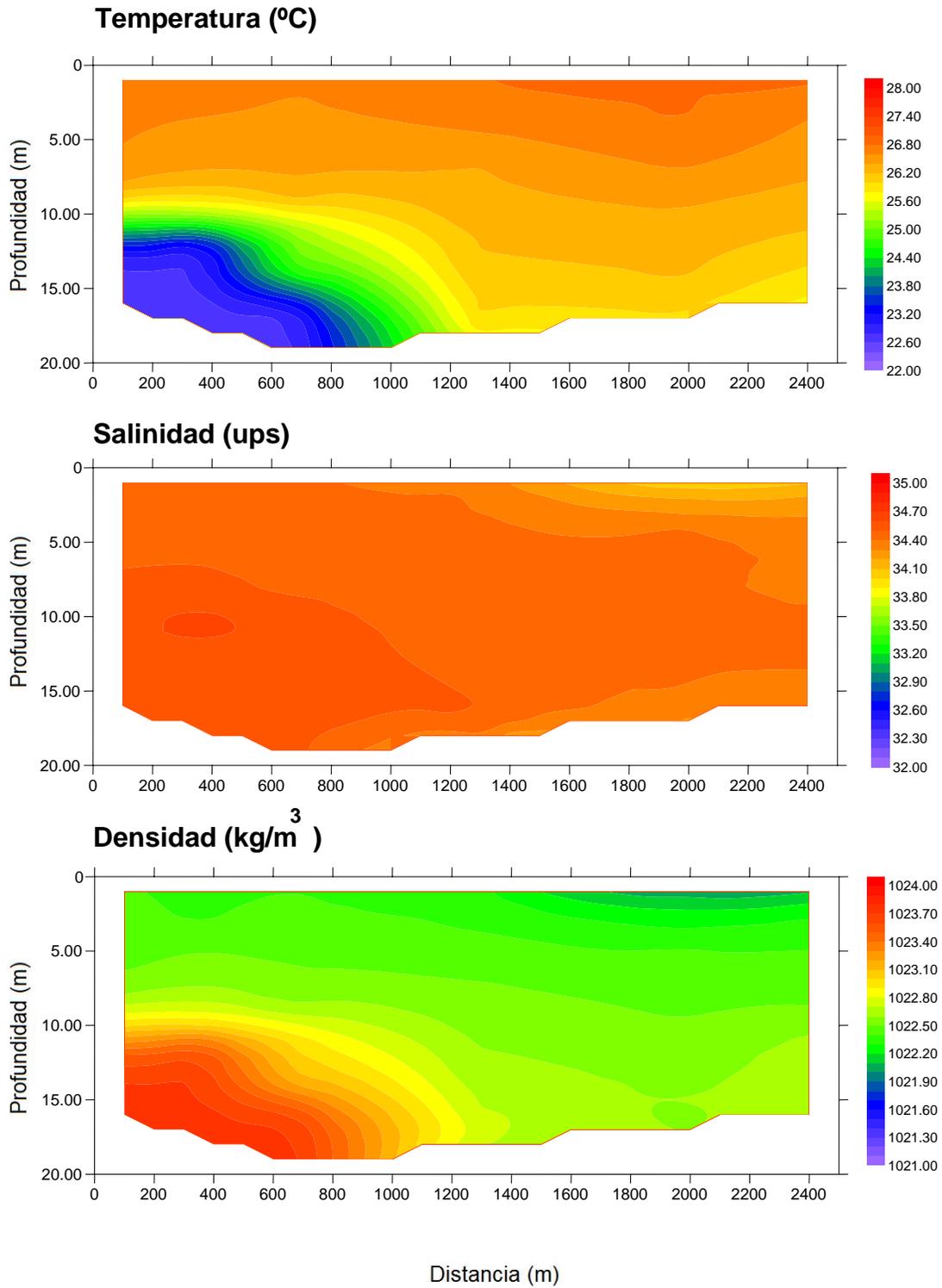
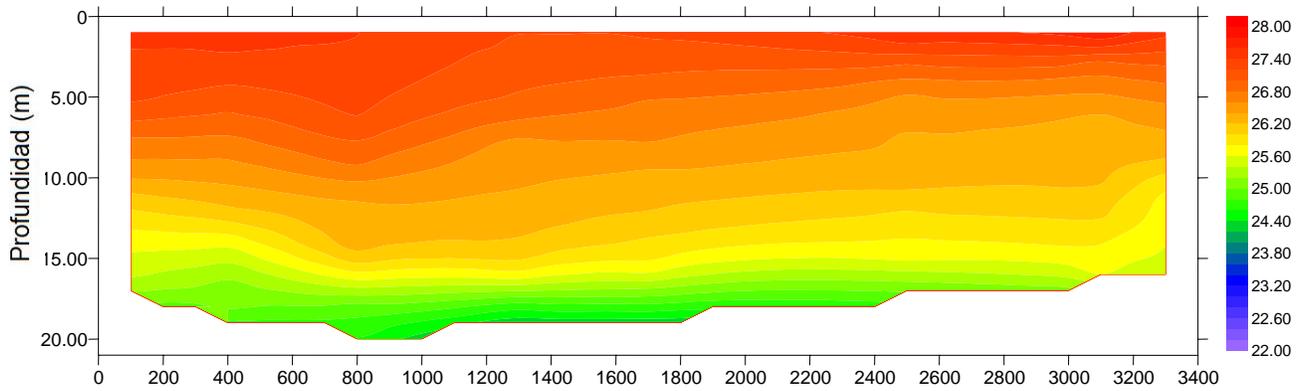
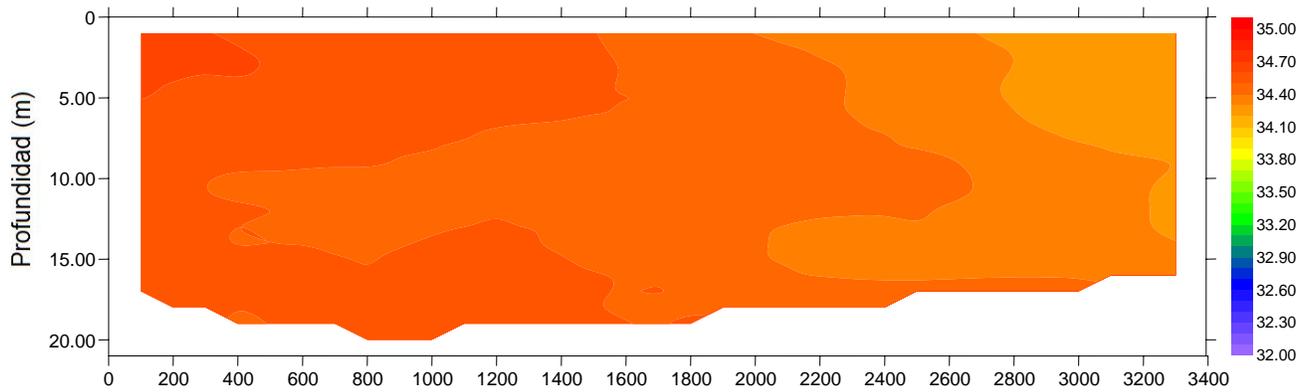


Figura 3.24 Variación de temperatura, salinidad y densidad, partiendo de la estación 9 a la estación 1.

### Temperatura (°C)



### Salinidad (ups)



### Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

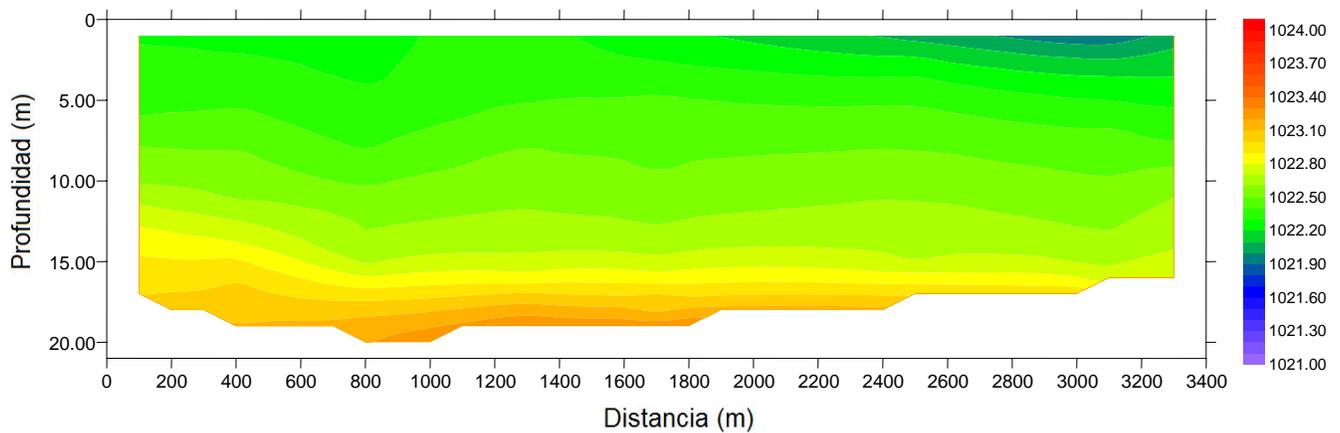


Figura 3.25 Variación de temperatura, salinidad y densidad, partiendo de la estación 17 a la estación 10.

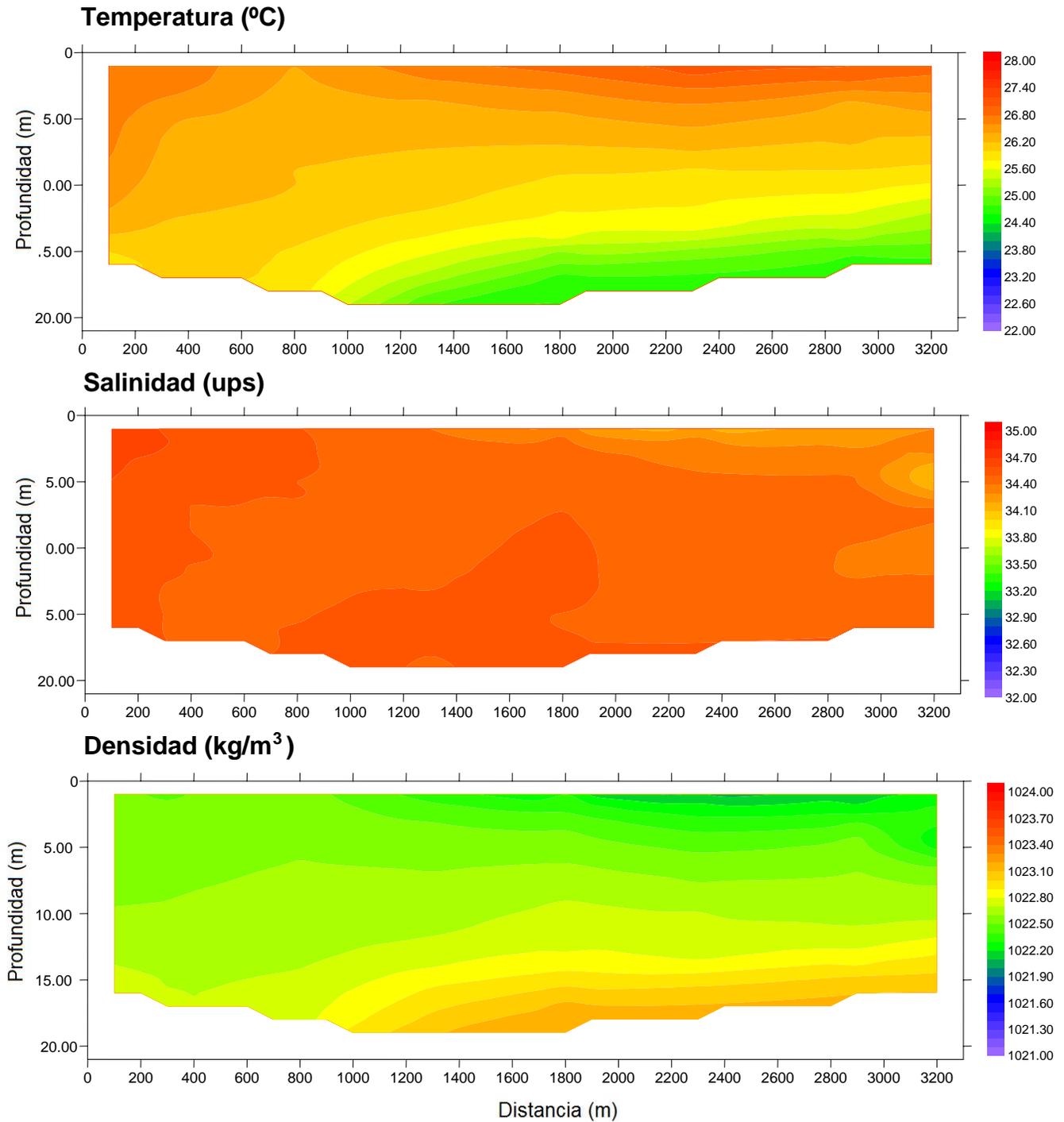


Figura 3.26 Variación de temperatura, salinidad y densidad, partiendo de la estación 28 a la estación 20.

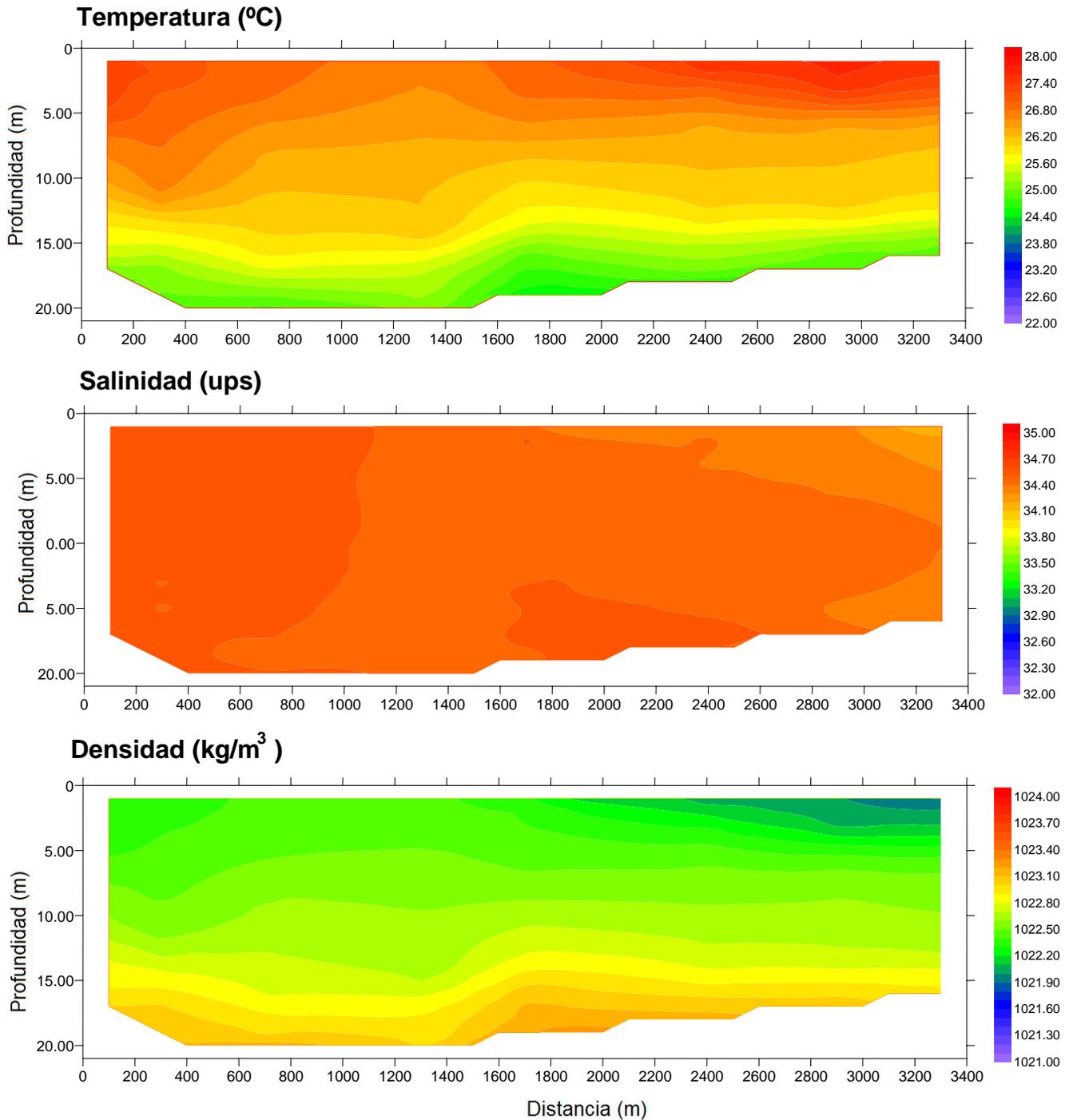


Figura 3.27 Variación de temperatura, salinidad y densidad, partiendo de la estación 36 a la estación 29.

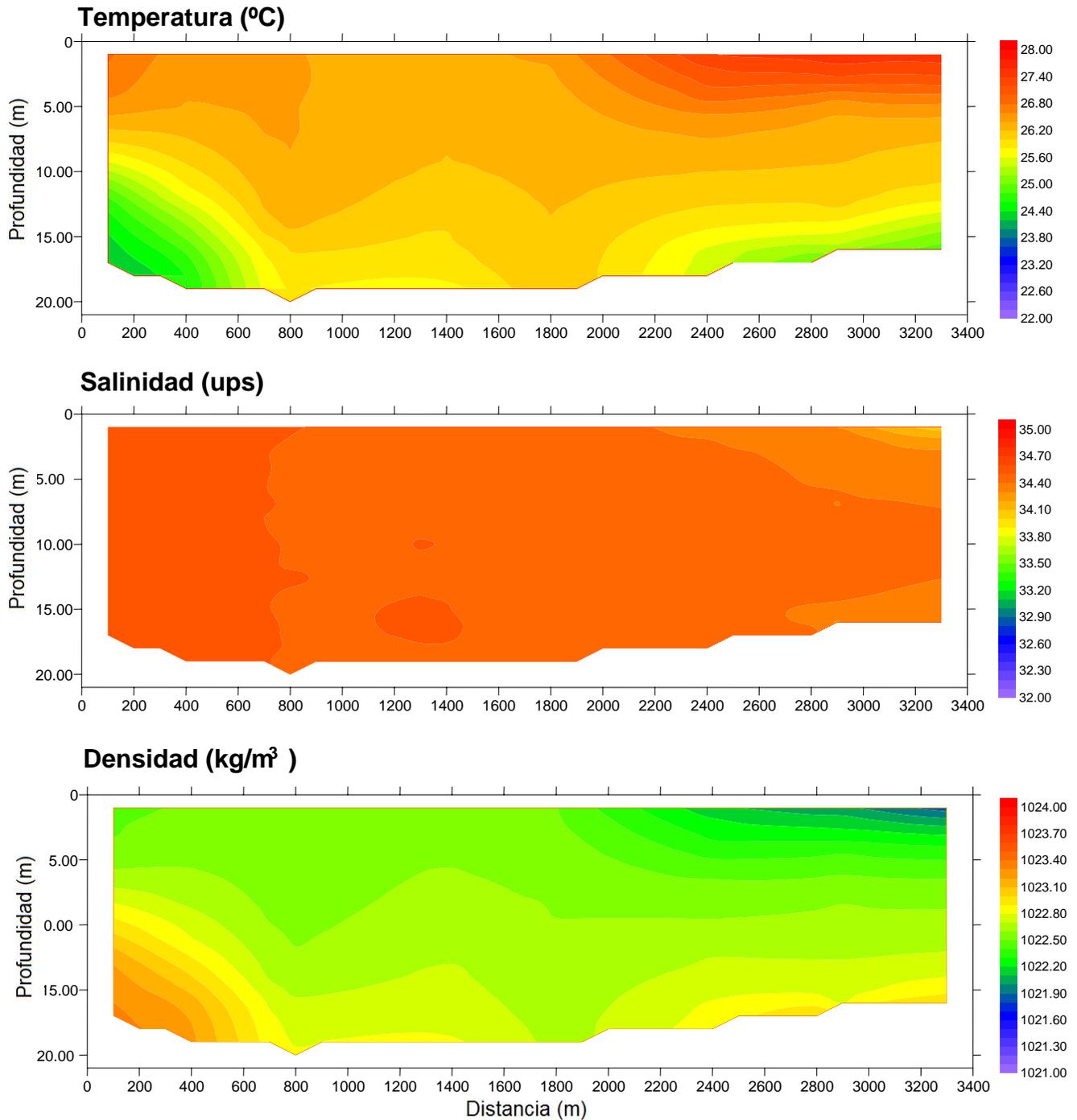


Figura 3.28 Variación de temperatura, salinidad y densidad, partiendo de la estación 44 a la estación 37.

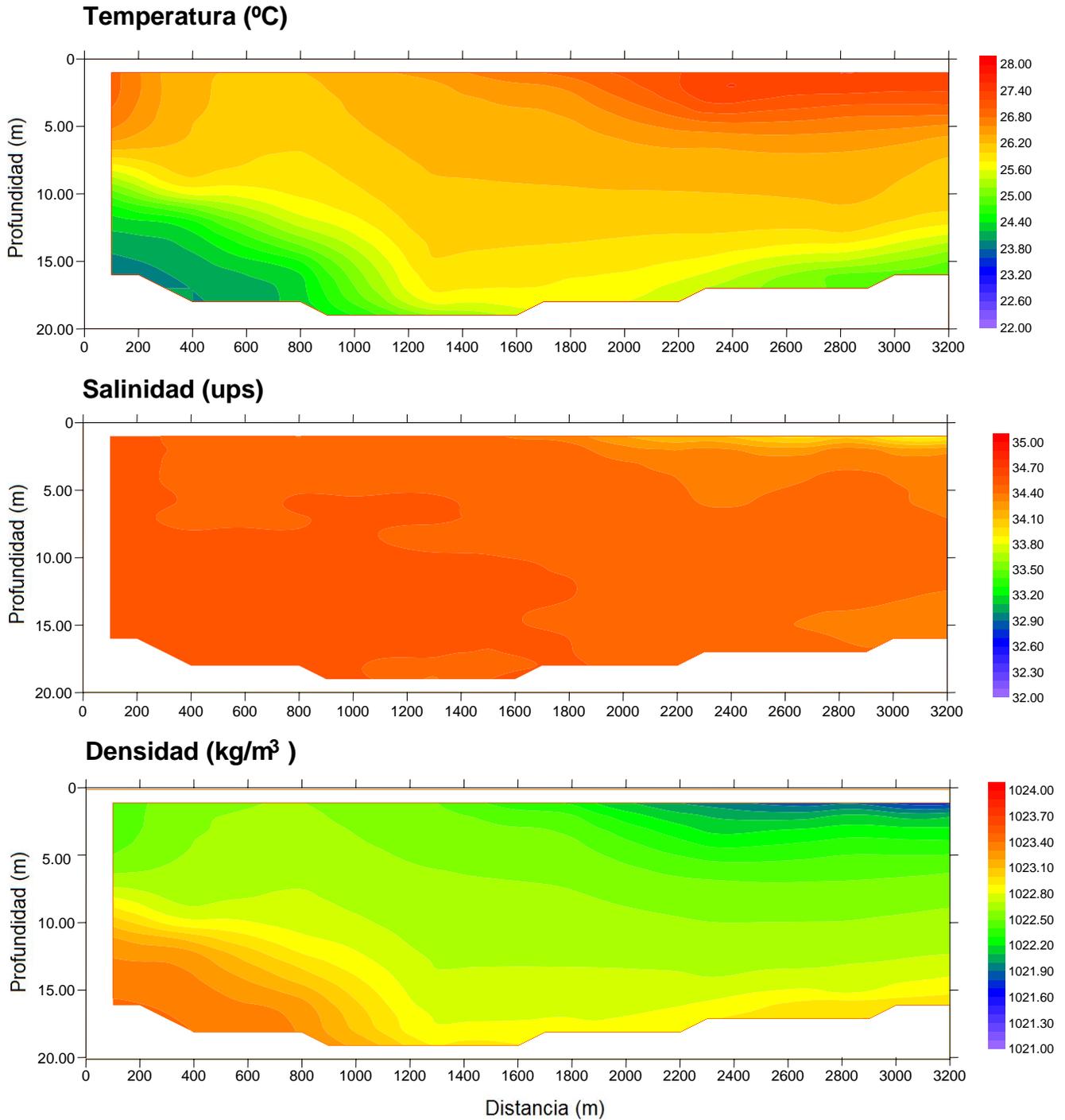


Figura 3.29 Variación de temperatura, salinidad y densidad, partiendo de la estación 52 a la estación 45.

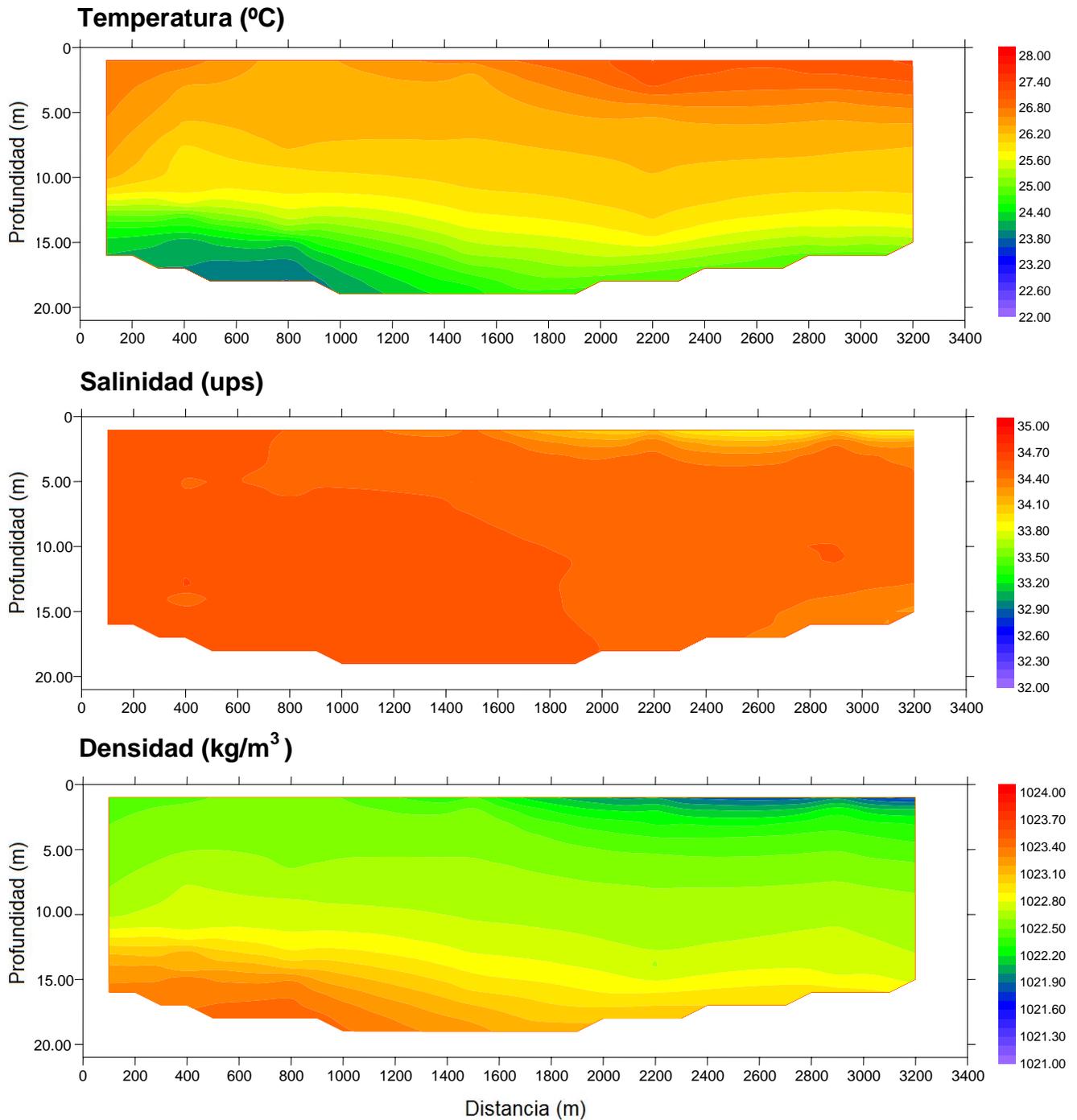


Figura 3.30 Variación de temperatura, salinidad y densidad, partiendo de la estación 59 a la estación 53.

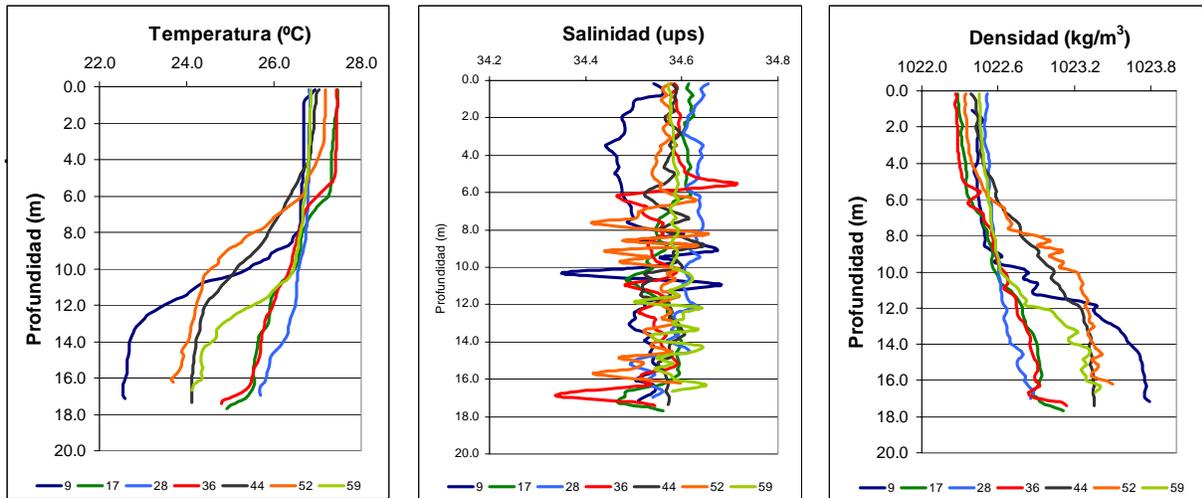


Figura 3.31 Perfiles de temperatura, salinidad y densidad para las estaciones 9, 17, 28, 36, 44, 52 y 59.

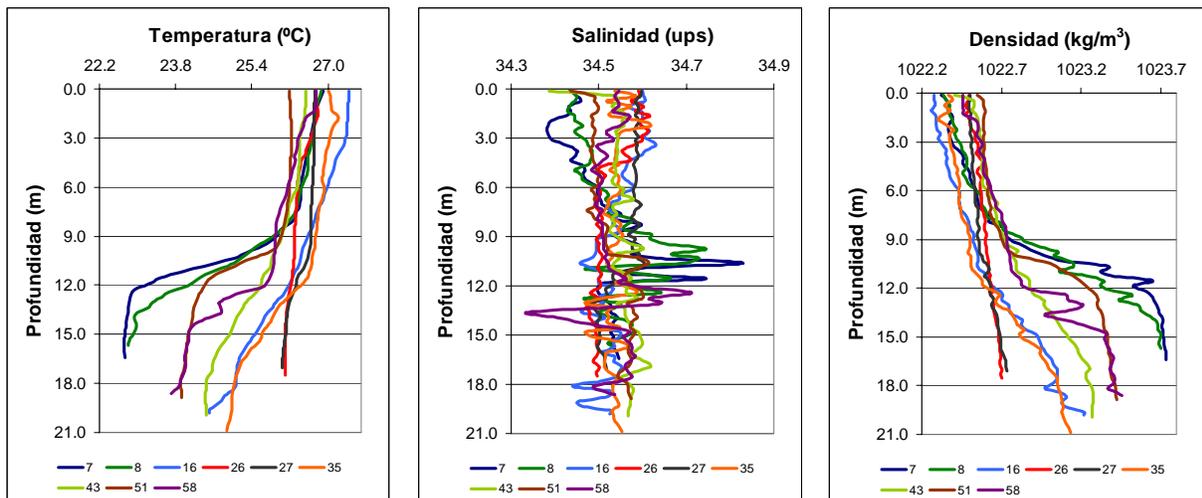


Figura 3.32 Perfiles de temperatura, salinidad y densidad para las estaciones 7,8, 16, 26, 27, 35, 43, 51 y 58.

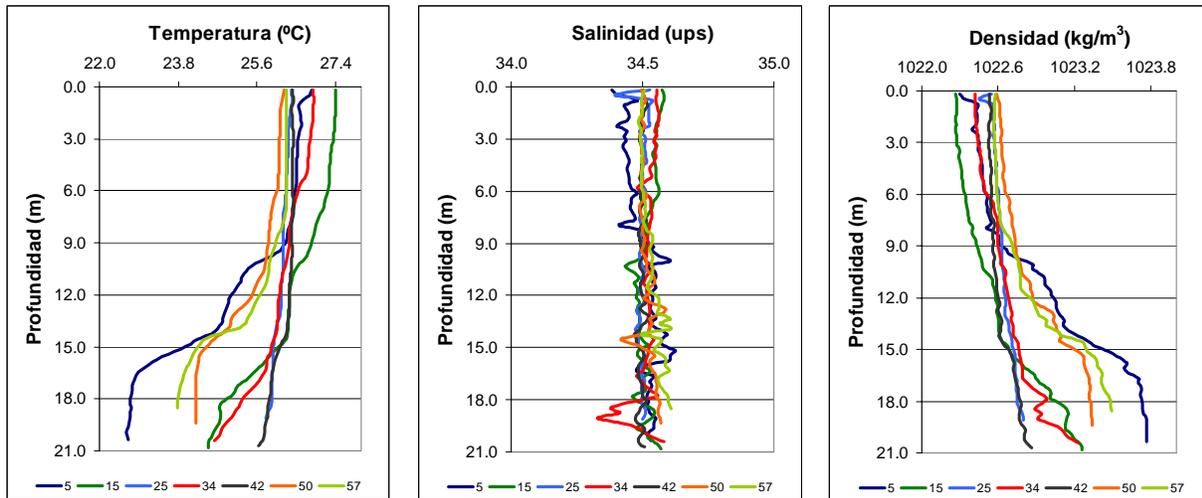


Figura 3.33 Perfiles de temperatura, salinidad y densidad para las estaciones 5,15, 25, 34, 42, 50 y 57.

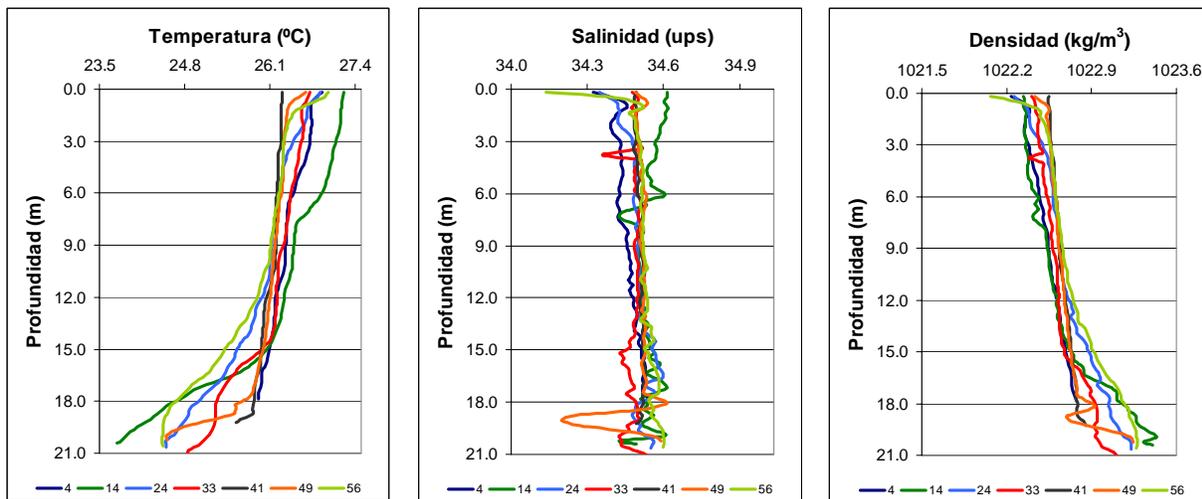


Figura 3.34 Perfiles de temperatura, salinidad y densidad para las estaciones 4,14, 24, 33, 41, 49 y 56.

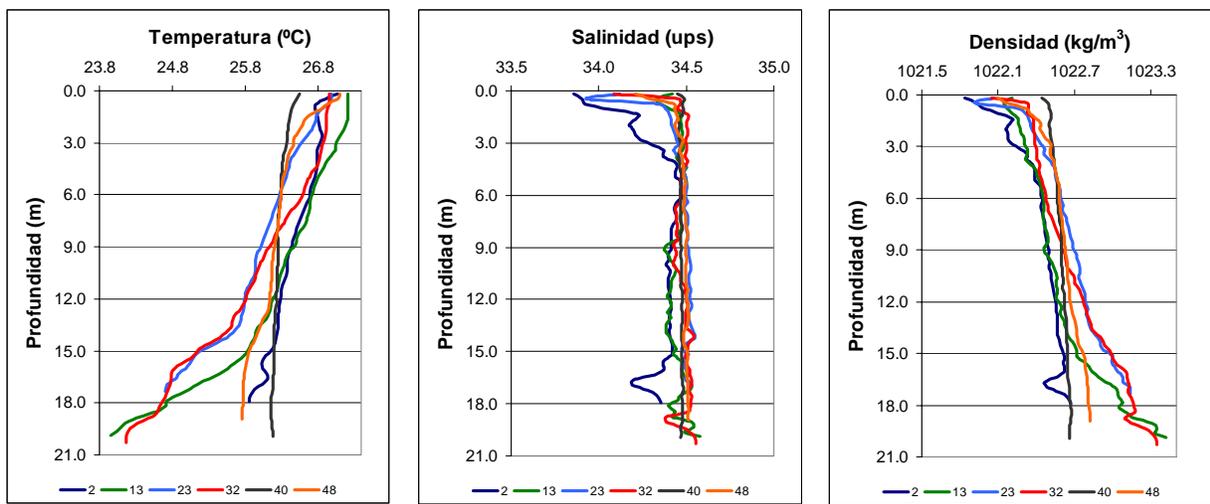


Figura 3.35 Perfiles de temperatura, salinidad y densidad para las estaciones 2,13, 23, 32, 40 y 48.

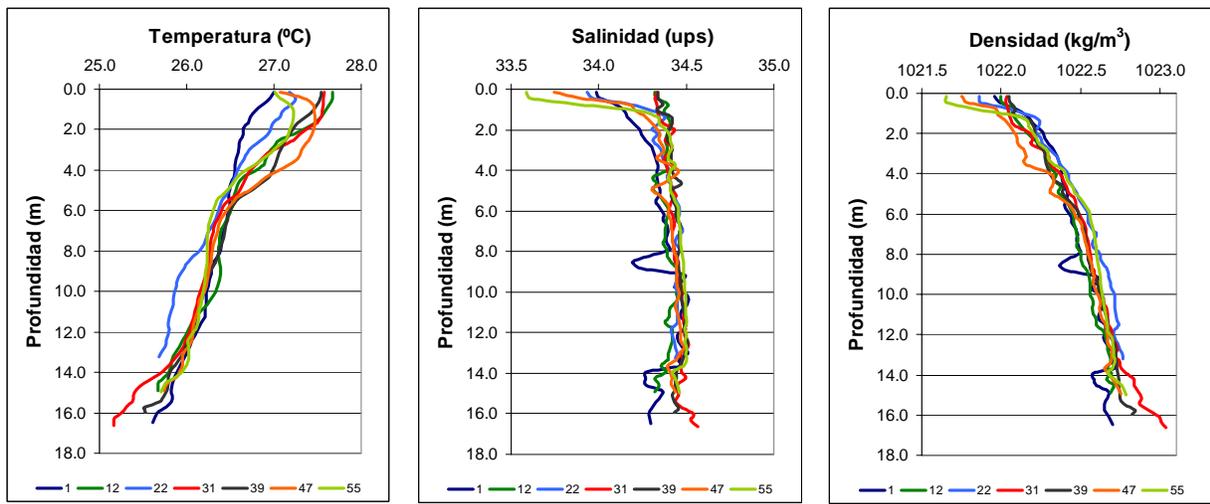


Figura 3.36 Perfiles de temperatura, salinidad y densidad para las estaciones 1,12, 22, 31, 39, 47 y 55.

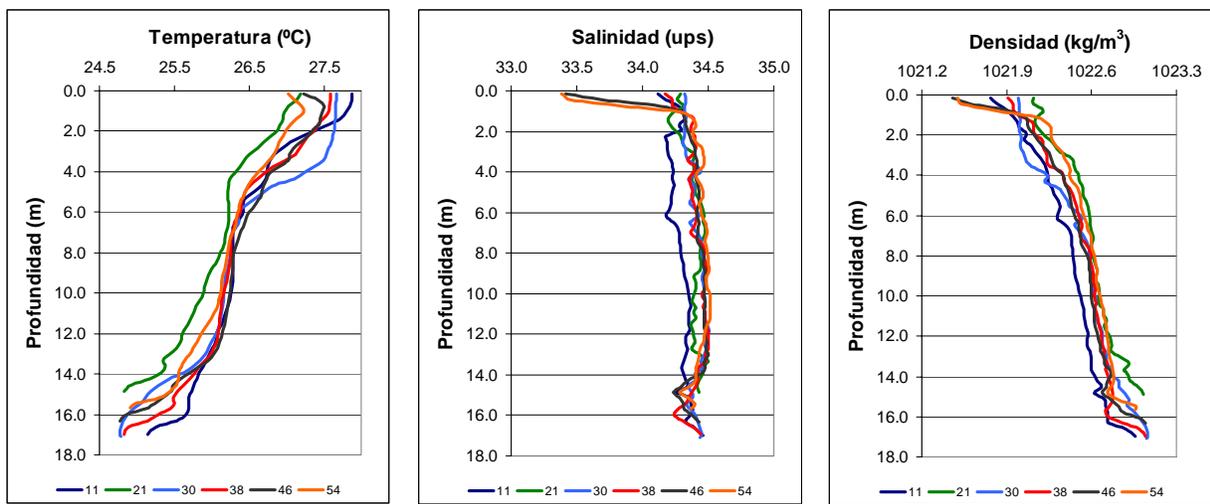


Figura 3.37 Perfiles de temperatura, salinidad y densidad para las estaciones 11, 21, 30, 38, 46 y 54.

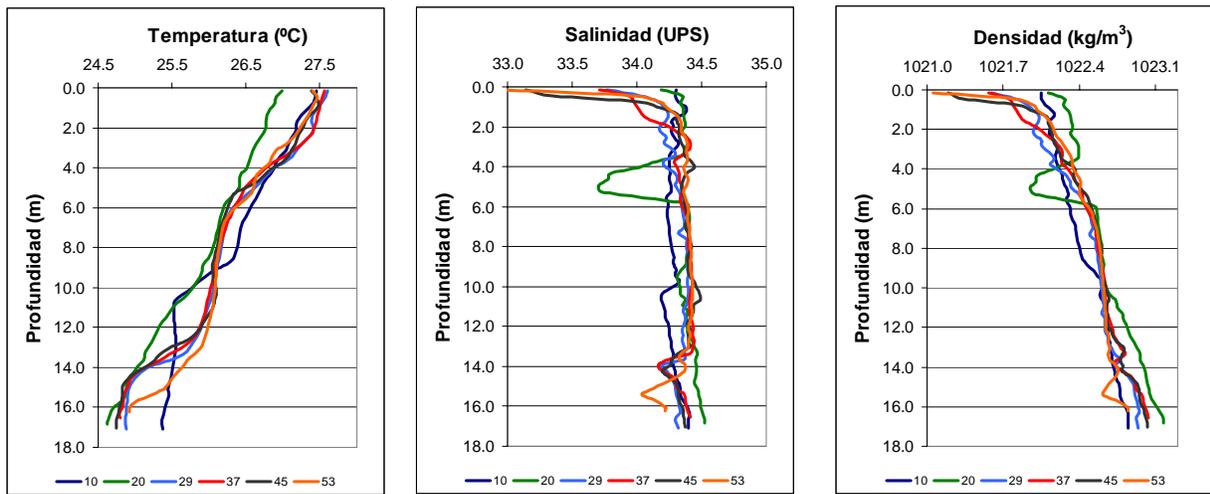


Figura 3.38 Perfiles de temperatura, salinidad y densidad para las estaciones 10, 20, 29, 37, 45 y 53.

#### 4. Modelación numérica de la hidrodinámica

Para la modelación de la hidrodinámica del puerto de Manzanillo en su geometría de proyecto modificada y la nueva propuesta de gradado para la Laguna de las Garzas, se hizo uso del modelo numérico ADCIRC-2DDI.

El ADCIRC-2DDI es un modelo hidrodinámico promediado en la vertical, en el que se resuelven las ecuaciones de aguas someras mediante el método de elemento finito. A diferencia de muchos modelos de este tipo, en ADCIRC-2DDI no se resuelve la ecuación de continuidad en su forma primitiva, sino la ecuación de continuidad generalizada de onda (GWCE):

$$\begin{aligned} & \left\{ \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} + \tau_0 \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ U \frac{\partial \zeta}{\partial t} - UH \frac{\partial U}{\partial x} - VH \frac{\partial U}{\partial x} + fVH - H \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{P_s}{\rho_0} + g(\zeta - \alpha\eta) \right] - E_{h2} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x \partial t} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - (\tau_* - \tau_0)UH \right] \right\} \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ V \frac{\partial \zeta}{\partial t} - UH \frac{\partial V}{\partial x} - VH \frac{\partial V}{\partial y} - fUH - H \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{P_s}{\rho_0} + g(\zeta - \alpha\eta) \right] - E_{h2} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y \partial t} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - (\tau_* - \tau_0)VH \right\} = 0 \end{aligned}$$

La ecuación anterior se resuelve en forma conjunta con las ecuaciones de cantidad de movimiento:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial u}{\partial y} - fv = - \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{P_s}{\rho_0} + g(\zeta - \alpha\eta) \right] + \frac{1}{H} M_x + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0 H} - \tau_* U$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU = - \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{P_s}{\rho_0} + g(\zeta - \alpha\eta) \right] + \frac{1}{H} M_y + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0 H} - \tau_* V$$

$$M_x = E_{h2} \left[ \frac{\partial^2 UH}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 UH}{\partial y^2} \right]$$

$$M_y = E_{h2} \left[ \frac{\partial^2 VH}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 VH}{\partial y^2} \right]$$

donde  $\zeta$ , es la elevación de la superficie libre;  $U, V$ , las velocidades integradas en la vertical en direcciones  $x$  e  $y$ , respectivamente;  $H$ , la profundidad total  $H = h + \zeta$ ;  $h$ , la profundidad relativa;  $f$ , el parámetro de coriolis,  $f = 2\Omega \sin \phi$ ;  $\Omega$ , la velocidad angular de la tierra;  $\phi$ , la latitud;  $P_s$ , la presión atmosférica en la superficie libre;  $\rho_0$ , la densidad del agua;  $g$ , la aceleración de la gravedad;  $P_s$ , la presión atmosférica en la superficie;  $\eta$ , el factor de equilibrio;  $\alpha$ , el factor de elasticidad de la tierra;  $\tau_{sx}$  y  $\tau_{sy}$  el esfuerzo cortante en la superficie libre del agua en las direcciones  $x$  e  $y$ ;  $\tau_*$ , el esfuerzo cortante en el fondo,  $\tau_* = C_f (U^2 + V^2)^{1/2} / H$ ;  $C_f$ , el coeficiente de fricción del fondo, y  $M_x, M_y$  los coeficientes de difusión en  $x$  e  $y$  respectivamente y  $E_{h2}$  es el coeficiente de difusión turbulenta.

El dominio de cálculo a utilizado en la simulación de la hidrodinámica, fue un semicírculo con un radio de 135 km con centro en la boca de entrada de las bahías de Manzanillo y Santiago. Este dominio se discretizó con una malla triangular no estructurada de 31827 nodos y 59077 elementos (figura 4.1 a Figura 4.4). La simulación abarcó un periodo total de 35 días (Figura 4.5). Para la validación de las simulaciones, se hicieron comparaciones entre los valores medidos del nivel de la superficie libre y de velocidad, contra los valores simulados. Puede observarse que los niveles simulados muestran correspondencia con los valores medidos (Figura 4.6), mientras que los valores de la velocidad presentan variaciones, sin embargo el rango es aceptable (Figura 4.7) ya que la geometría bajo la cual se realizaron las mediciones es diferente a la geometría de proyecto, además de la variabilidad del campo de densidad en la zona de estudio.

Para esta simulación, no se consideró el efecto que tendrán los pilotes de los puentes que cruzaran el canal de comunicación entre la Laguna de las Garzas y la dársena de San Pedrito, ya que como se muestra en el Anexo A1, la disminución la amplitud y el retraso en la fase de la marea debido a su presencia, es mínimo.

A continuación los resultados se presentan para mareas muertas y mareas vivas.

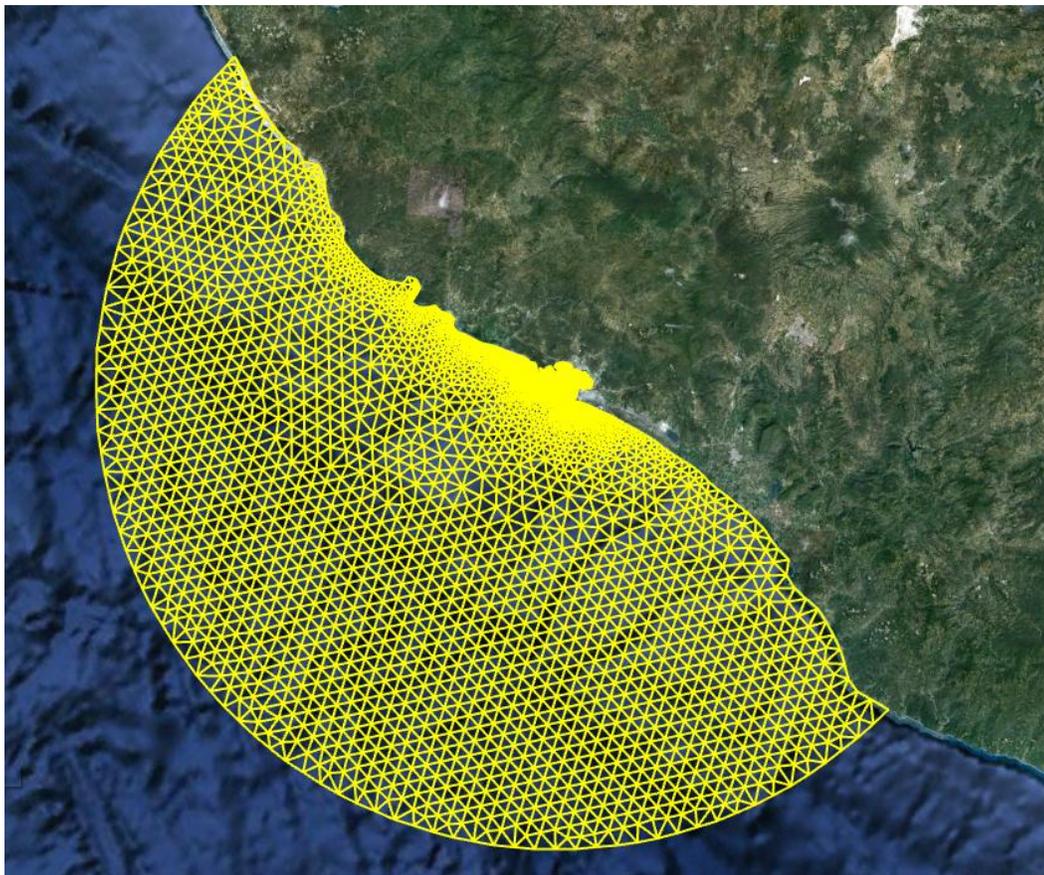


Figura 4.1 Vista global de la discretización de dominio de cálculo.

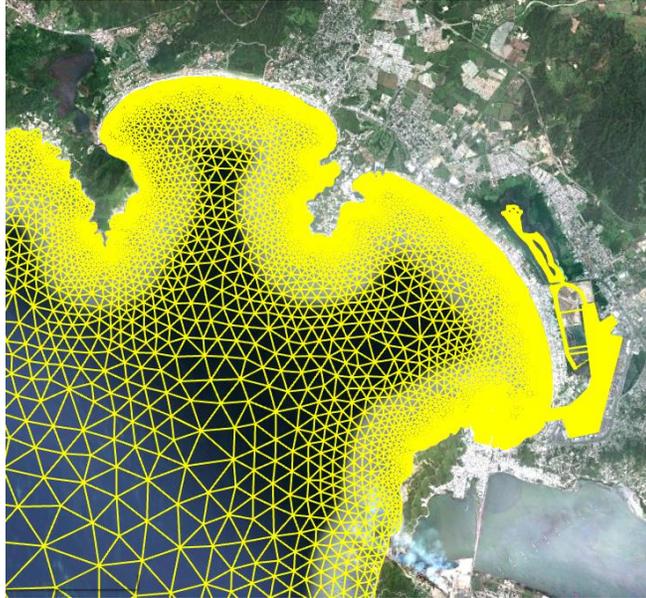


Figura 4.2 Detalle de la malla de las bahías.



Figura 4.3 Detalle de la malla en el canal del puerto de Manzanillo.



Figura 4.4 Detalle de la malla en la Laguna de las Garzas.

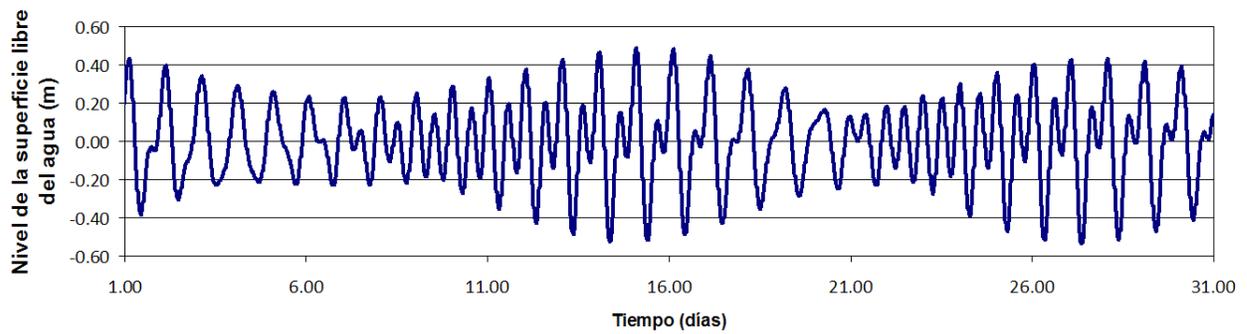


Figura 4.5 Señal de marea simulada en la bocana del puerto (tiempo GMT).

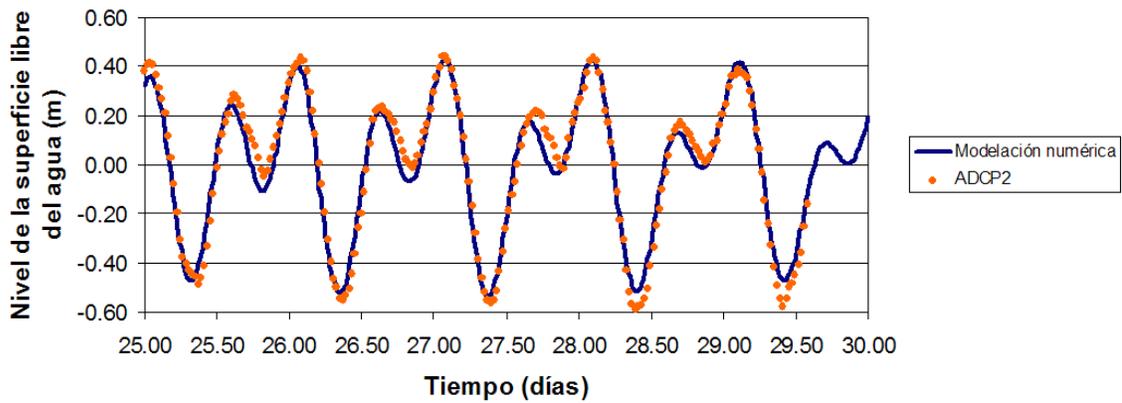


Figura 4.6 Comparación del nivel de la superficie libre del agua, medida y simulada (tiempo GMT).

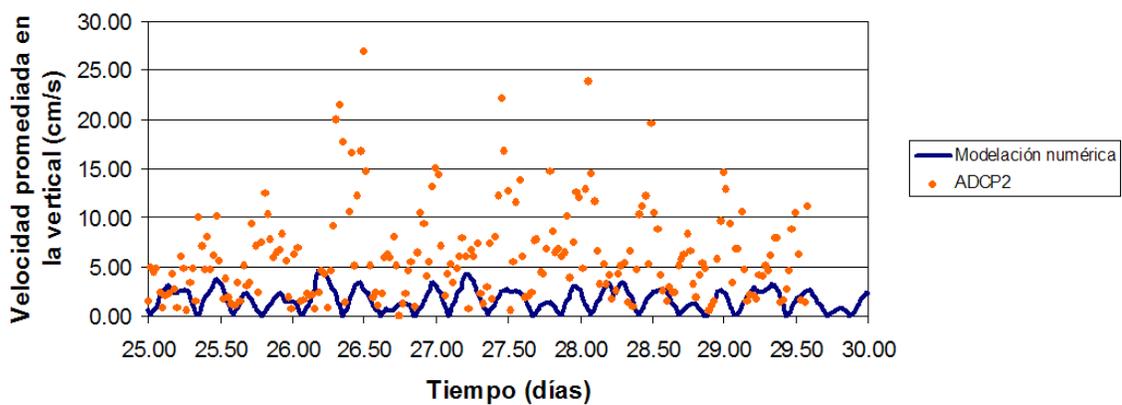


Figura 4.7 Comparación de la velocidad promediada en la vertical, medida y simulada (tiempo GMT).

---

#### **4.1 *Mareas muertas***

De la Figura 4.8 a la Figura 4.21 se muestran las condiciones hidrodinámicas para el periodo de mareas muertas escogido, el cual fue del cinco al diez de mayo de 2010. Las figuras se muestran en pares, mostrando los valores de la superficie libre y los campos de velocidades.

Para condiciones de marea muerta, puede observarse que no existe un amortiguamiento apreciable de la marea tanto en el interior del puerto como en la laguna de las garzas. Esto es congruente con lo obtenido con las mediciones del nivel de la superficie libre mediante los sensores de presión (Figura 3.6) y los perfiladores acústicos (Figura 3.7).

De acuerdo con los resultados de ésta simulación, en el canal de comunicación entre la Laguna de las Garzas y la dársena de San Pedrito se observan velocidades máximas de 12 cm/s y seis cm/s para condiciones de flujo y reflujos, respectivamente. Es importante señalar que dichas velocidades son ligeramente mayores de la mitad de las velocidades obtenidas en la configuración anterior. Por otra parte, los drenes ecológicos presentan velocidades del orden de siete y cuatro cm/s para condiciones de flujo y reflujos, respectivamente, y siguen presentando un buen funcionamiento hidráulico, que garantizará la llegada de agua salobre a la franja ecológica del manglar.

Al igual que la configuración anterior, la zona norte de la laguna, donde se encuentran las tres islas, presenta velocidades muy bajas, lo que la hace propicia a convertirse en una zona de acumulación de sedimentos.

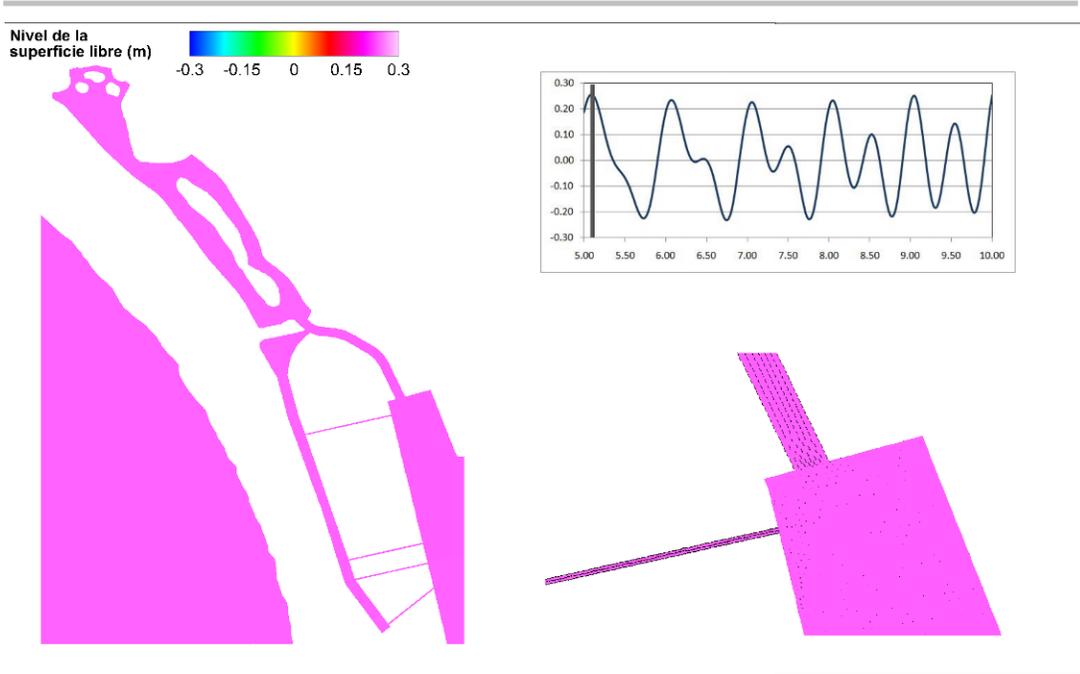


Figura 4.8 Elevación de la superficie libre en el puerto. 5 de mayo de 2010, 03:45 h (GMT).

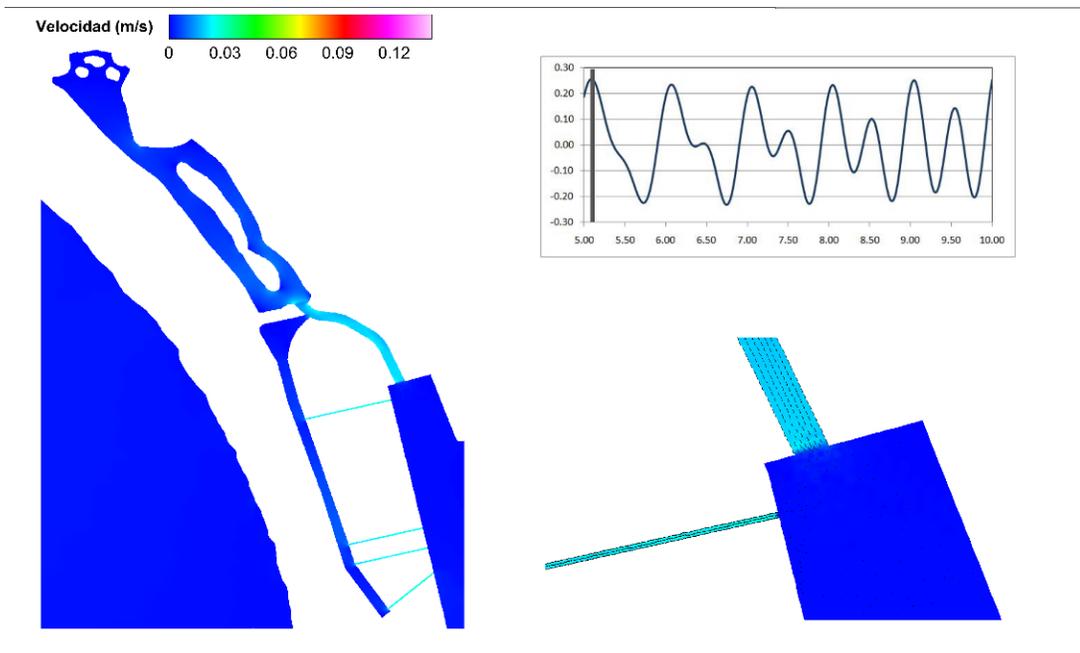


Figura 4.9 Campo de velocidades. 5 de mayo de 2010, 03:45 h (GMT).

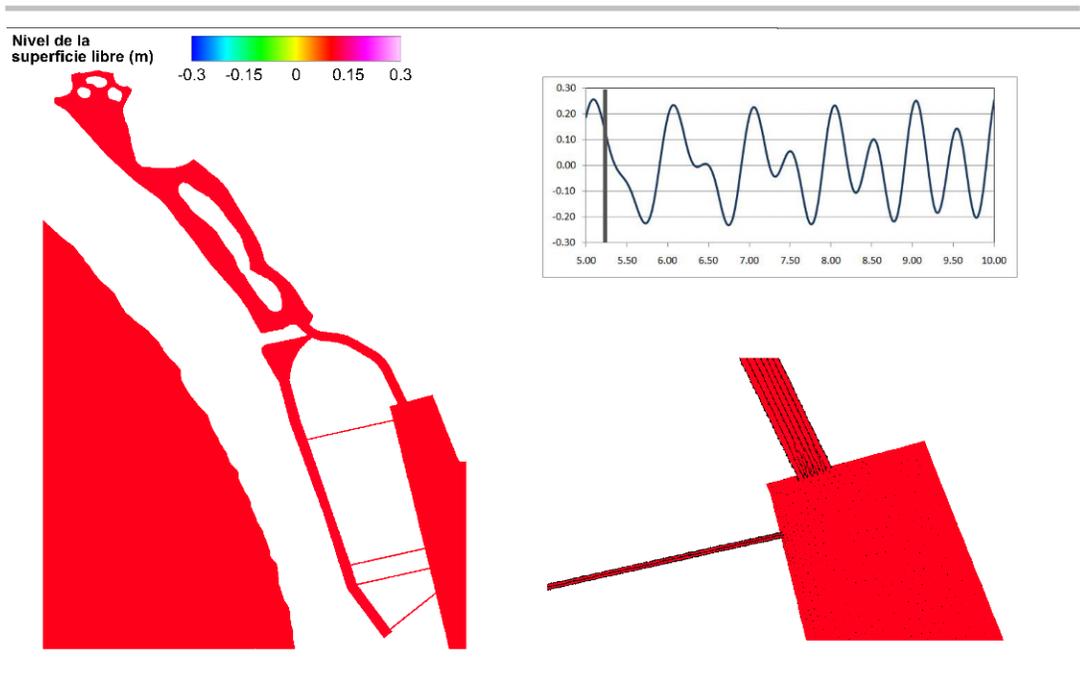


Figura 4.10 Elevación de la superficie libre en el puerto. 5 de mayo de 2010, 05:45 h (GMT).

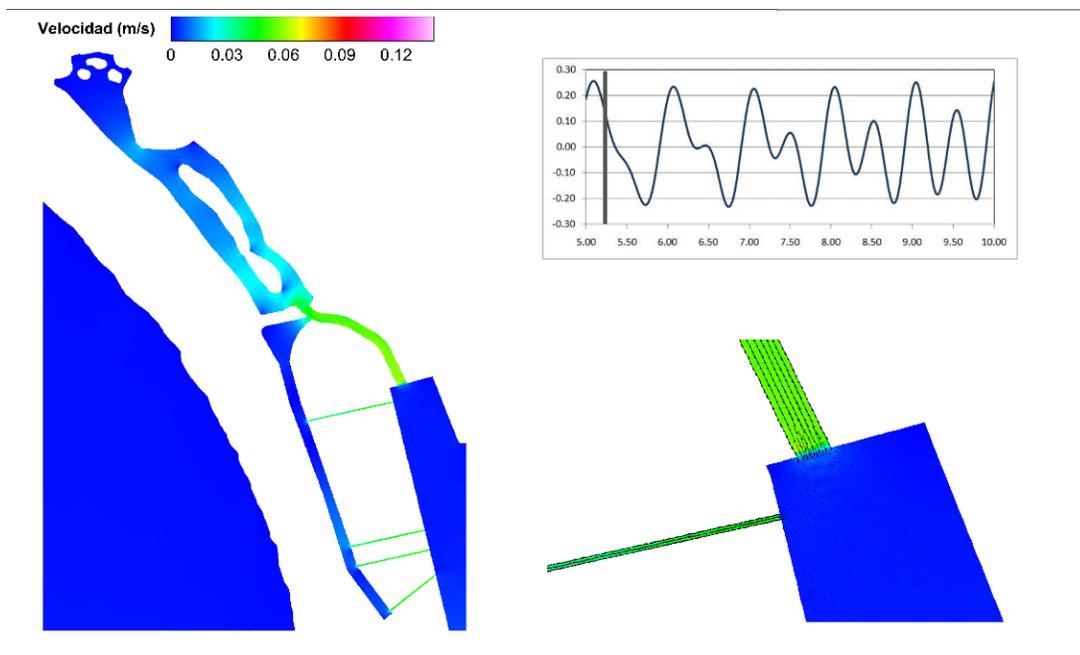


Figura 4.11 Campo de velocidades. 5 de mayo de 2010, 05:45 h (GMT).

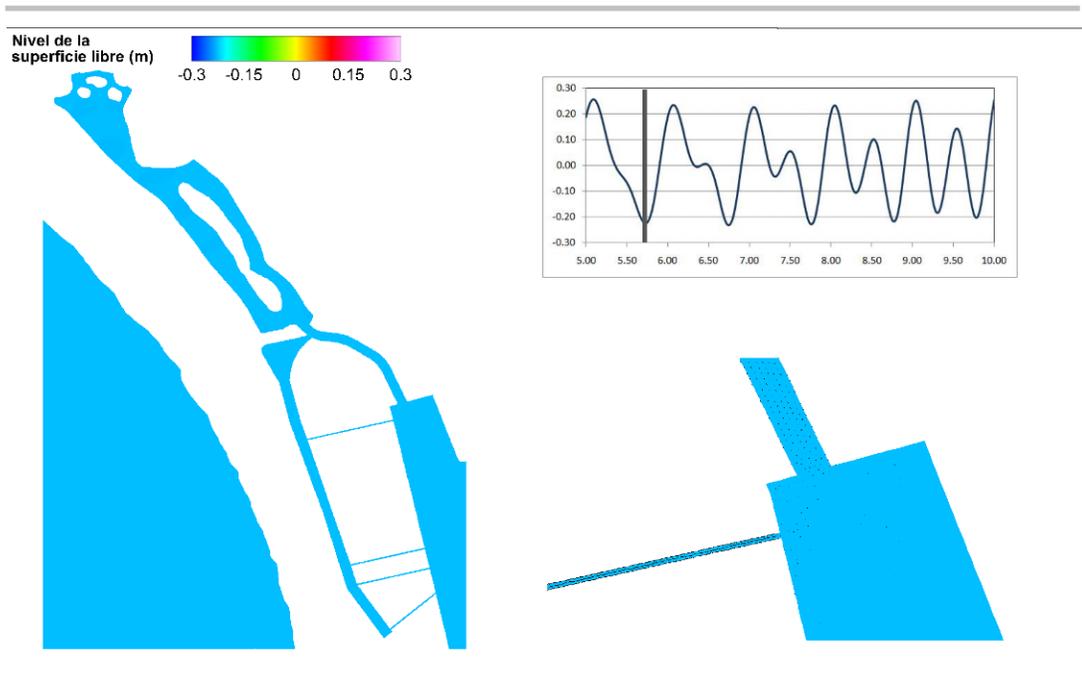


Figura 4.12 Elevación de la superficie libre en el puerto. 5 de mayo de 2010, 17:30 h (GMT).

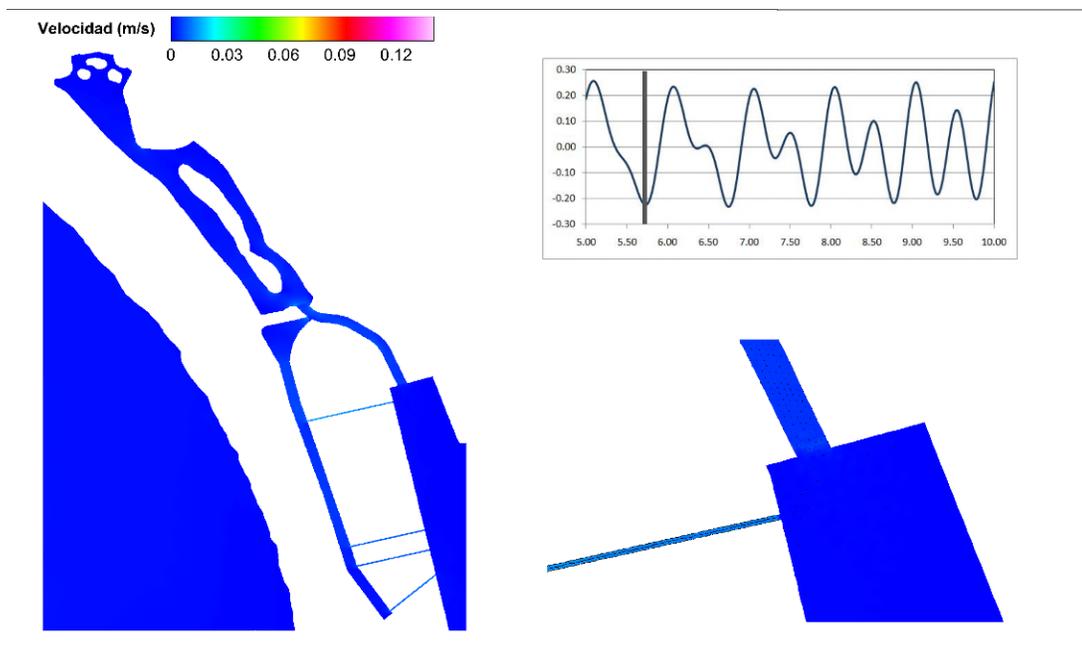


Figura 4.13 Campo de velocidades. 5 de mayo de 2010, 17:30 h (GMT).

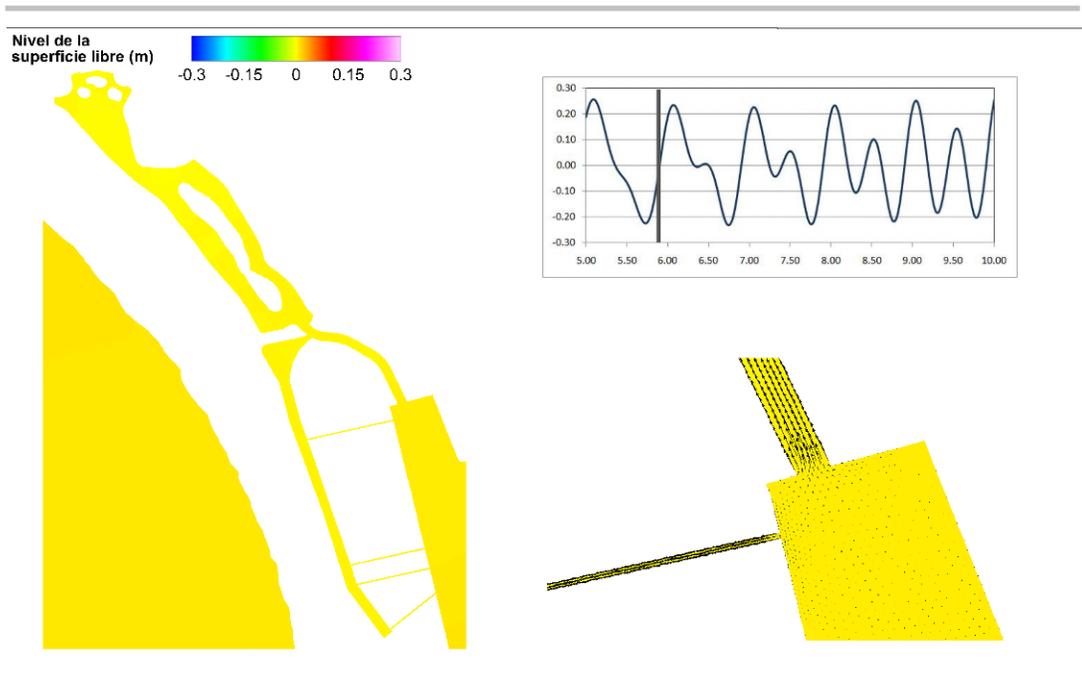


Figura 4.14 Elevación de la superficie libre en el puerto. 5 de mayo de 2010, 21:30 h (GMT).

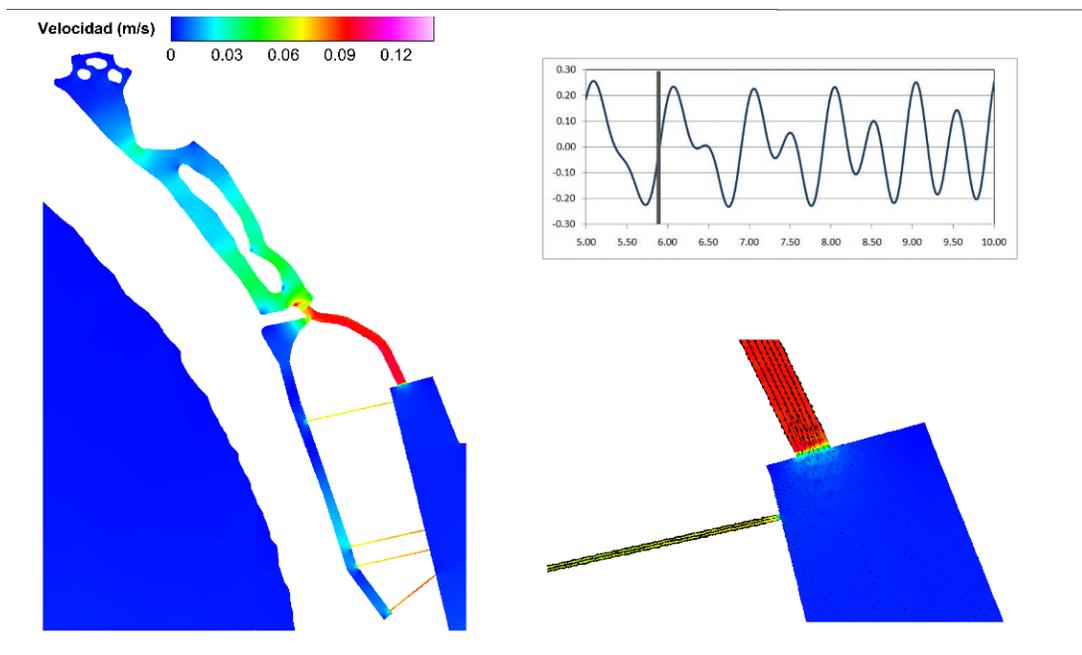


Figura 4.15 Campo de velocidades. 5 de mayo de 2010, 21:30 h (GMT).

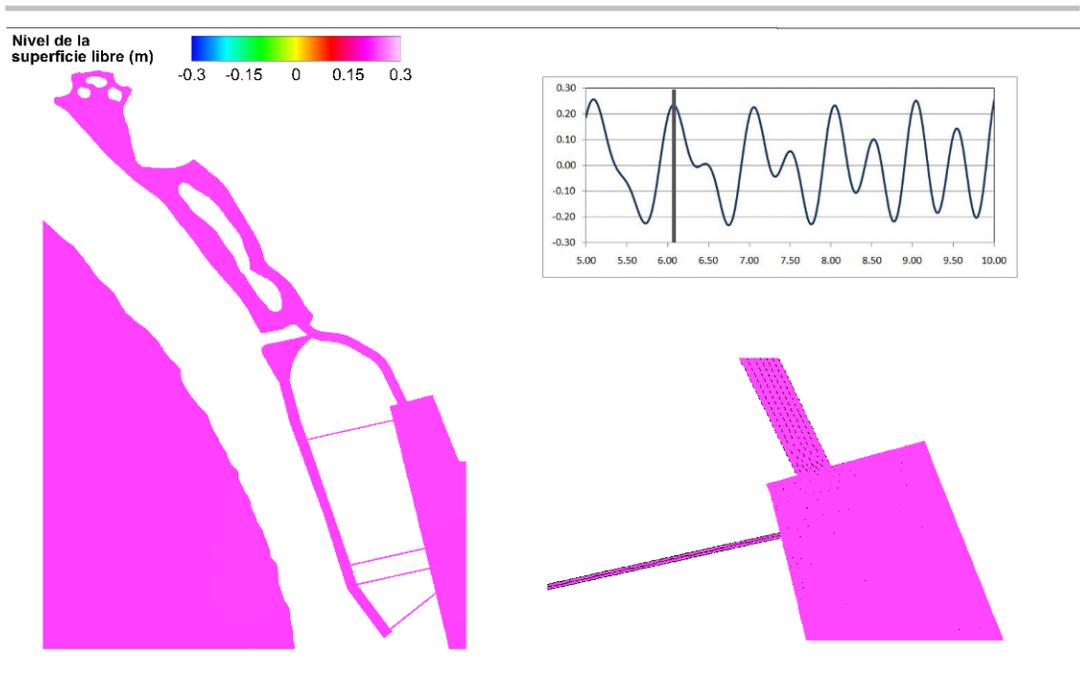


Figura 4.16 Elevación de la superficie libre en el puerto. 6 de mayo de 2010, 01:45 h (GMT).

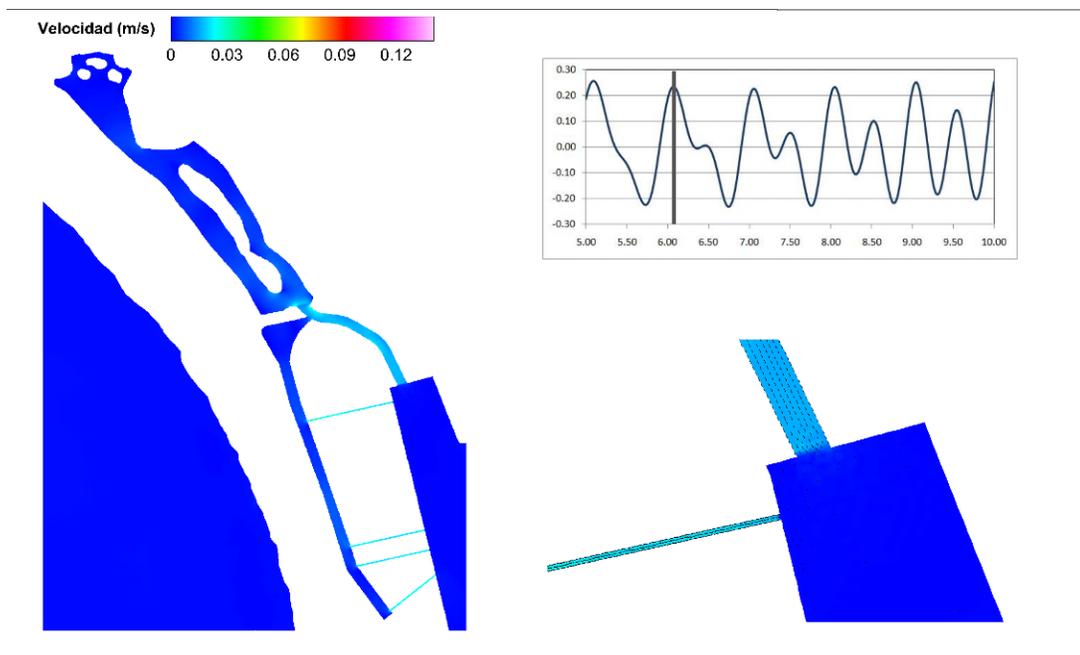


Figura 4.17 Campo de velocidades. 6 de mayo de 2010, 01:45 h (GMT).

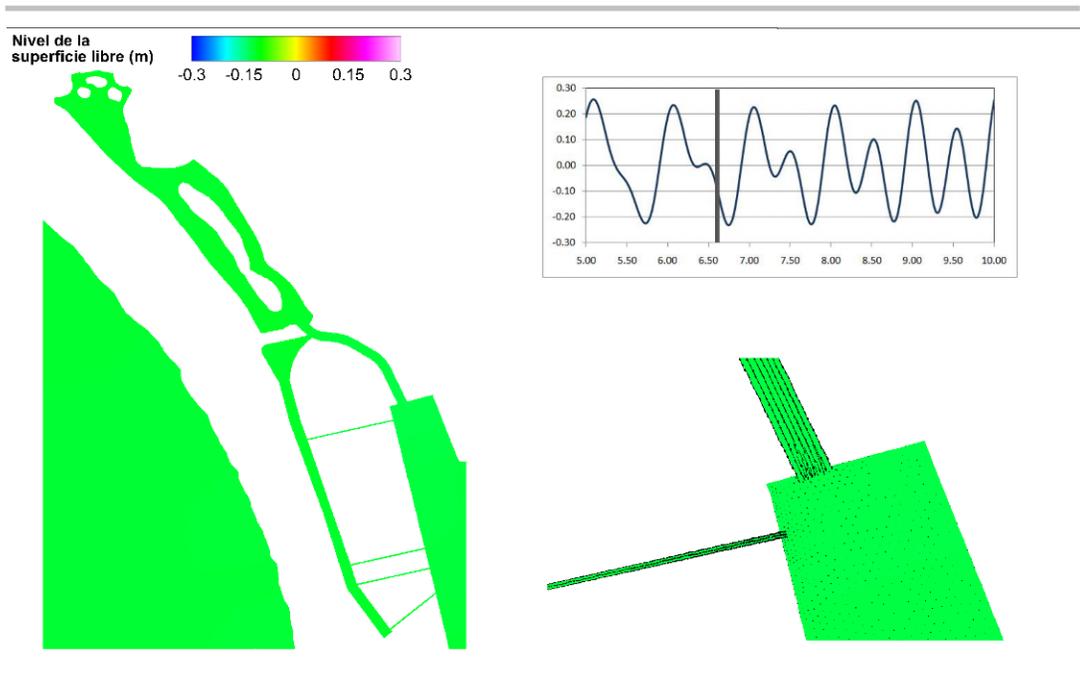


Figura 4.18 Elevación de la superficie libre en el puerto. 6 de mayo de 2010, 14:45 h (GMT).

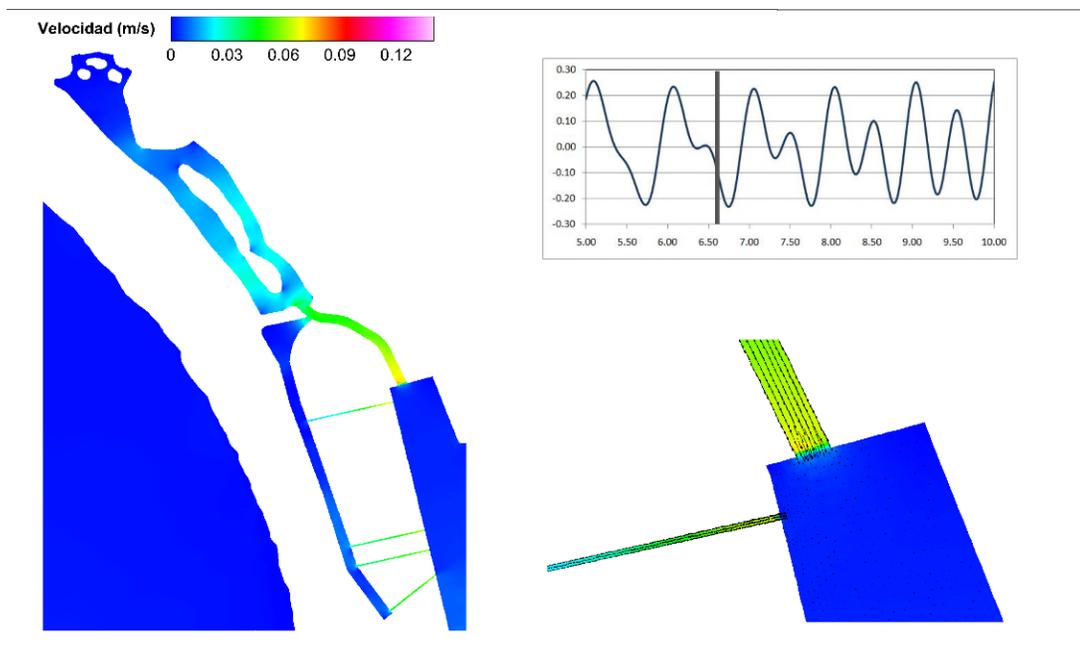


Figura 4.19 Campo de velocidades. 6 de mayo de 2010, 14:45 h (GMT).

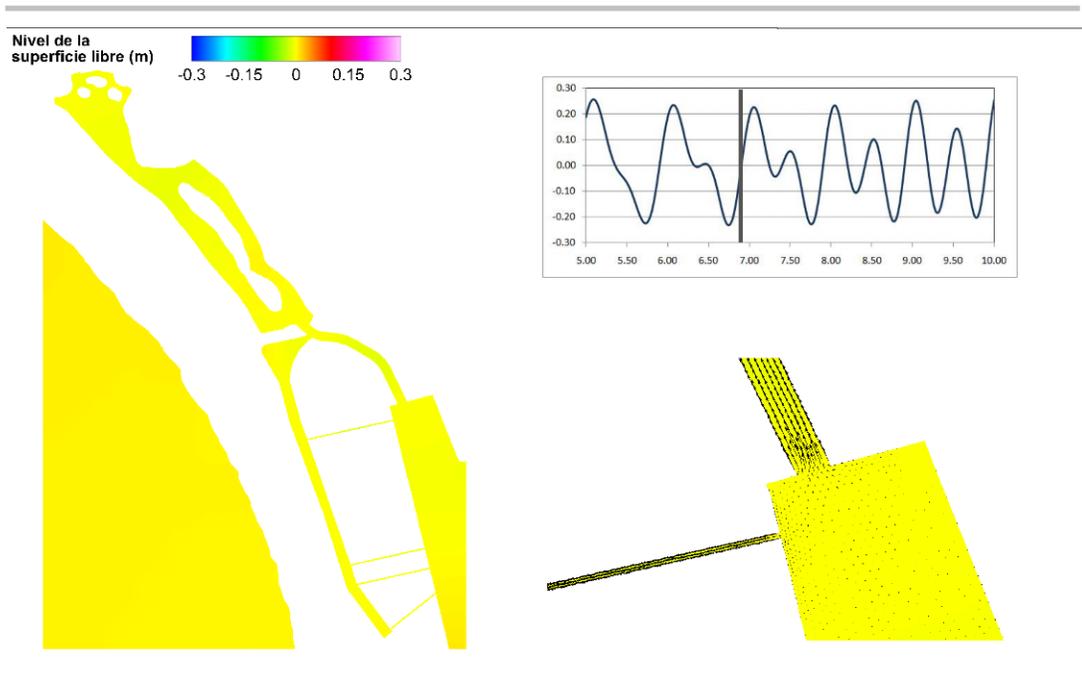


Figura 4.20 Elevación de la superficie libre en el puerto. 6 de mayo de 2010, 14:45 h (GMT).

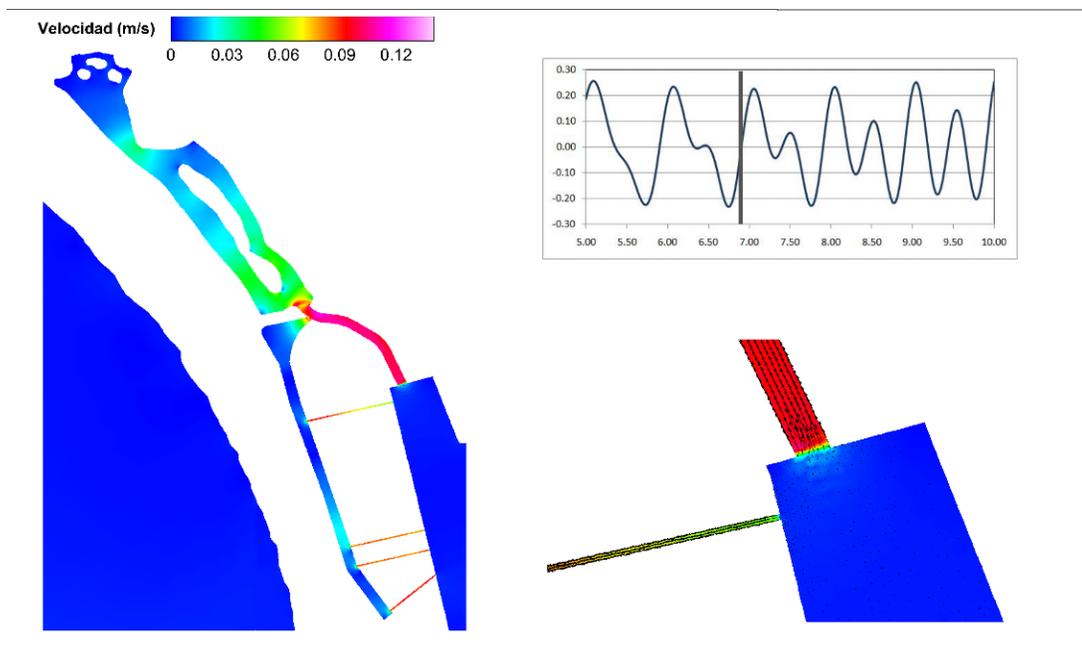


Figura 4.21 Campo de velocidades. 6 de mayo de 2010, 21:30 h (GMT).



---

## 4.2 *Mareas vivas*

El periodo de mareas vivas considerado fue del 25 al 30 de mayo de 2010, el cual corresponde con el periodo de mediciones (Figura 4.6). De la misma forma que en mareas muertas, los campos de velocidad y del nivel de la superficie libre del agua se muestran en pares, desde la Figura 4.23 hasta la Figura 4.35.

Para este periodo de simulación, pueden observarse velocidades máximas de 16 y 17 cm/s en el canal de comunicación para condiciones de flujo y reflujó, respectivamente. Por otra parte, en los drenes ecológicos las velocidades máximas para esas condiciones fueron de 12 y 14 cm/s. Estas velocidades son ligeramente mayores a la mitad de las velocidades obtenidas en la simulación de la configuración anterior.

Con respecto al nivel de la superficie libre, como era de esperarse, no se aprecia un amortiguamiento significativo de la marea a lo largo del puerto.

Aún cuando bajo estas condiciones de marea se logran desarrollar las velocidades máximas, al igual que para las mareas muertas, la zona norte de la laguna tiene una dinámica muy pobre.

Por otra parte, tanto para mareas muertas y vivas, la incorporación del dren le dinámica a la zona sur de la franja ecológica de manglar, la cual bajo la condición anterior mostraba un movimiento prácticamente nulo.

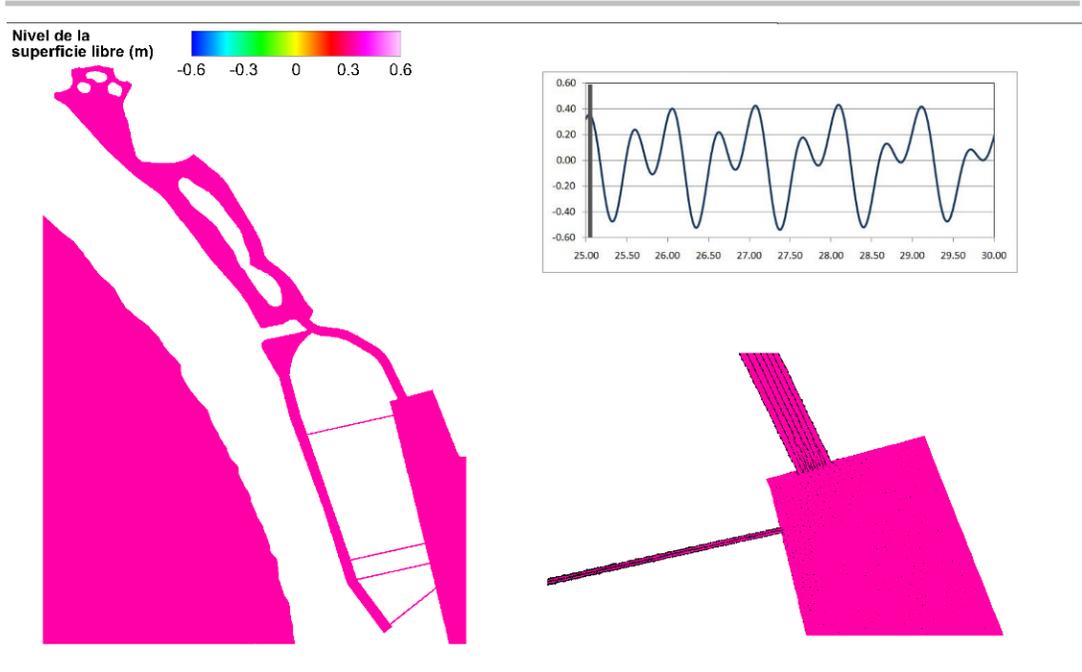


Figura 4.22 Elevación de la superficie libre en el puerto. 25 de mayo de 2010, 01:30 h (GMT).

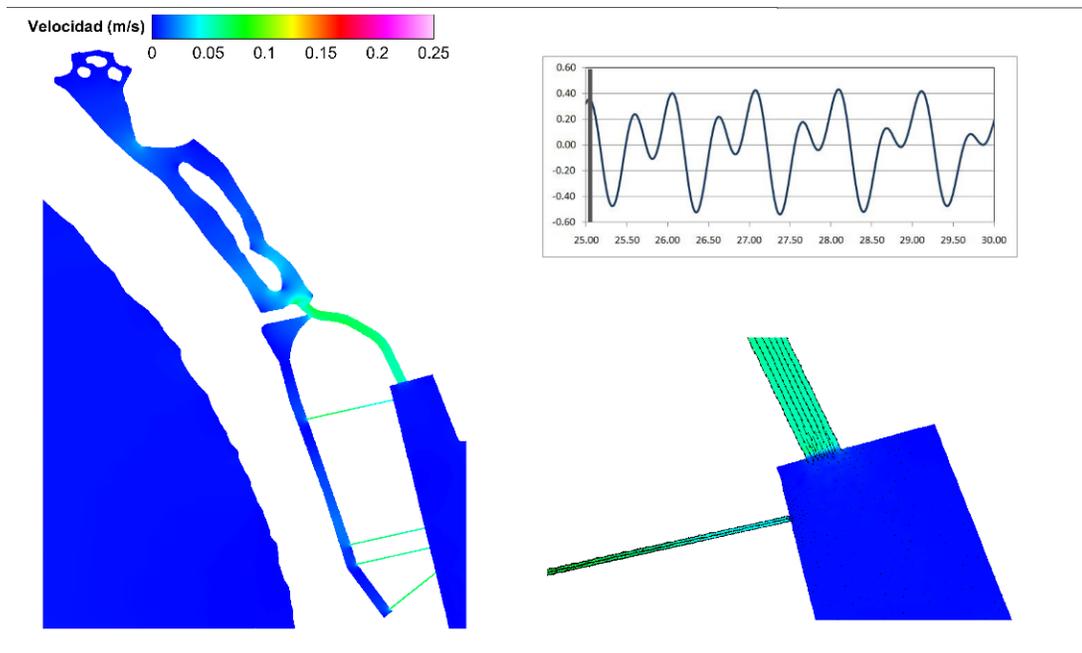


Figura 4.23 Campo de velocidades. 25 de mayo de 2010, 01:30 h (GMT).

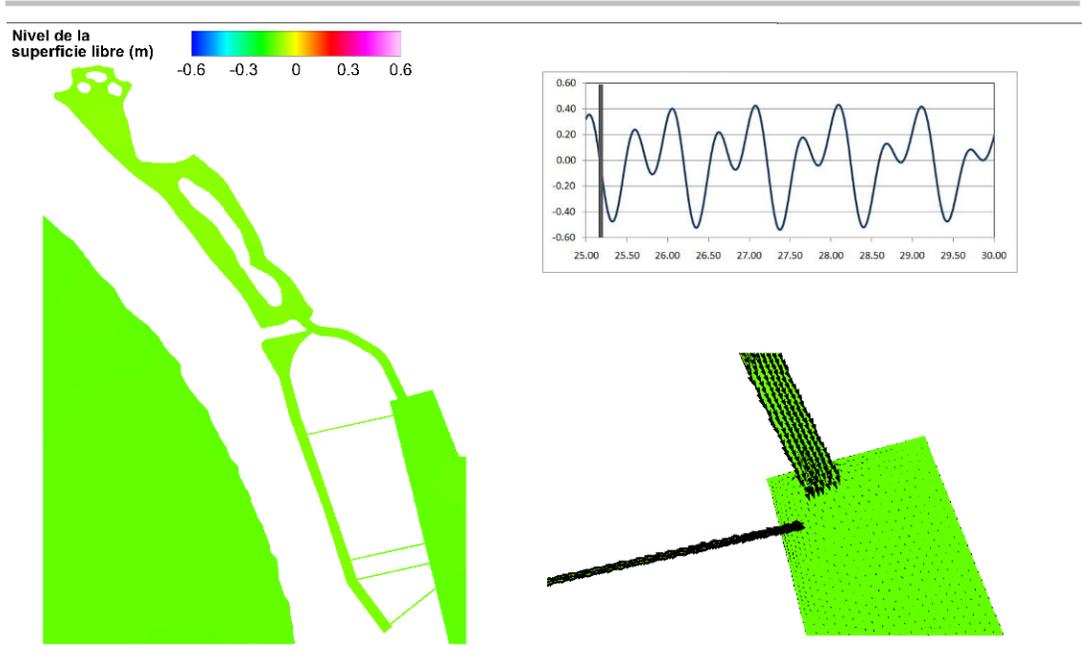


Figura 4.24 Elevación de la superficie libre en el puerto. 25 de mayo de 2010, 04:30 h (GMT).

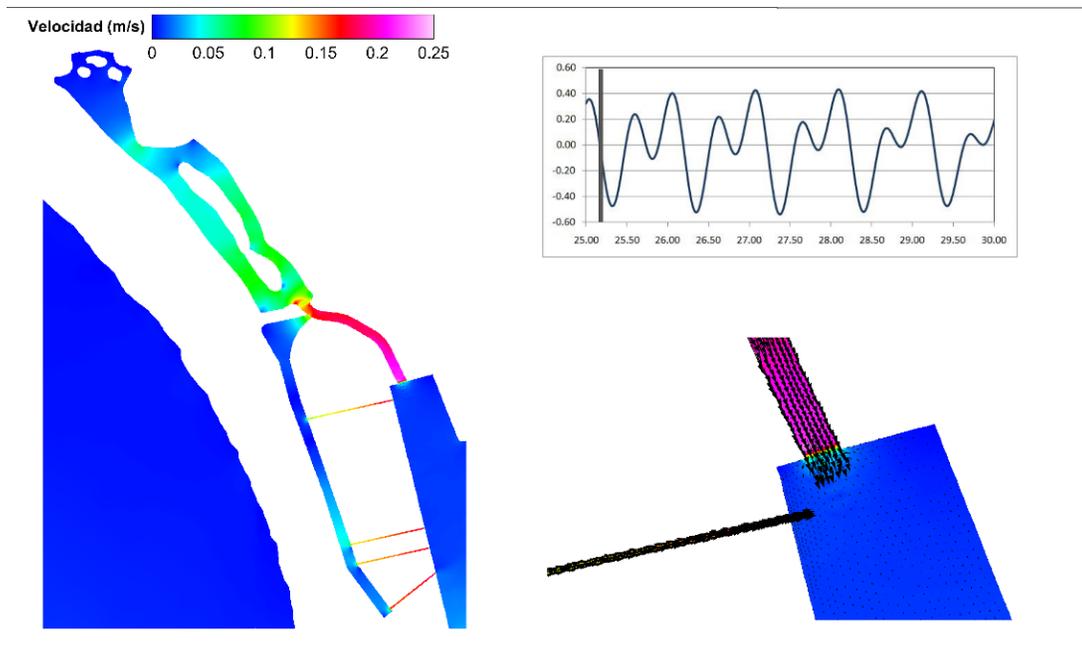


Figura 4.25 Campo de velocidades. 25 de mayo de 2010, 04:30 h (GMT).

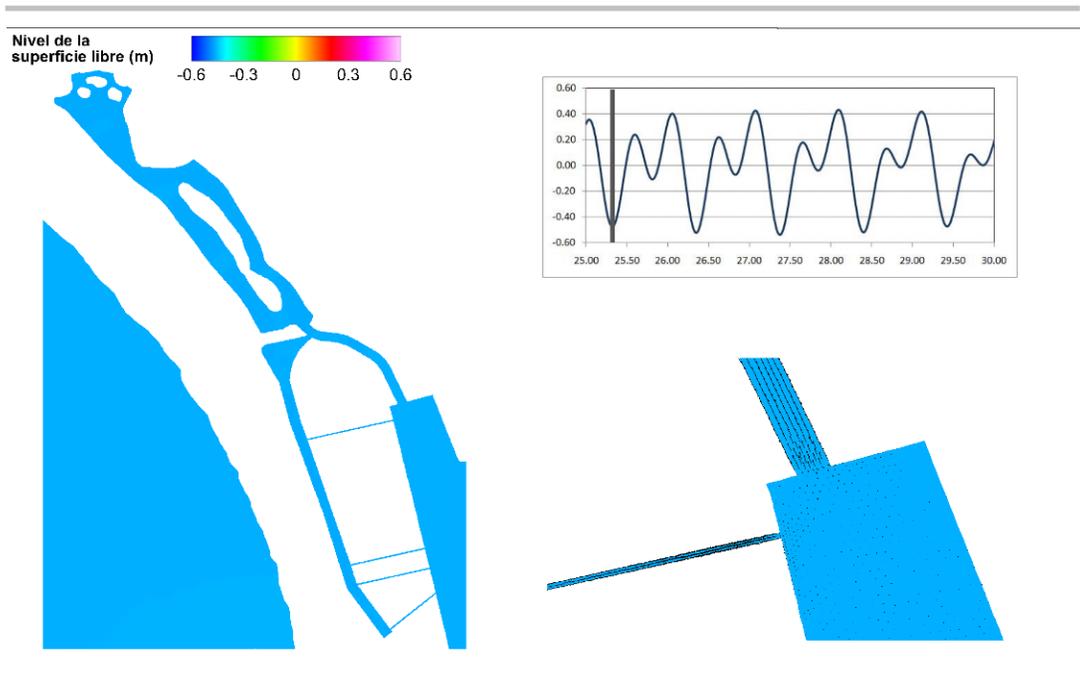


Figura 4.26 Elevación de la superficie libre en el puerto. 25 de mayo de 2010, 07:45 h (GMT).

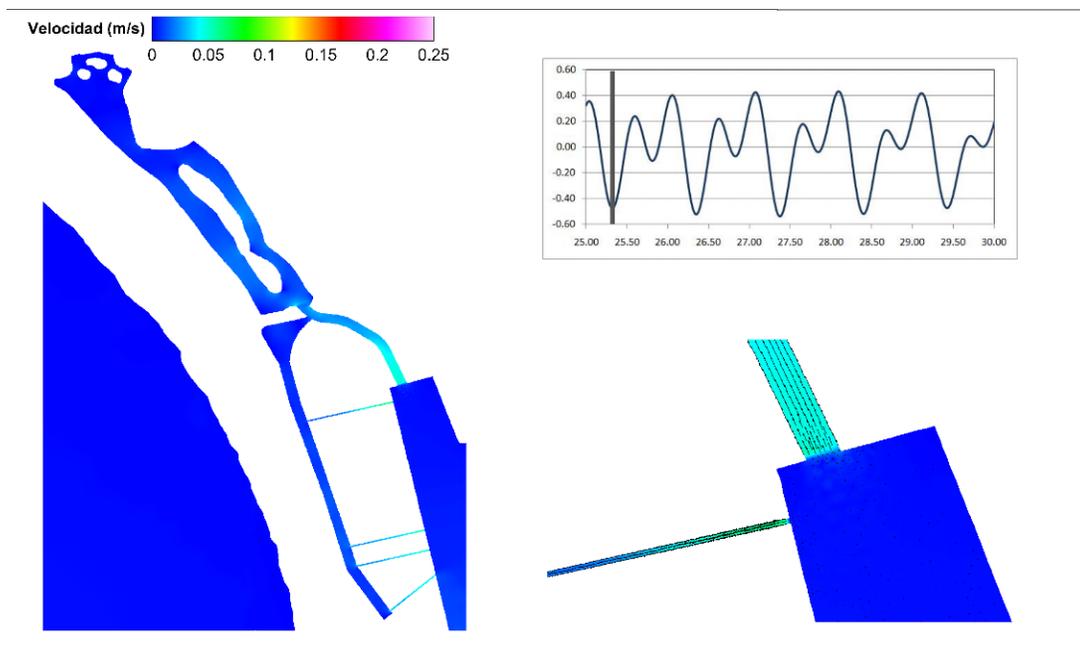


Figura 4.27 Campo de velocidades. 25 de mayo de 2010, 07:45 h (GMT).

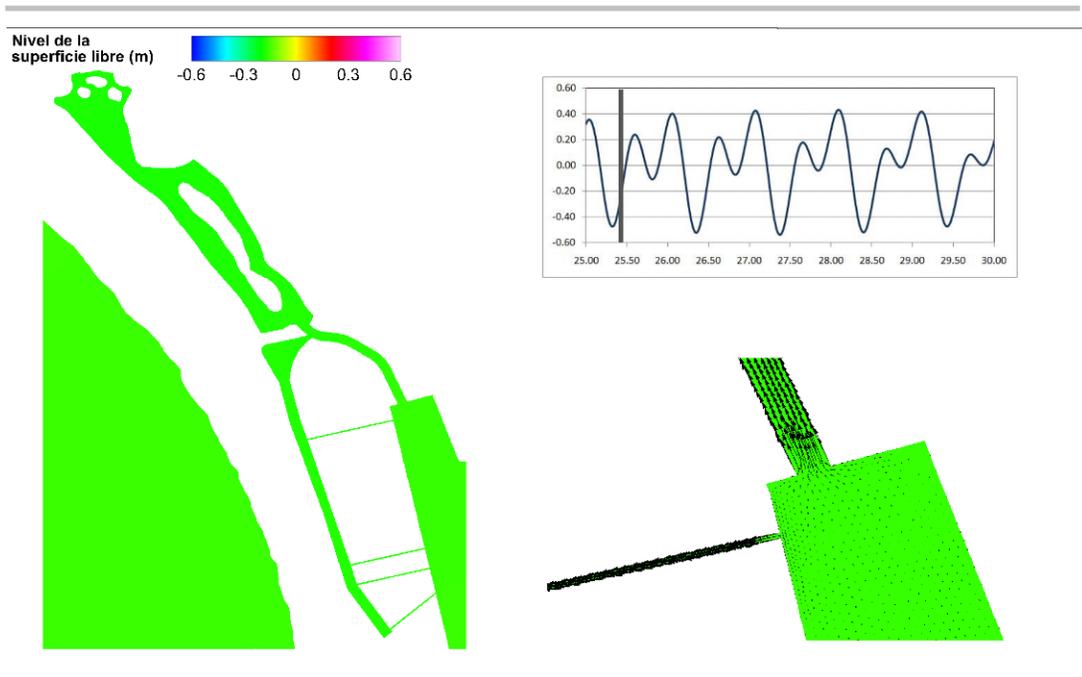


Figura 4.28 Elevación de la superficie libre en el puerto. 25 de mayo de 2010, 10:30 h (GMT).

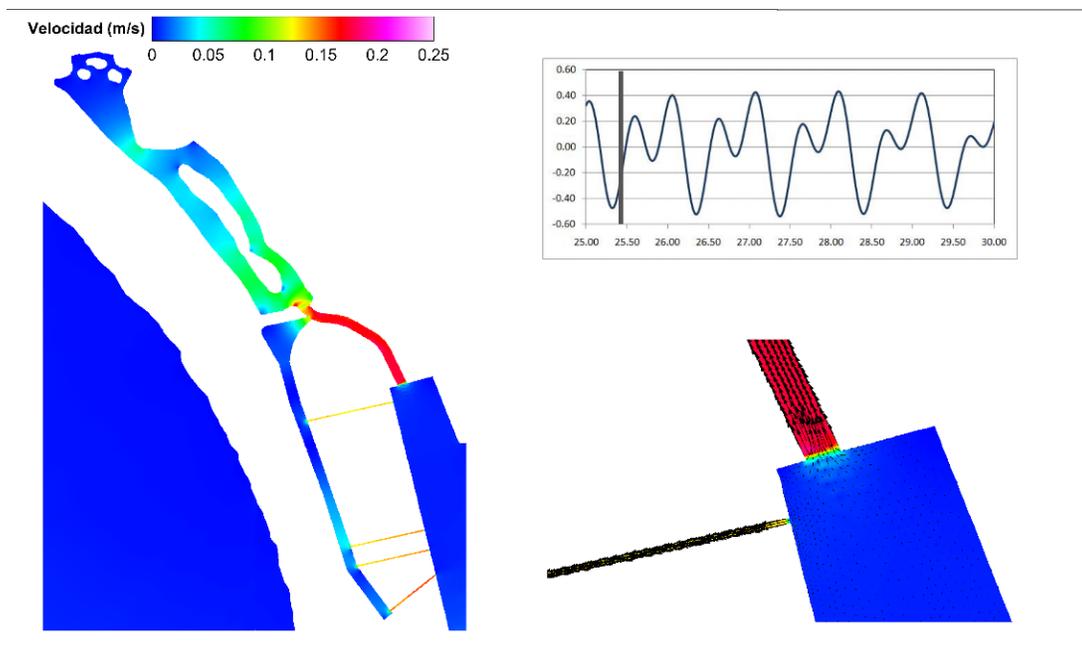


Figura 4.29 Campo de velocidades. 25 de mayo de 2010, 10:30 h (GMT).

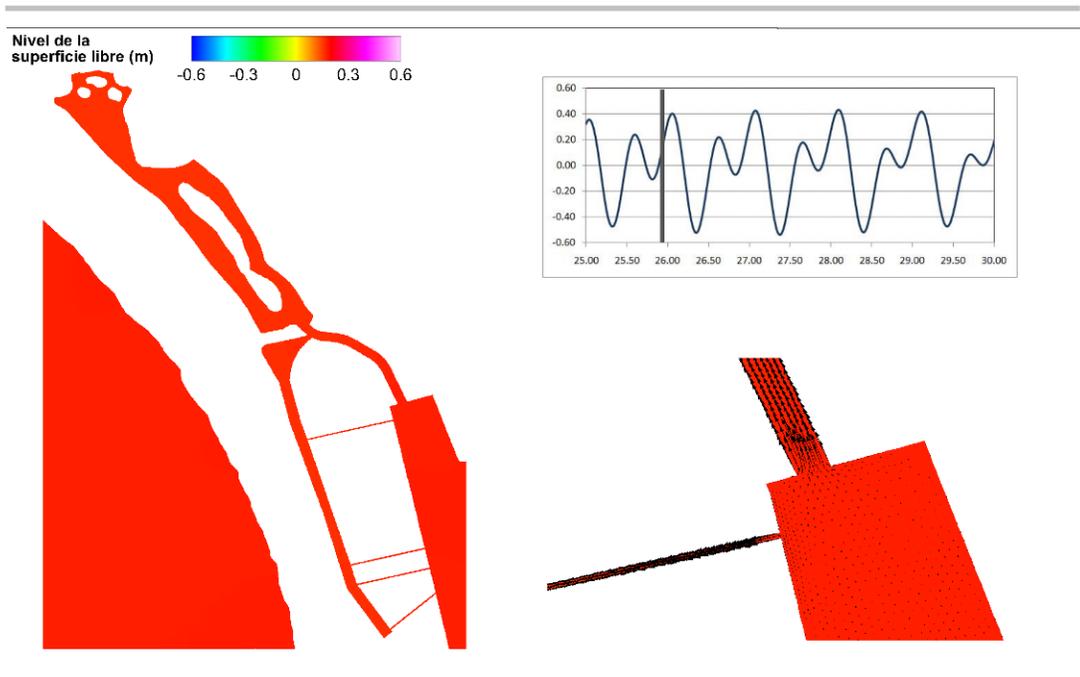


Figura 4.30 Elevación de la superficie libre en el puerto. 25 de mayo de 2010, 22:30 h (GMT).

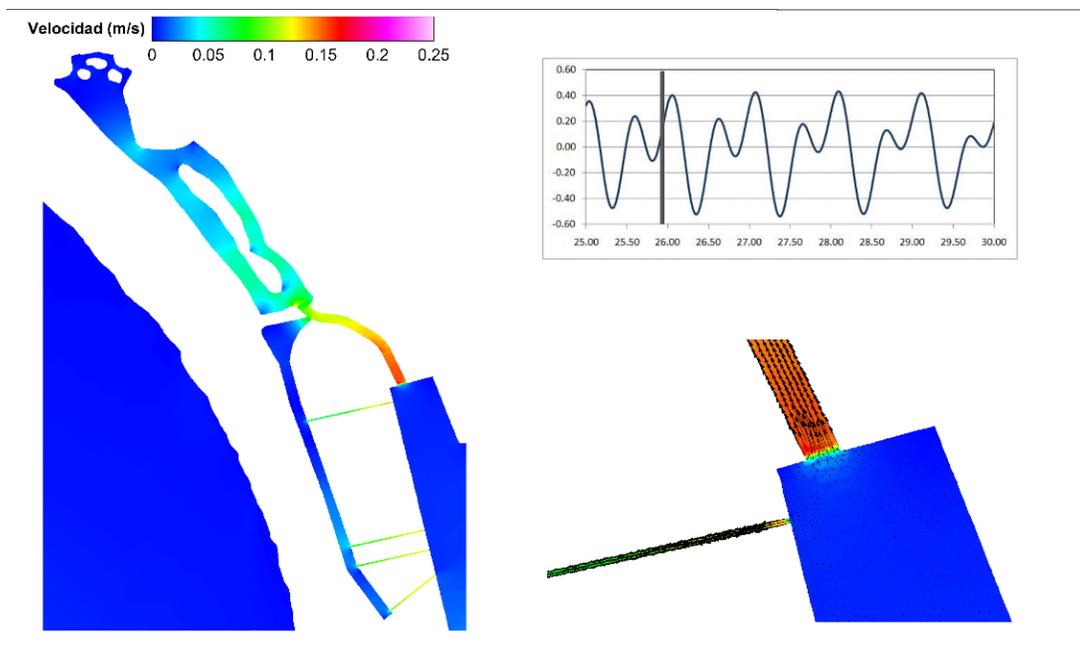


Figura 4.31 Campo de velocidades. 25 de mayo de 2010, 22:30 h (GMT).

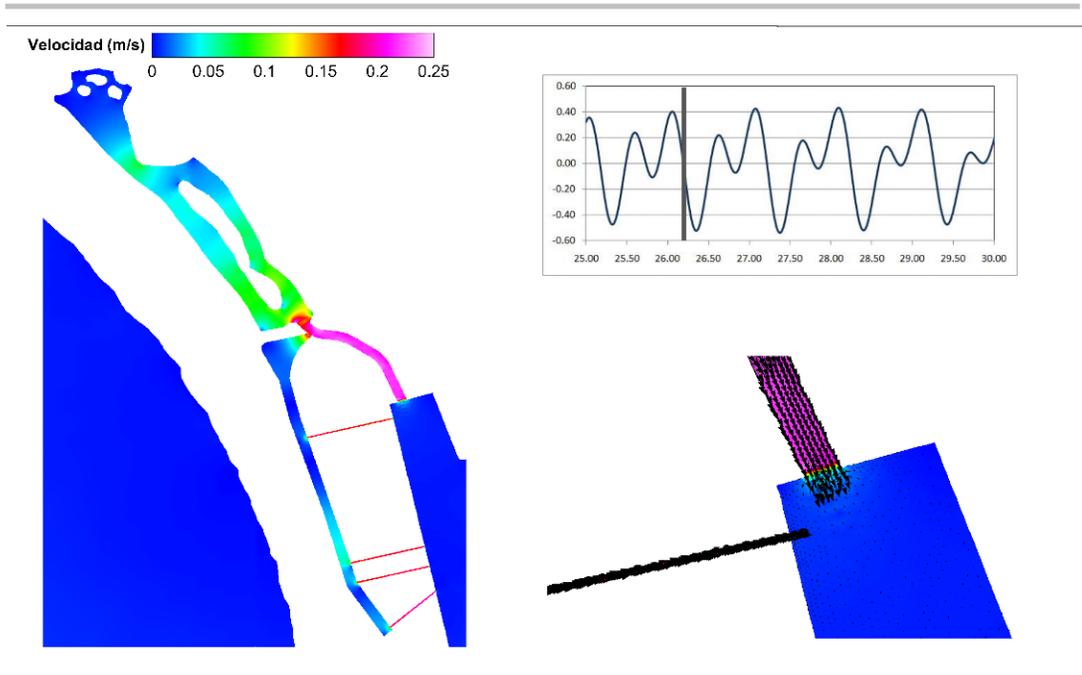


Figura 4.32 Elevación de la superficie libre en el puerto. 26 de mayo de 2010, 04:45 h (GMT).

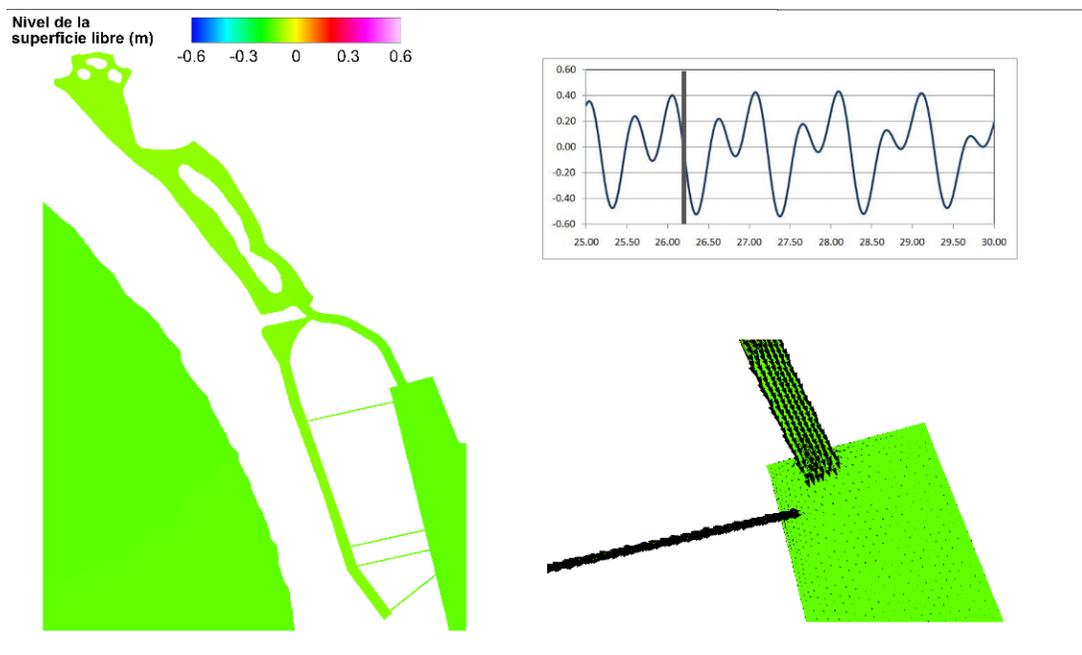


Figura 4.33 Campo de velocidades. 26 de mayo de 2010, 04:45 h (GMT).

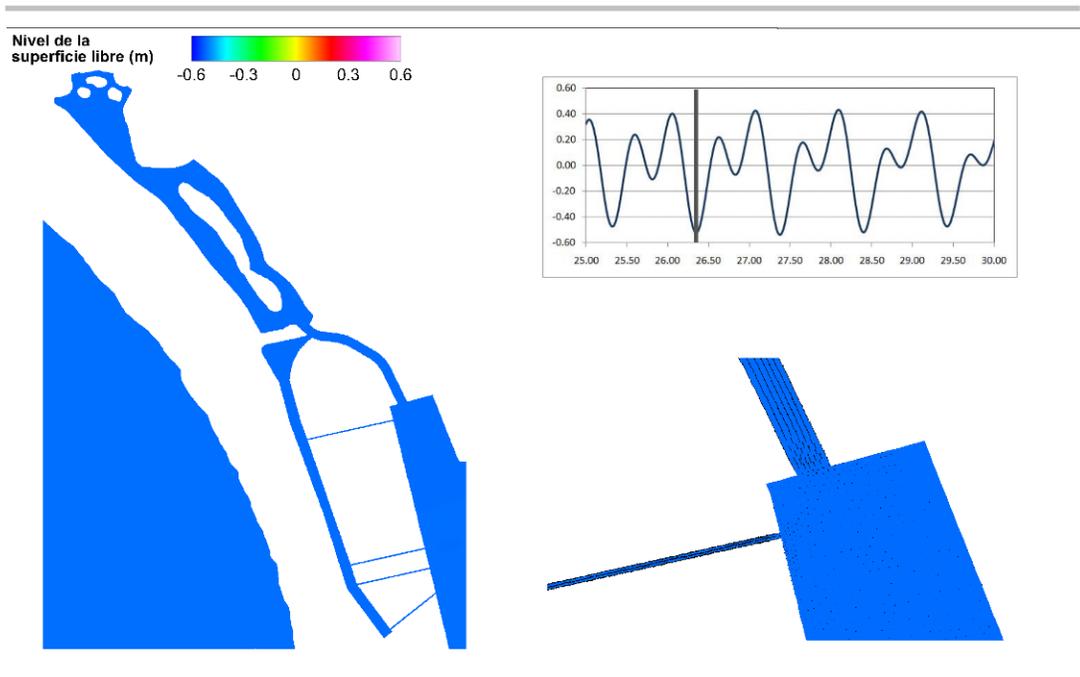


Figura 4.34 Elevación de la superficie libre en el puerto. 26 de mayo de 2010, 08:30 h (GMT).

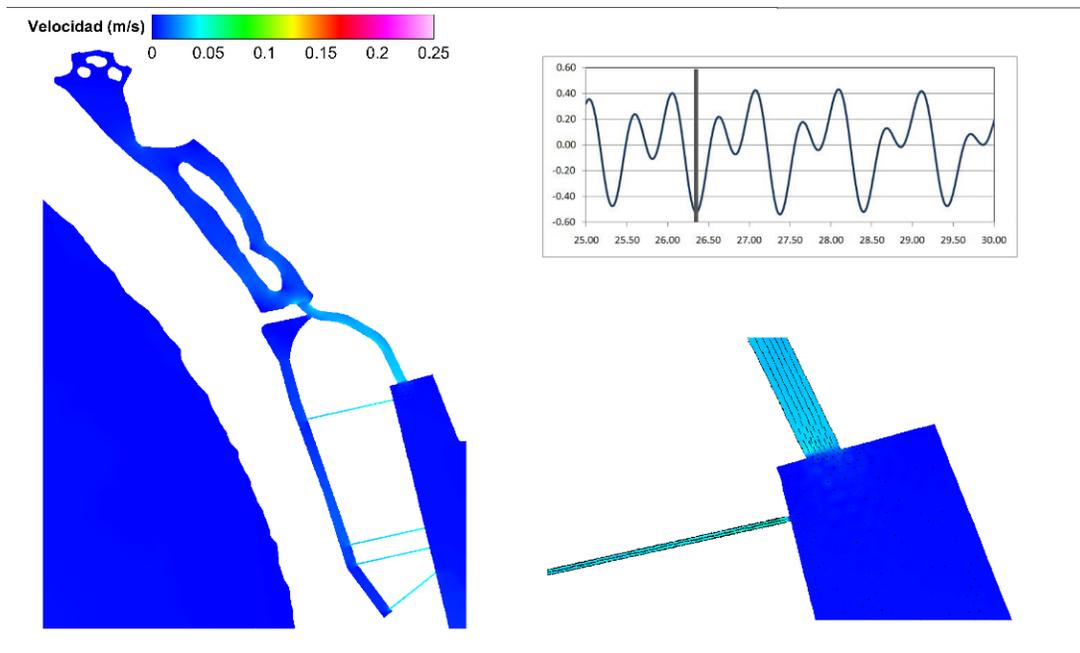


Figura 4.35 Campo de velocidades. 26 de mayo de 2010, 04:45 h (GMT).

## 5. Modelación numérica de la salinidad

Para la simulación de la salinidad, únicamente se tomó en cuenta la nueva geometría de proyecto de la laguna de Las Garzas (Figura 5.1). La simulación tiene como frontera el inicio del canal de comunicación (del lado del puerto).

Las simulaciones se llevaron a cabo mediante un modelo tridimensional de diferencias finitas. El dominio fue discretizado con una malla de 5.0 X 5.0 X 0.5 m de lado en  $x, y, z$ , respectivamente, resultando un total de 424688 celdas.

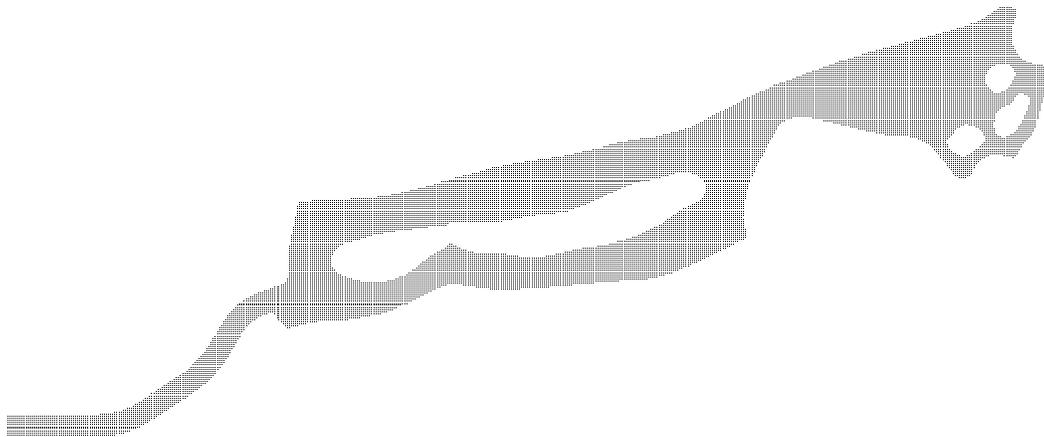


Figura 5.1 Vista en planta de la malla para la simulación de la salinidad.

Las ecuaciones utilizadas para representar la hidrodinámica fueron las siguientes:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y}$$

$$\frac{\partial w}{\partial z} = -\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right)$$

$$\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \int_{-d}^{\eta} u dz \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \int_{-d}^{\eta} v dz \right)$$

donde  $u, v, w$  son las velocidades en  $x, y, z$ , respectivamente,  $P$  es la presión;  $\rho$ , la densidad del agua, dada por  $\rho(\bar{S}, \bar{T}, \bar{P}) = \frac{\rho_0}{\left(1 - \frac{\bar{P}}{k_p}\right)}$ , y  $\eta$ , la elevación de la superficie libre.

Para la modelación de la salinidad, se utilizó la siguiente ecuación de transporte:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right)$$

donde  $C$ , es la concentración de salinidad, y  $K_x, K_y, K_z$  son los coeficientes de difusión en las direcciones  $x, y, z$ , respectivamente.

Para la presente simulación se consideró una concentración inicial de 0.0 ups en toda la laguna, y una descarga constante de 230 l/s con una concentración de salinidad nula, la cual fue posicionada en la zona de las tres islas.

De la Figura 5.1 a la Figura 5.6, se muestra el campo de concentración de salinidad en la superficie libre del agua para toda la laguna de las garzas, para cinco, 55, 105, 155 y 222 h de simulación.

De acuerdo con los resultados, puede observarse que para las 5 h de simulación la salinidad ha penetrado hasta pasar la isla, aumentando la salinidad hasta las casi cinco ups. Para las 55 h de simulación, la salinidad menor en la laguna es de 17 ups, lo que refleja la capacidad de intercambio de agua del sistema. Para las 105 h de simulación, la salinidad en la parte norte de la laguna ya ha rebasado las 20 ups, con excepción de la zona de la descarga, donde se tiene una concentración ligeramente menor debido a la descarga constante de agua dulce. Finalmente, para las 155 y 222 h, puede observarse que la salinidad en casi toda la laguna es mayor de las 30 ups.

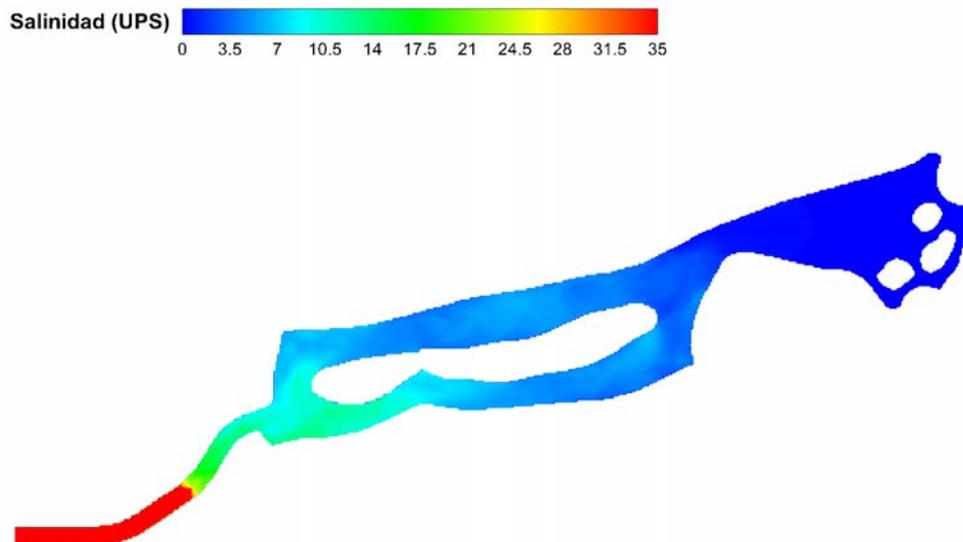


Figura 5.2 Concentración de salinidad en la superficie libre a 5 hr de simulación.

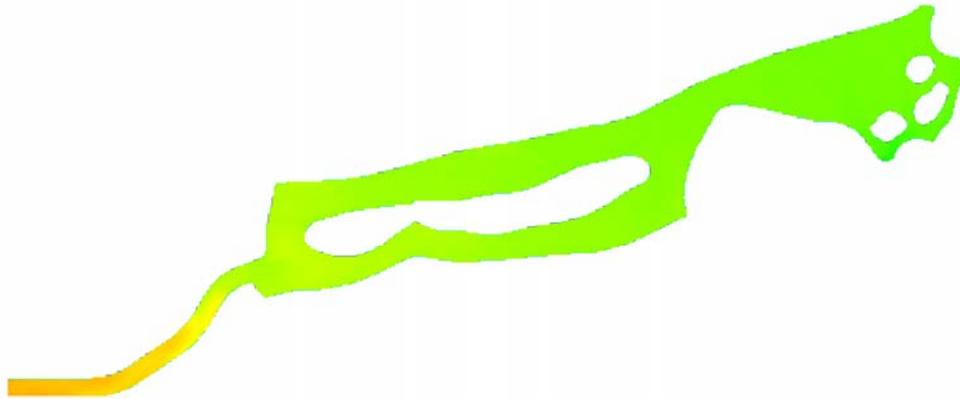
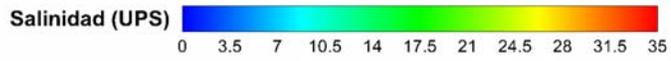


Figura 5.3 Concentración de salinidad en la superficie libre a 55 hr de simulación.

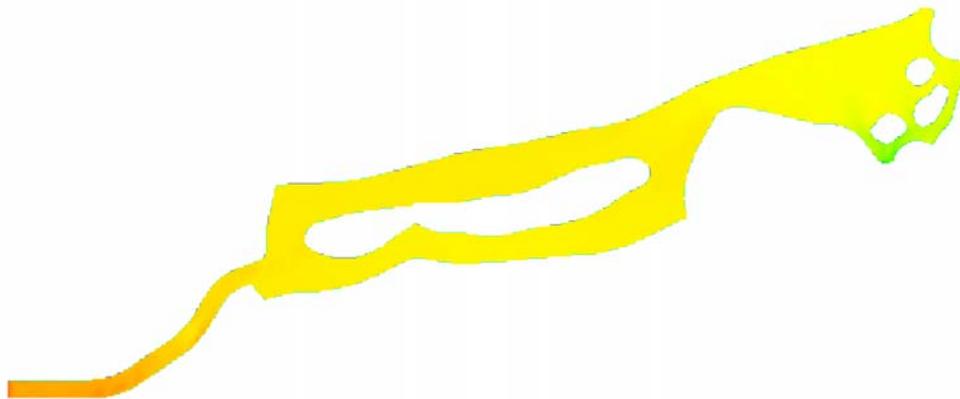


Figura 5.4 Concentración de salinidad en la superficie libre a 105 hr de simulación.

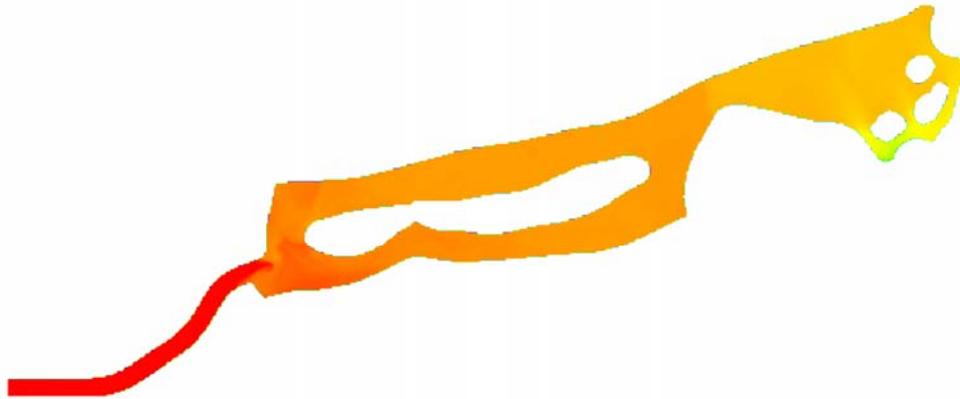
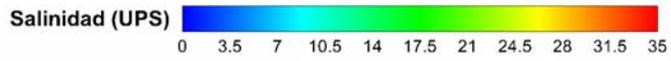


Figura 5.5 Concentración de salinidad en la superficie libre a 155 hr de simulación.

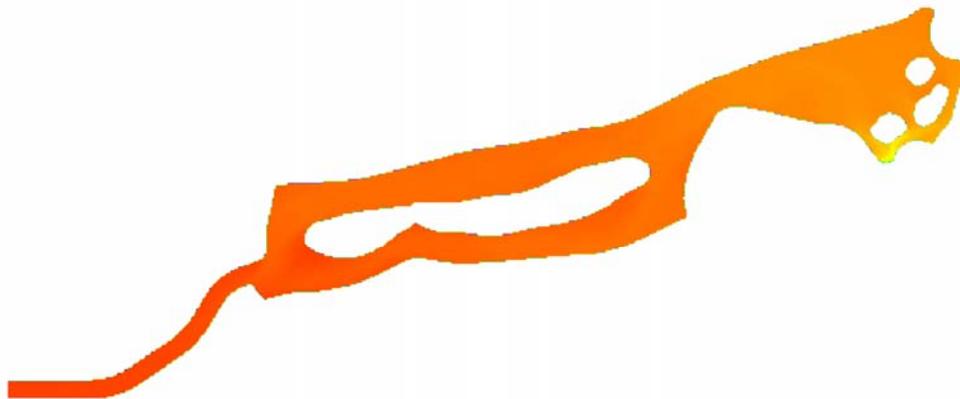


Figura 5.6 Concentración de salinidad en la superficie libre a 222 hr de simulación.



---

Para esta nueva configuración de proyecto, el recambio total de agua se logró aproximadamente en nueve ciclos de marea, a diferencia de los seis ciclos de marea en los que se lograba en la configuración anterior. Sin embargo, el recambio total de agua se sigue realizando en un periodo corto de tiempo, mismo que refleja la capacidad de recambio de agua que se presentará en la laguna una vez que la comunicación.

Puede observarse también, que en la de las islas, habrá una concentración menor de salinidad en la superficie libre del agua, mas sin embargo, el cuerpo de agua será completamente salino.

## 6. Conclusiones

De acuerdo con los datos obtenidos mediante las mediciones de campo, se observó que el puerto de manzanillo tiene una hidrodinámica compleja para la época en la que se realizaron las mediciones, condición que análoga que se observó en el estudio anterior (Morales *et al*, 2009). Esto es debido a la interacción de masas de agua de diferente densidad. Esto último provoca que en ocasiones lleguen a presentarse flujos en sentidos contrarios en dos capas en el canal de acceso.

Los registros de medición de temperatura y salinidad, muestran una distribución en la vertical clara de dos capas a las afueras del canal de acceso (estación 9) y en la boca del mismo (estación 7), sin embargo, dicha estructura se rompe al paso de los barcos.

De acuerdo con el registro de temperatura obtenido mediante los sensores de presión, se observó la llegada de aguas más cálidas en la región, registrando un incremento de temperatura del orden de los seis grados en el canal de acceso al puerto, y de dos grados en las cercanías de la laguna de las garzas.



Del registro de la variación de niveles obtenido en el dren ecológico, puede esperarse que la onda de marea no tendrá un amortiguamiento significativo, ya que durante el periodo de medición del sensor de presión, el dren estaba conectado a la dársena de San Pedrito mediante una tubería azolvada.

Por otra parte, entre los resultados más relevantes derivados de las simulaciones numéricas se encuentran los siguientes:

- 1) La onda de marea no sufre un amortiguamiento significativo a lo largo del puerto y de la Laguna de las Garzas.
- 2) Los drenes ecológicos presentan un buen funcionamiento hidráulico, que permitirá que la onda de marea llegue a inundar la franja ecológica del manglar. La incorporación del dren sur le dará dinámica a la zona que conecta, misma que era una zona de estancamiento en la configuración de proyecto anterior (Morales *et al*, 2009).
- 3) Las velocidades en el canal de comunicación de la laguna de las garzas serán del orden de la mitad en magnitud que las que se alcanzaban en la configuración de proyecto anterior.
- 4) El recambio total de la masa de agua de la laguna de las garzas pasará de 6 a 9 ciclos de marea en promedio.
- 5) El efecto de los pilotes de los puentes que pasarán por encima del canal de comunicación tiene un efecto mínimo en la modificación de la amplitud y fase de la onda de marea. Como efecto local se espera que la zona exista bajo ciertas condiciones un fuerte proceso de mezcla.



---

## Referencias

General bathymetric chart of the oceans, GEBCO. (2009).

[http://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/)

Howes B.L., E.M. Eichner, S.W. Kelley, J. S. Ramsey, R.I. Samimy, D.R. Schlezinger (2007). *Linked Watershed-Embayment Model to Determine Critical Nitrogen Loading Thresholds for the Little Namskaket Marsh Estuarine System, Orleans, MA*. SMAST/DEP Massachusetts Estuaries Project, Massachusetts Department of Environmental Protection. Boston, MA.

Kessler, W., 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* (69) p. 181-217.

Le Provost C., Genco M. L., Lyard F., Vincent P. and Canceil P. (1994). *Spectroscopy of the world ocean tides from finite element hydrodynamic model*. *Journal of Geophysical Research*.

Morales-Perez, R., Aguilar-Chávez, A., Laurel-Castillo, J.A., Vélez-Muñoz, H., Mejía-Astudillo, V., Hernández-Meza, D. (2009). *Estudio con el análisis de escenarios de modelación de la Unión de la Laguna de las Garzas con la Dársena de San Pedrito en Manzanillo, Colima*. Contrato API-MAN-CON-10-09/HC-0920.3, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México.

Secretaría de Marina (1997). *Carta náutica numero 21342A*.

Westerink, J.J., Blain, C. A., Luettich, R. A. y W, Scheffner. N. (1994). *ADCIRC: An advanced three-dimensional circulation model for shelves coasts, and estuaries*. Report 2, User's manual for ADCIRC-2DDI, Department of the Army, U.S. Army corps of engineers. Washington, DC.



## Anexo A Simulación de los efectos de los pilotes

La configuración de funcionamiento de los patios de maniobras de la ampliación del puerto de manzanillo, considera la adecuación de dos puentes sobre el canal de comunicación entre la Laguna de las Garzas y la dársena de San Pedrito. La vista en planta de la configuración geométrica de los puentes se puede ver en las figura A.1 para el cruce 1, y A.3 para el cruce 2.

La cimentación de los cruces consiste en un entramado de pilotes de 0.5x0.5m de sección transversal y en forma general como una cuadrícula de 7x8 m y se ubican sobre el lecho del canal de comunicación.

En esta parte del estudio se evalúa la influencia de la cimentación de los dos cruces en la hidrodinámica del canal de interconexión. Las condiciones de frontera e inicial son para el flujo máximo que presenta en la condición de marea viva, y un nivel 2.00 m uniforme sobre el canal. Con estos valores de frontera se realizó la modelación numérica para determinar el retardo de la marea y disminución del volumen entrante.

La modelación numérica se realizó con un modelo de dinámica de fluidos computacional (DFC) en tres dimensiones, en donde la ecuación de conservación de masa y cantidad de movimiento se representan como:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\vec{u}\phi - \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_i}) = S_\phi, \quad (\text{A.1})$$

donde  $\rho$ , es la densidad del fluido;  $\vec{u} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}$ , vector velocidad;  $\Gamma_\phi$ , coeficiente de intercambio de difusión, y  $S_\phi$ , son los términos fuente.

La ecuación de cantidad de movimiento se define como:

$$\phi = u, v, w, \quad (\text{A.2})$$

$$\Gamma_\phi = \mu_t + \mu, \quad (\text{A.3})$$

$$S_\phi = \frac{\partial p}{\partial x_j} + \vec{g}, \quad (\text{A.4})$$

donde  $\mu_t$  y  $\mu$ , viscosidad dinámica turbulenta y laminar;  $p$ , presión, y  $g$ , la gravedad. La ecuación de conservación de masa se tiene para los términos de A.1 con los valores siguientes  $\phi = 1$  y  $\Gamma_\phi = S_\phi = 0$ .

El sistema de ecuaciones se resuelve en forma acoplada con un modelo de turbulencia, en este análisis se utilizó un modelo de dos variables tipo  $\kappa - \varepsilon$ , y la formulación para la ecuación de producción y disipación de turbulencia son:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \kappa) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \kappa u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\kappa} \right) \frac{\partial \kappa}{\partial x_j} \right] + \text{término de producción}, \quad (\text{A.5})$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \text{términos de disipación}, \quad (\text{A.6})$$

y la ecuación de la modelación de la turbulencia

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{\kappa^2}{\varepsilon}, \quad (\text{A.7})$$

### Espacio de modelación

La modelación se realizó en forma independiente para el cruce 1 y 2, los datos de mallaje computacional se puede consultar en la tabla A.1. La condición de frontera para el fondo y pilas se propuso una rugosidad absoluta de 0.07m y para las paredes de 0.20m, esto debido a que las paredes tiene una lámina acanalada con tablaestacado. La condición de

frontera a la entrada es un flujo 0.17 m/s (pleamar máxima en marea viva) y la salida una condición tipo Neumann para flujo con un valor de gradiente nulo ( $\partial u_i / \partial x_i |_{\Gamma_N} = 0; t > 0$ ).

Escenario	Dimensión del dominio (metros)			Número de celdas de cálculo		
	x	y	z	Nx	Ny	Nz
Cruce 1 base	80	54	2	134	129	20
Cruce 1	80	54	2	134	129	20
Cruce 2 base	175	54	2	306	129	20
Cruce 2	175	54	2	306	129	20

Tabla A.1 Dimensión y discretización del dominio de simulación

### Estrategia de modelación

Para evaluar el efecto de los pilotes en el funcionamiento hidrodinámico del canal de interconexión, se propuso en primera instancia generar un escenario de funcionamiento hidrodinámico sin pilotes, a este escenario se le denominó “escenario base”. Los resultados obtenidos, en este escenario, se evaluó la caída de presión entre la entrada y salida, efecto definido por la fricción de fondo y paredes, así como el valor del tiempo de residencia, que se definió como el periodo más grande que una partícula recorre el campo de flujo. Posteriormente, se generó un nuevo escenario de simulación incluyendo los pilotes, y se obtuvieron de igual manera el valor de caída de presión y de tiempo de residencia. La geometría de modelación del cruce 1 y 2 con pilotes se presentan en las figuras A.3 y A.4.

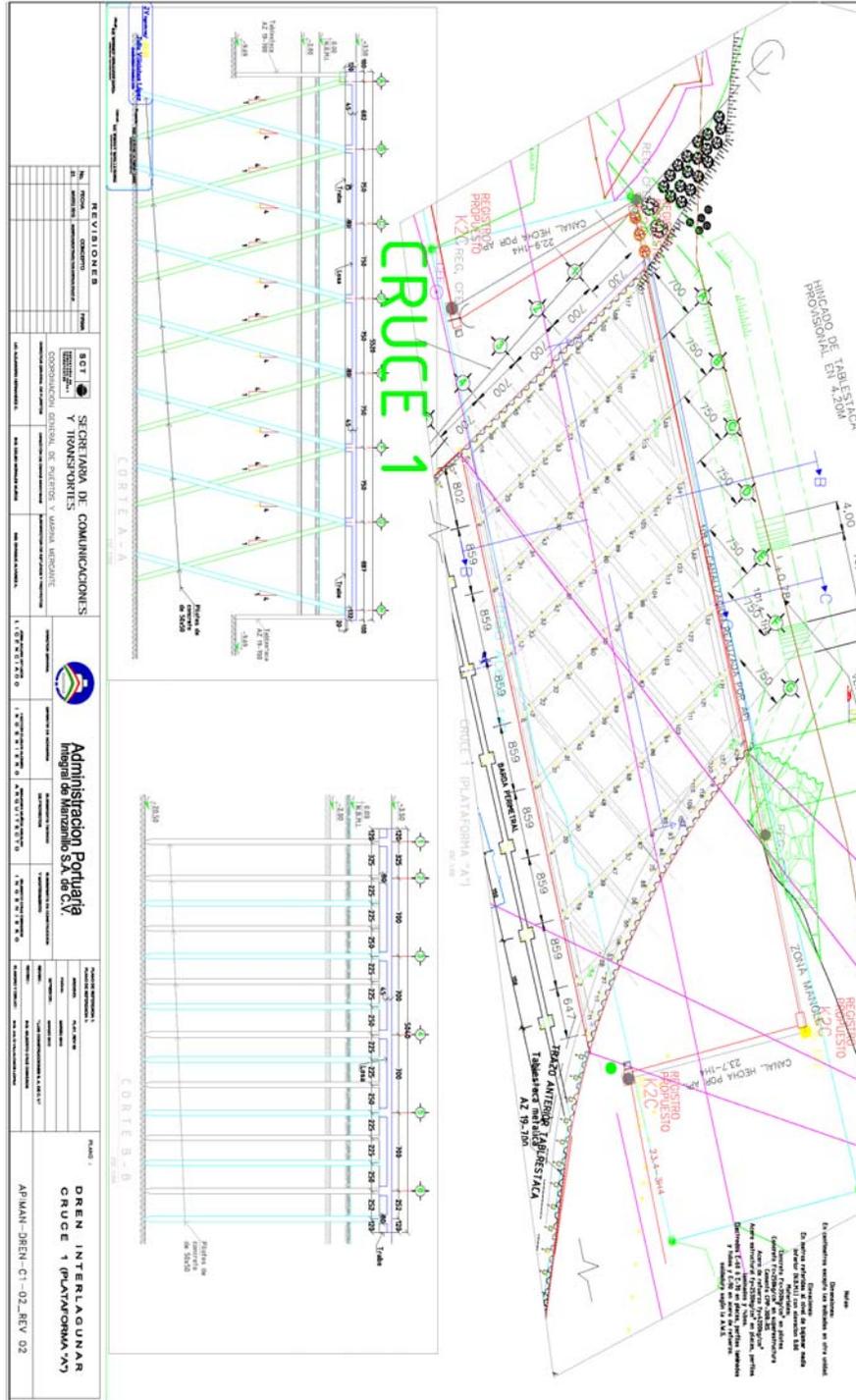


Figura A.1 Plano del cruce 1



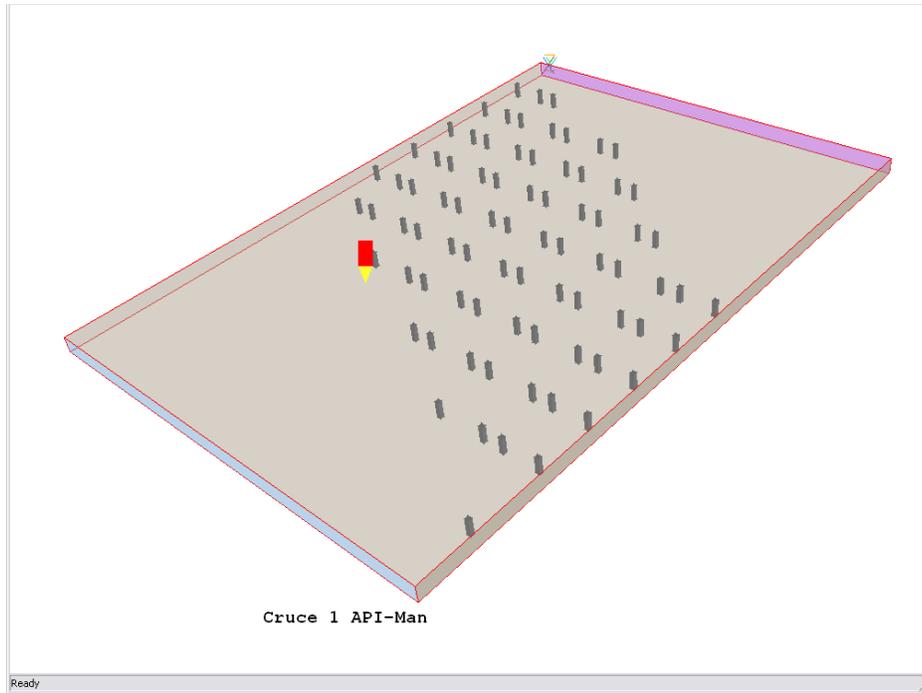


Figura A.3 Configuración geométrica del Cruce 1.

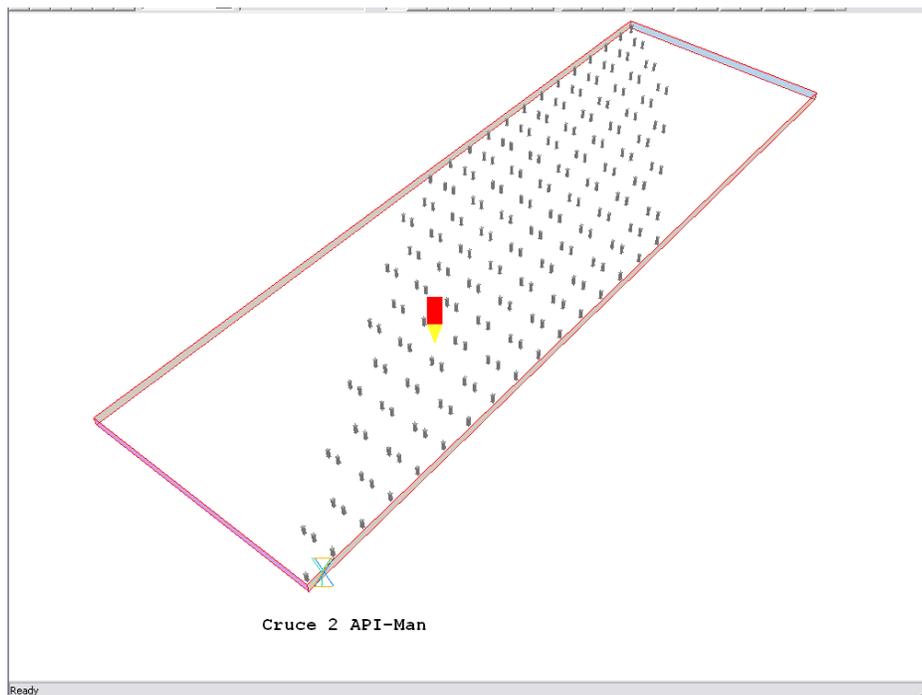


Figura A.4 Configuración geométrica del Cruce 2.

### Resultados de la modelación

Los contornos de presiones e iso-velocidades se presentan en las figuras A.5 y A.6 para el escenario del cruce 1 y en las figuras A.7 y A.8 para el Cruce 2, de igual forma el tiempo de residencia para el cruce 1 en figura A.9 y A.10 para el cruce 2. El resumen de valores de caída de presión y tiempo de residencia se muestran en la tabla A.2.

Los efectos de las pilas de los puentes de los cruces 1 y 2 determinados con la modelación numérica son un retardo en 207 s (3.45 min) y una disminución del caudal de 1.03%, pasando de un flujo máximo de 18.36 m<sup>3</sup>/s a 18.17 m<sup>3</sup>/s. Lo anterior indica que los efectos de los cruces sobre la hidrodinámica del canal serán poco perceptibles, ya que sea en el tiempo de ingreso y salida de la marea, así como en la cantidad de masa de intercambio entra la laguna de Las Garzas y la dársena de San Pedrito.

Escenario	Presión	Tiempo de residencia	Efecto de los pilotes en los cruces	
	(Pa)	(s)	$\Delta P$ (Pa)	$\Delta t$ (s)
Cruce 1 base	9.4	588	11.1	56
Cruce 1	20.5	644		
Cruce 2 base	19.8	1221	34.7	151
Cruce 2	54.5	1372		
<b>Efecto de los cruces sobre todo el canal</b>			<b>45.8</b>	<b>207</b>

Tabla A.2 Resumen de resultados de la modelación de los cruces 1 y 2.

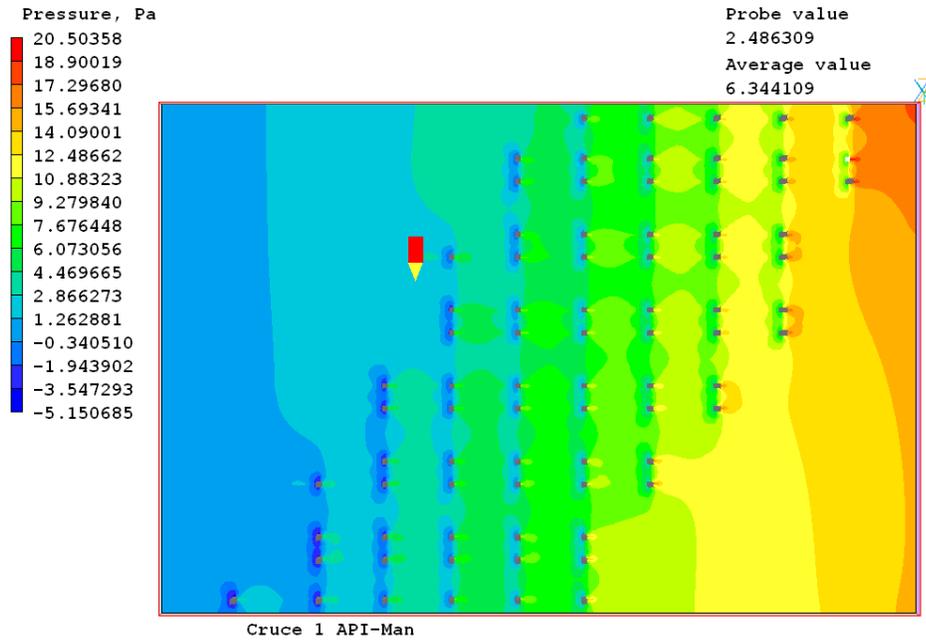


Figura A.6 Contornos de presiones Cruce 1.

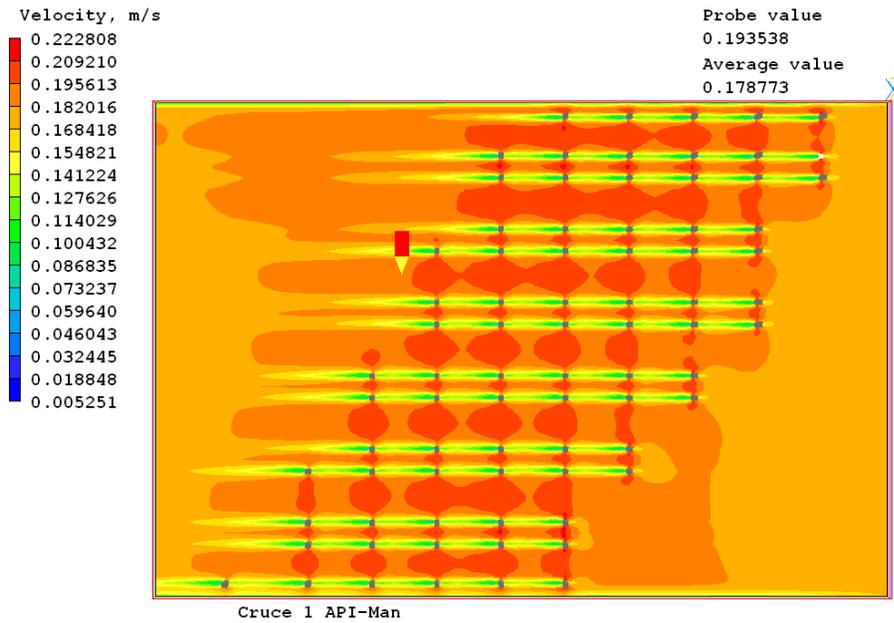
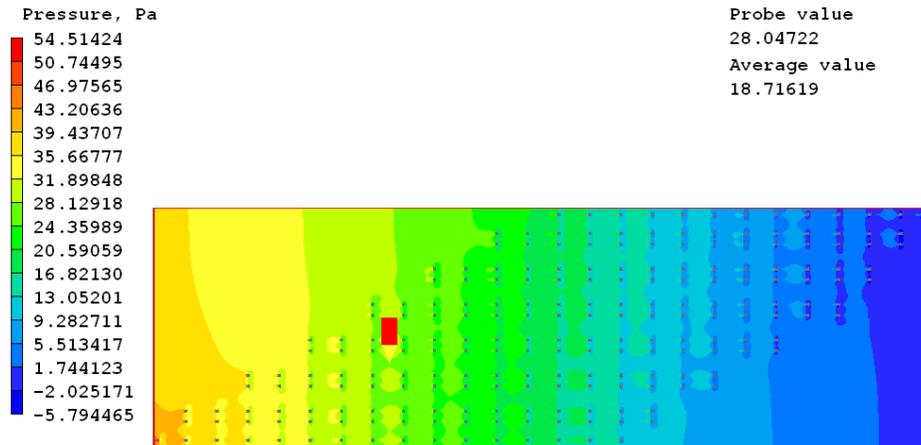
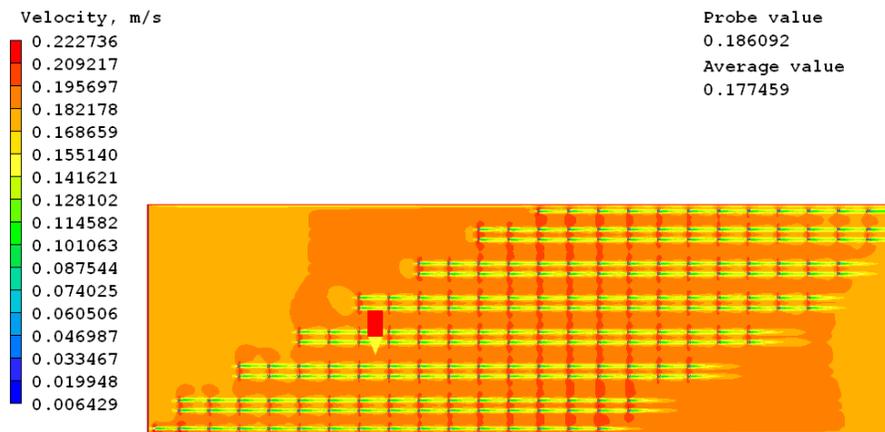


Figura A.7 Contornos de iso-velocidades Cruce 1.



Cruce 1 API-Man

Figura A.8 Contornos de presiones Cruce 2.



Cruce 1 API-Man

Figura A.9 Contornos de iso-velocidades Cruce 2.

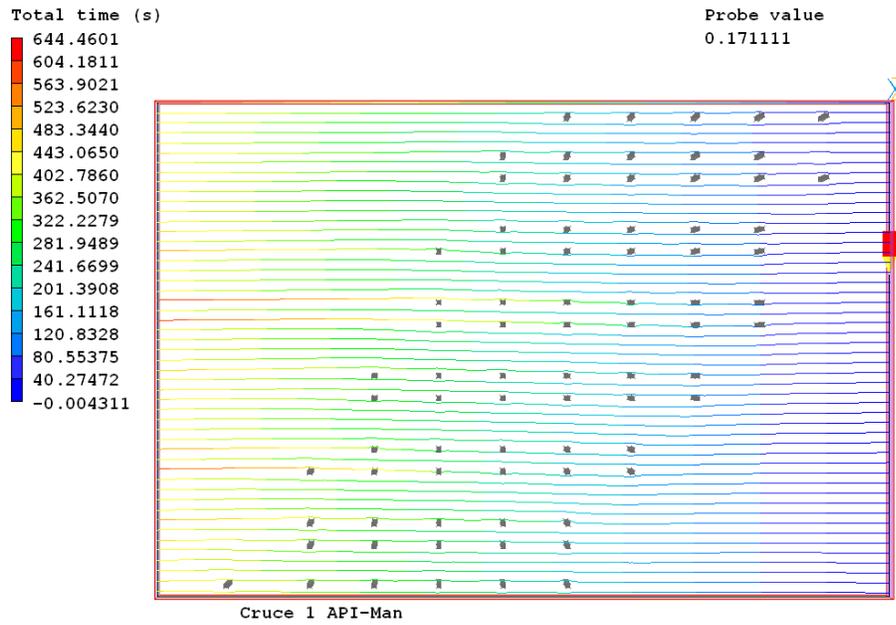


Figura A.10 Tiempo de residencia Cruce 1.

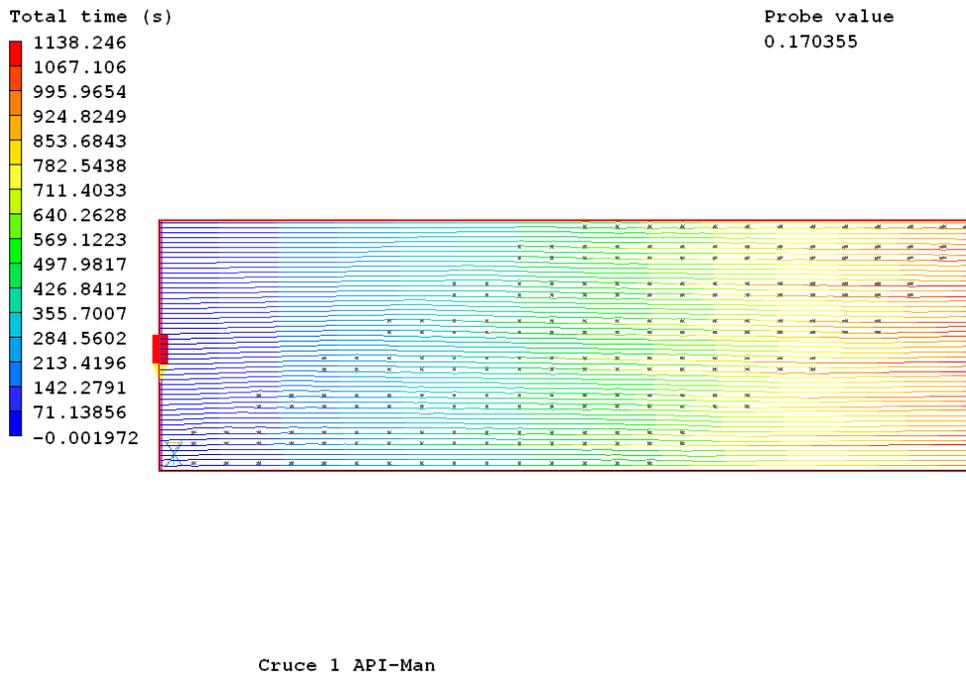


Figura A.11 Tiempo de residencia Cruce 2.

## Anexo B Perfiles de salinidad, temperatura y densidad

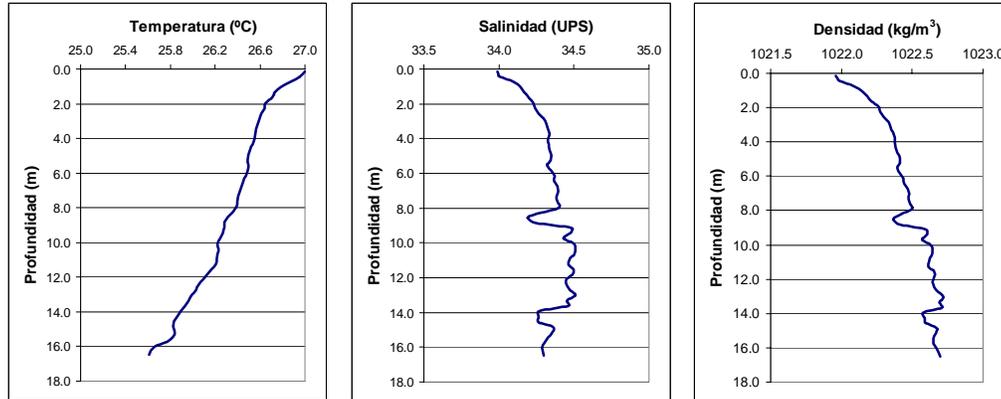


Figura B.1 Estación de CTD 1. 25/MAY/2010 16:05:44 h (GMT).

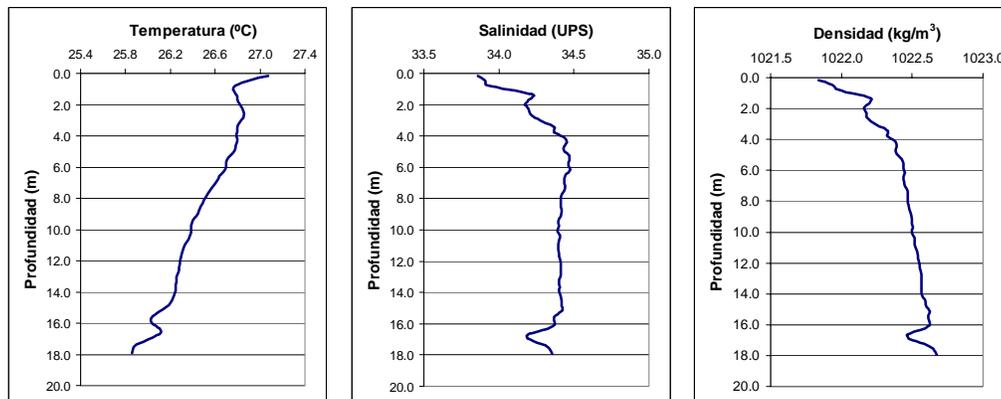


Figura B.2 Estación de CTD 2 25/MAY/2010 16:11:25 hr (GMT).

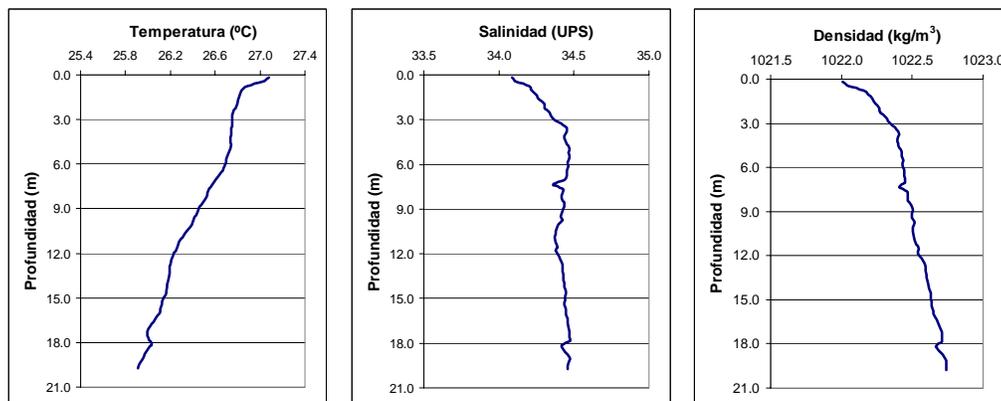


Figura B.3 Estación de CTD 3 25/MAY/2010 16:17:45 h (GMT).

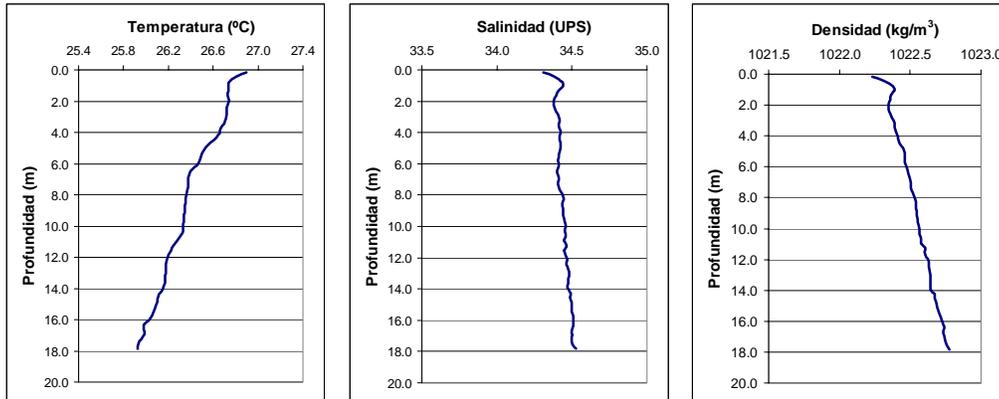


Figura B.4 Estación de CTD 4. 25/MAY/2010 16:22:42 h (GMT).

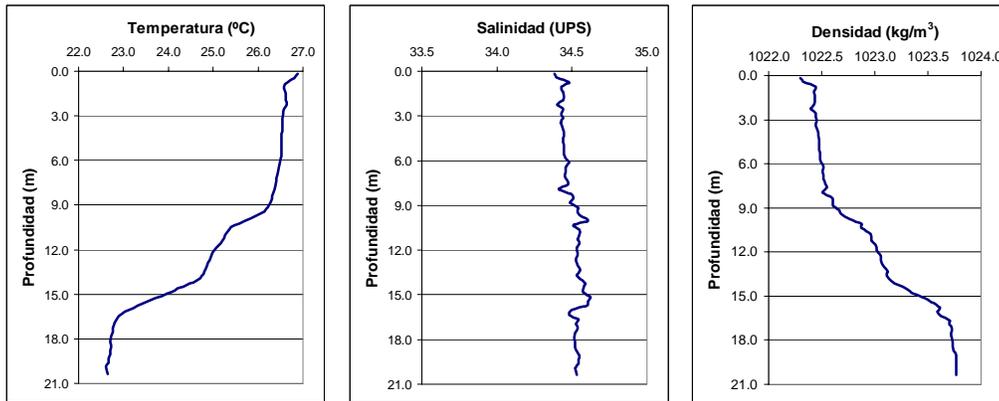


Figura B.5 Estación de CTD 5. 25/MAY/2010 16:29:44 h (GMT).

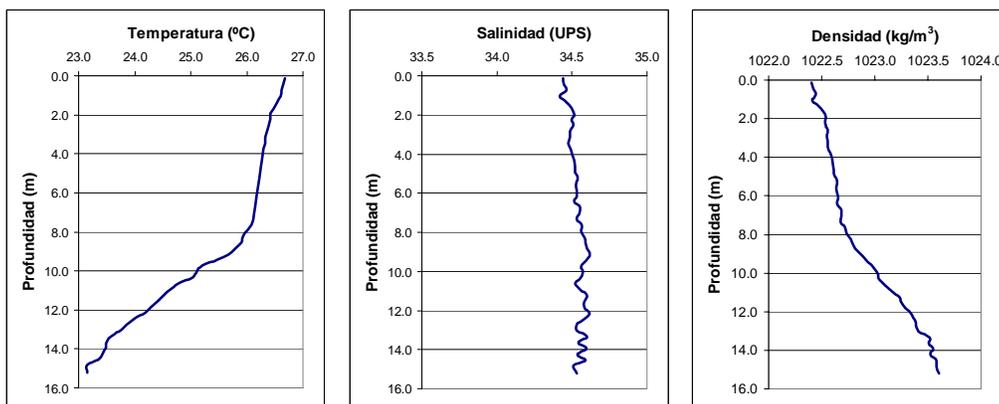


Figura B.6 Estación de CTD 6. 25/MAY/2010 16:34:23 h (GMT).

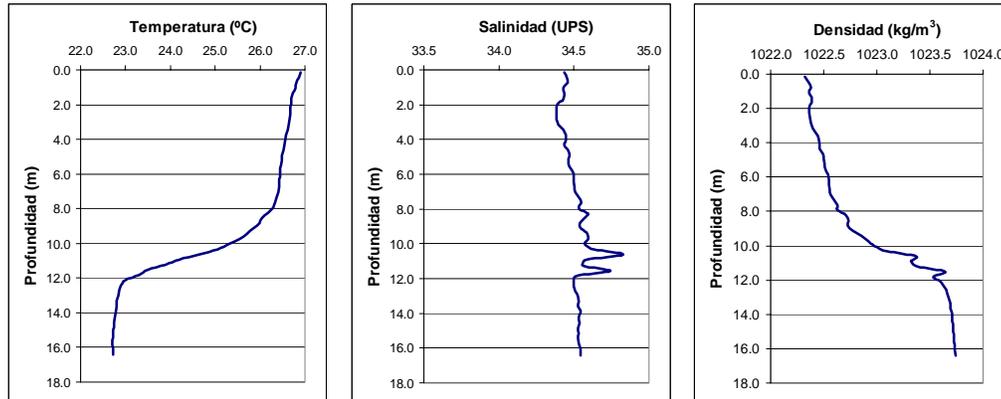


Figura B.7 Estación de CTD 7. 25/MAY/2010 16:39:18 h (GMT).

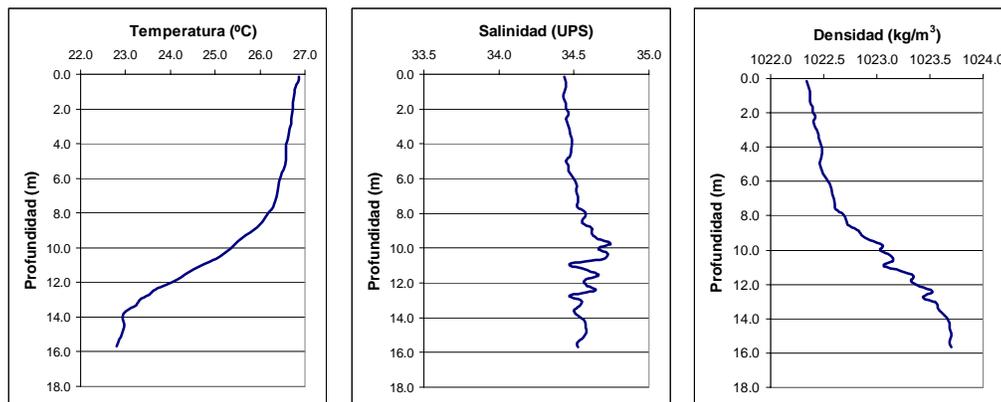


Figura B.8 Estación de CTD 8. 25/MAY/2010 16:48:54 h (GMT).

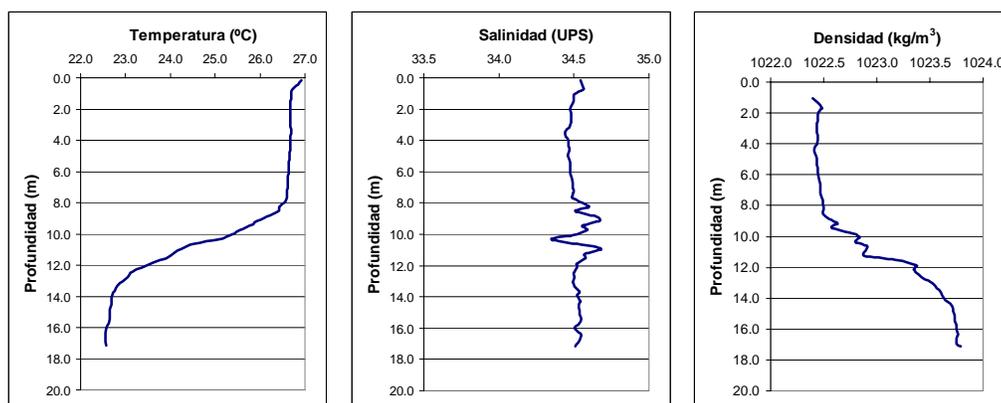


Figura B.9 Estación de CTD 9. 25/MAY/2010 16:53:13 h (GMT).

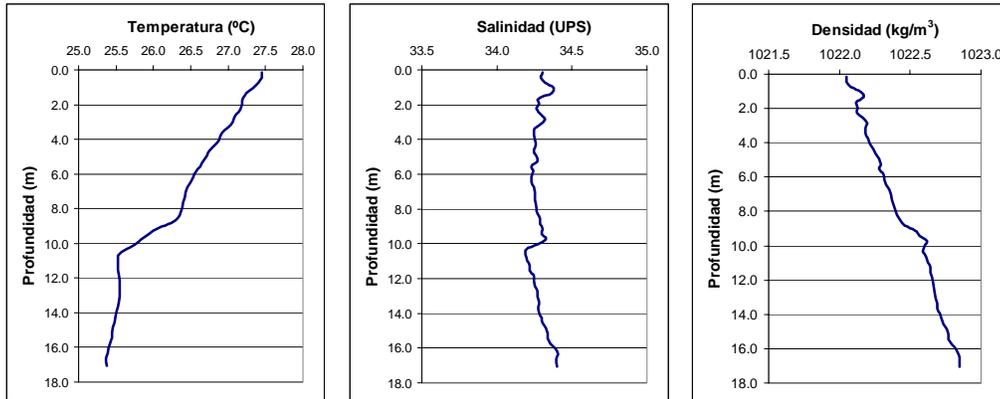


Figura B.10 Estación de CTD 10. 26/MAY/2010 02:38:34 h (GMT).

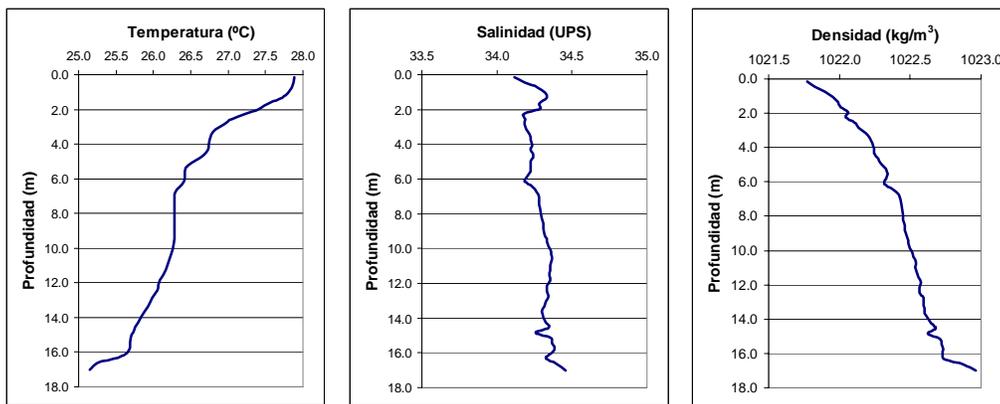


Figura B.11 Estación de CTD 11. 26/MAY/2010 02:43:25 h (GMT).

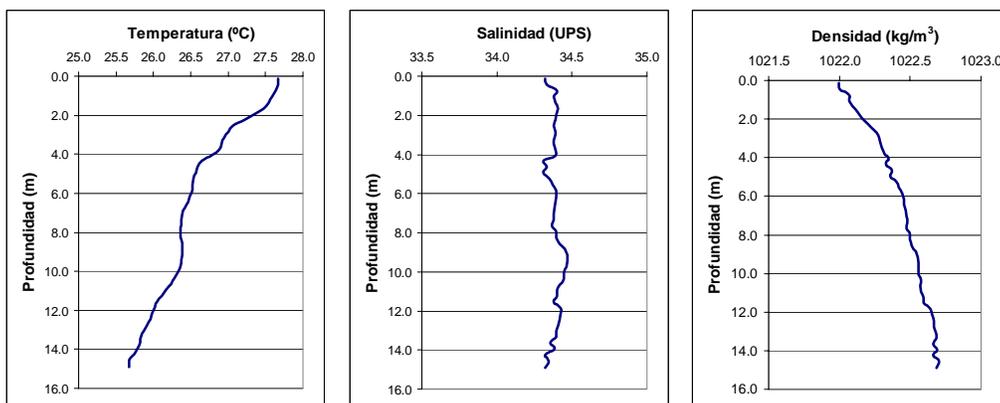


Figura B.12 Estación de CTD 12. 26/MAY/2010 02:49:04 h (GMT).

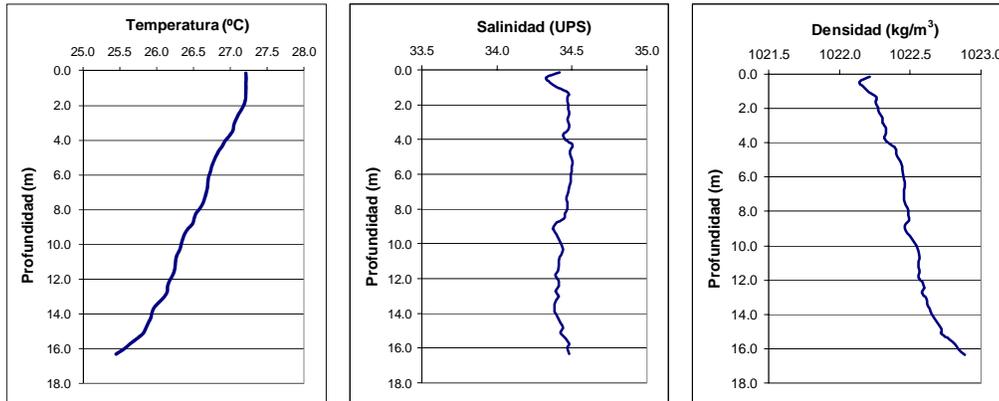


Figura B.13 Estación de CTD 13. 26/MAY/2010 02:55:01 h (GMT).

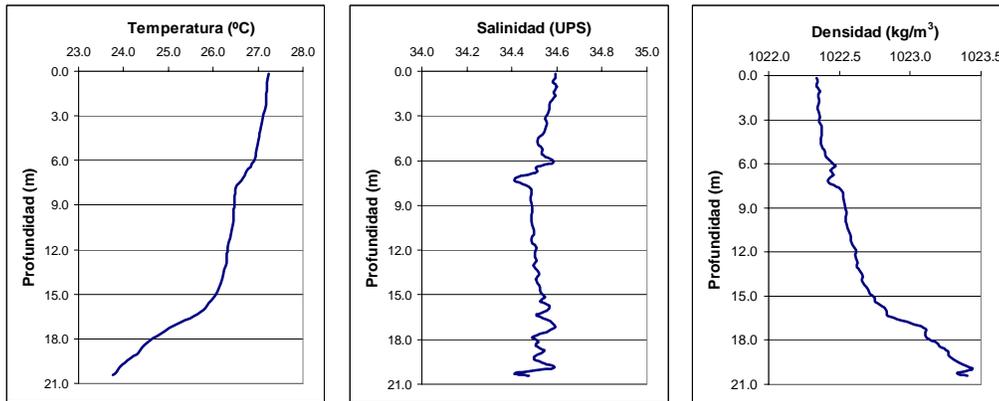


Figura B.14 Estación de CTD 14. 26/MAY/2010 02:59:43 h (GMT).

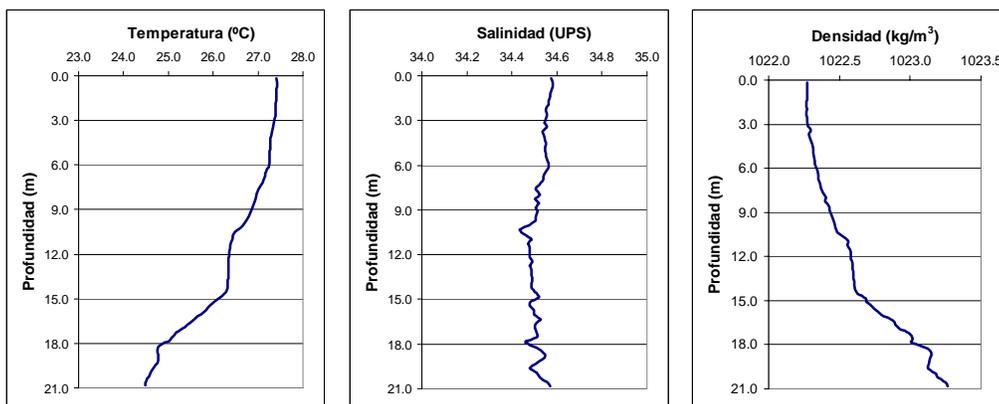


Figura B.15 Estación de CTD 15. 26/MAY/2010 03:05:08 h (GMT).

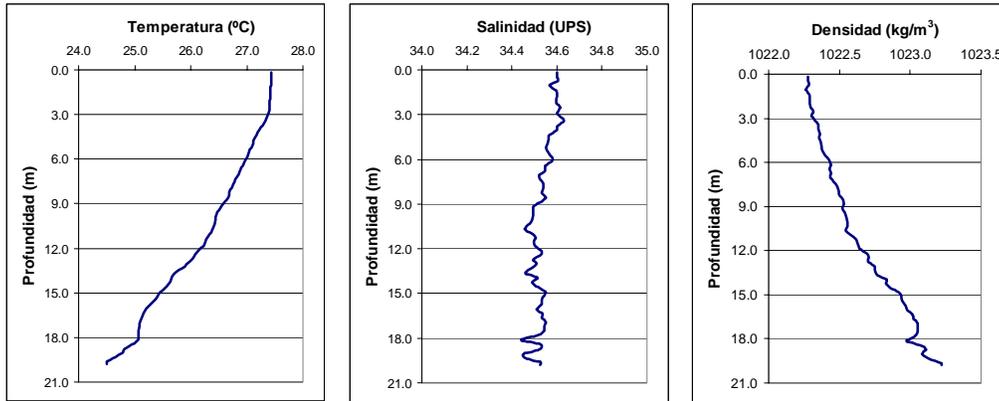


Figura B.16 Estación de CTD 16. 26/MAY/2010 03:09:49 h (GMT).

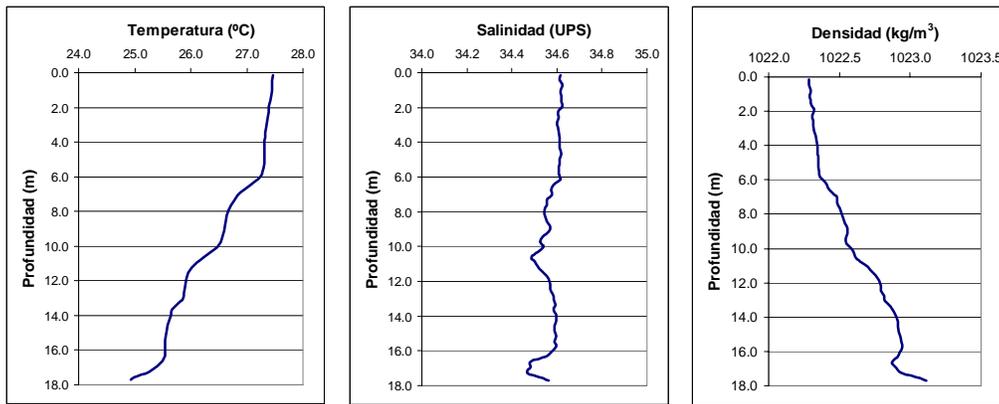


Figura B.17 Estación de CTD. 17 26/MAY/2010 03:15:06 h (GMT).

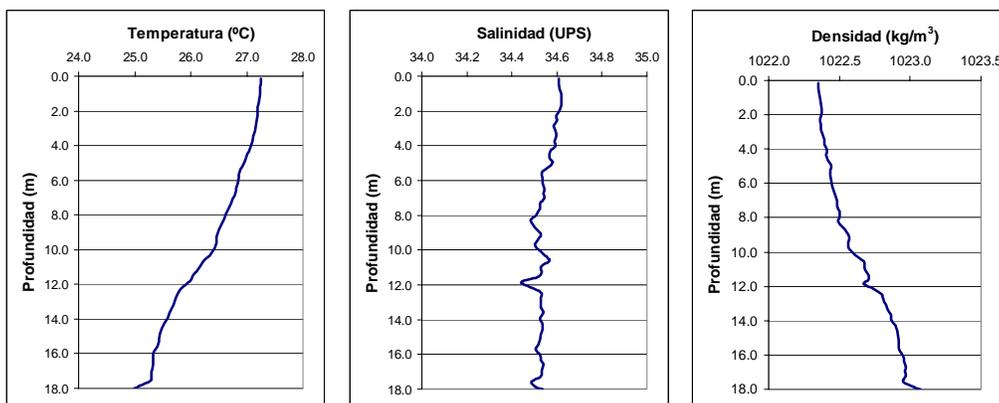


Figura B.18 Estación de CTD 18. 26/MAY/2010 04:28:22 h (GMT).

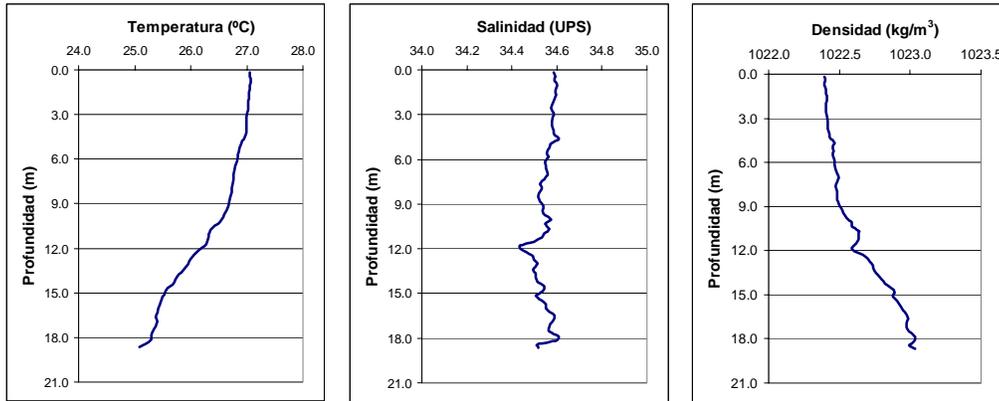


Figura B.19 Estación de CTD 19. 26/MAY/2010 05:16:44 h (GMT).

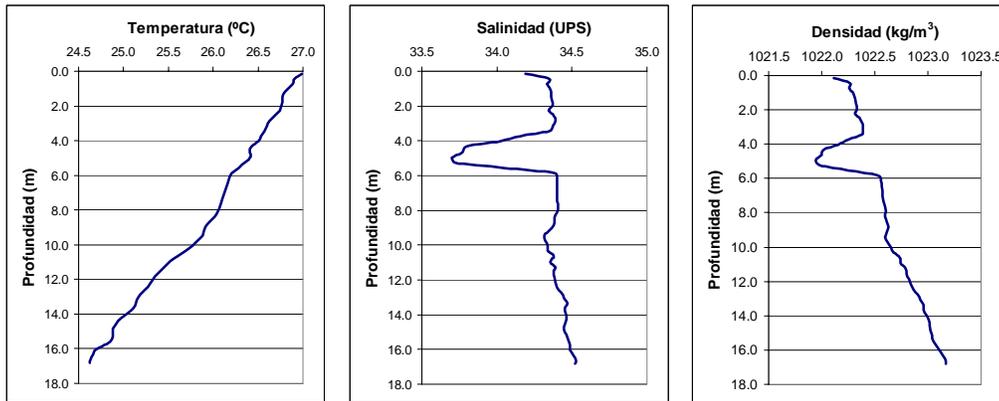


Figura B.20 Estación de CTD 20. 27/MAY/2010 09:51:20 h (GMT).

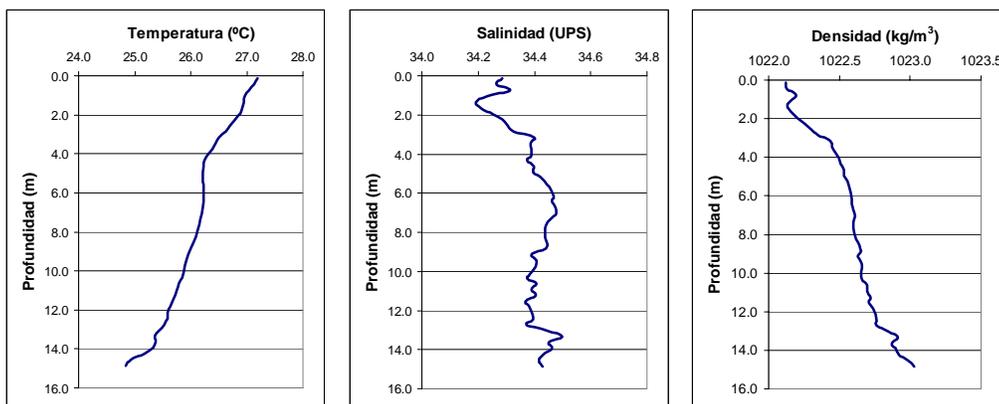


Figura B.21 Estación de CTD 21. 27/MAY/2010 09:54:45 h (GMT).

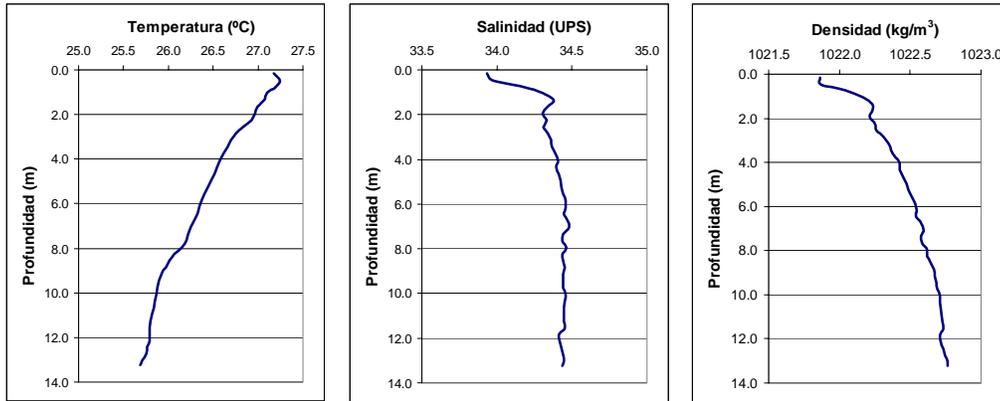


Figura B.22 Estación de CTD 22. 27/MAY/2010 09:58:33 h (GMT).

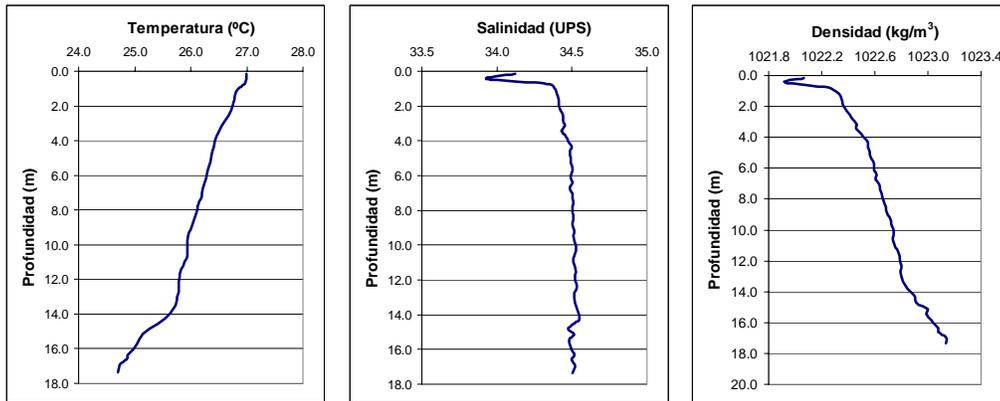


Figura B.23 Estación de CTD 23. 27/MAY/2010 10:02:20 h (GMT).

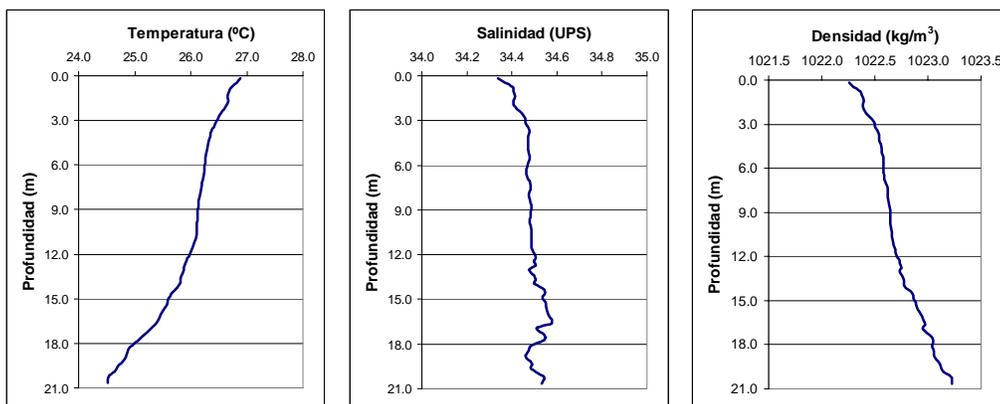


Figura B.24 Estación de CTD 24. 27/MAY/2010 10:05:49 h (GMT).

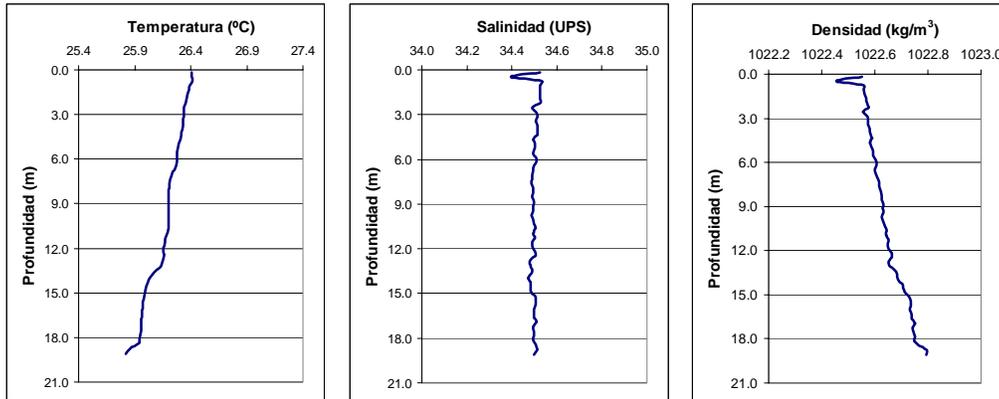


Figura B.25 Estación de CTD 25. 27/MAY/2010 10:10:47 h (GMT).

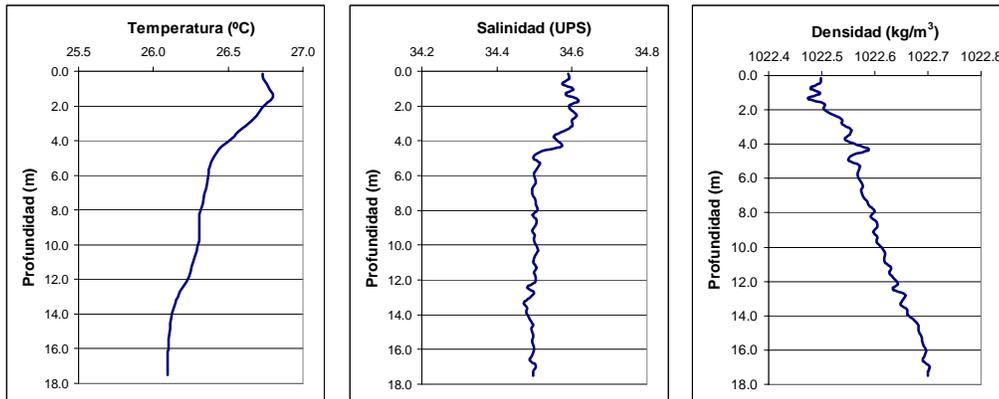


Figura B.26 Estación de CTD 26. 27/MAY/2010 10:13:57 h (GMT).

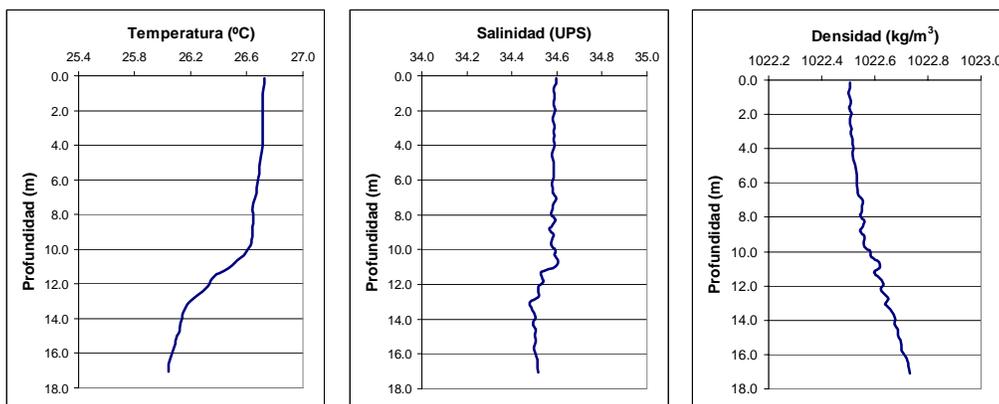


Figura B.27 Estación de CTD 27. 27/MAY/2010 10:16:28 h (GMT).

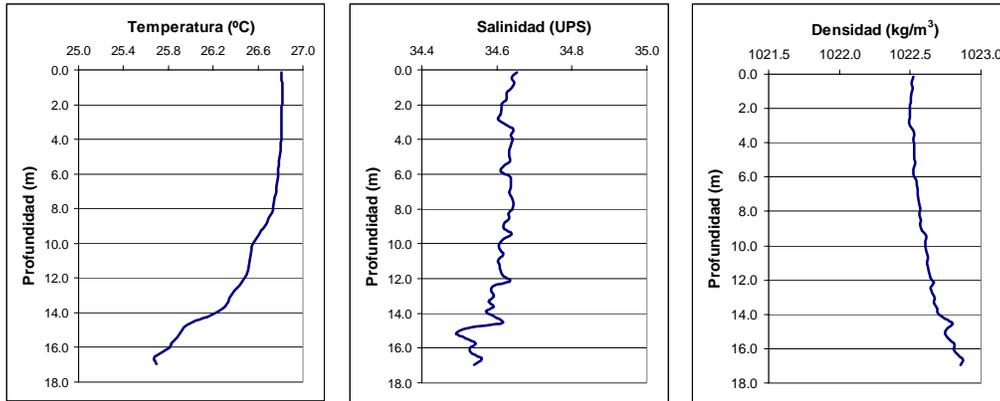


Figura B.28 Estación de CTD 28. 27/MAY/2010 10:20:00 h (GMT).

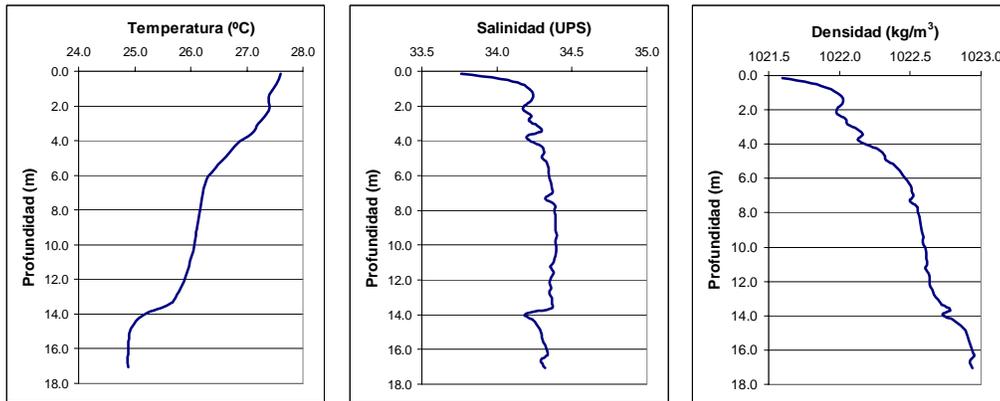


Figura B.29 Estación de CTD 29. 28/MAY/2010 03:12:46 h (GMT).

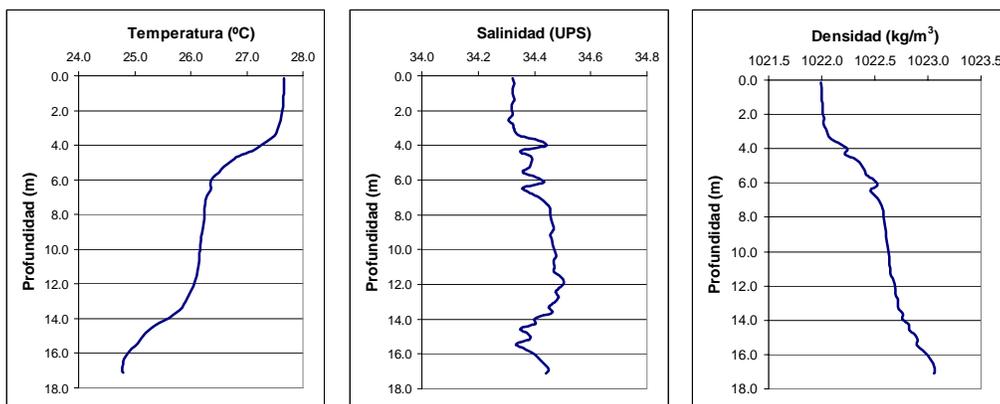


Figura B.30 Estación de CTD 30. 28/MAY/2010 03:17:10 h (GMT).

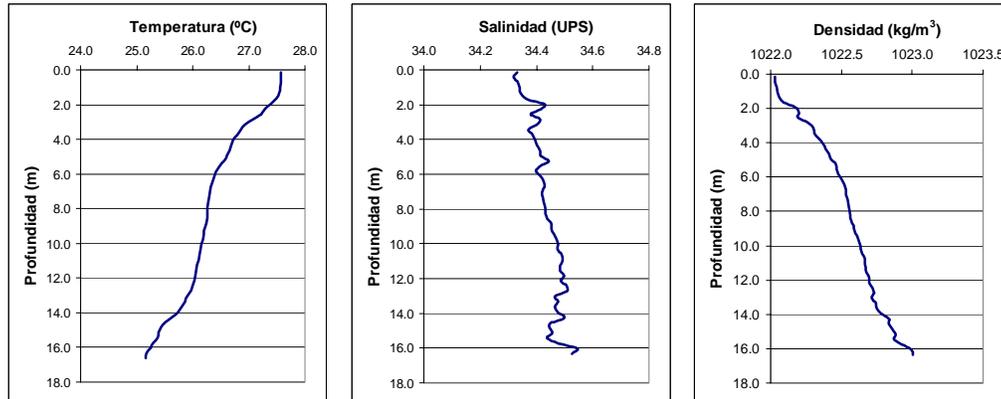


Figura B.31 Estación de CTD 31. 28/MAY/2010 03:21:31 h (GMT).

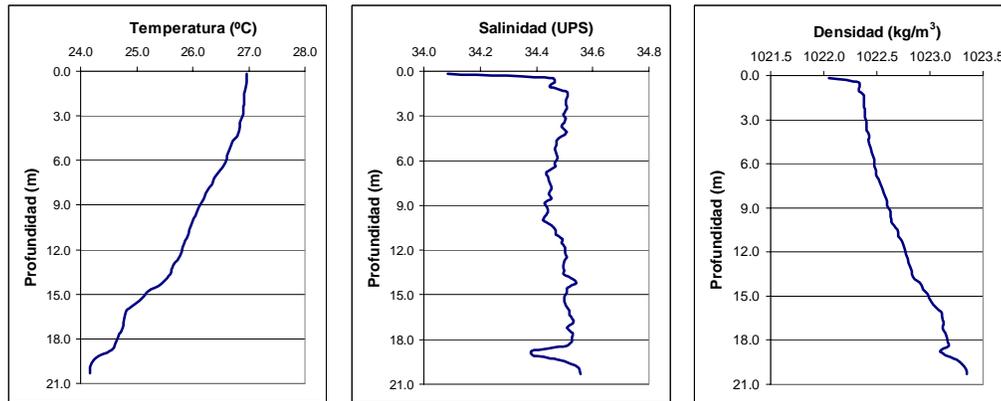


Figura B.32 Estación de CTD 32. 28/MAY/2010 03:26:51 h (GMT).

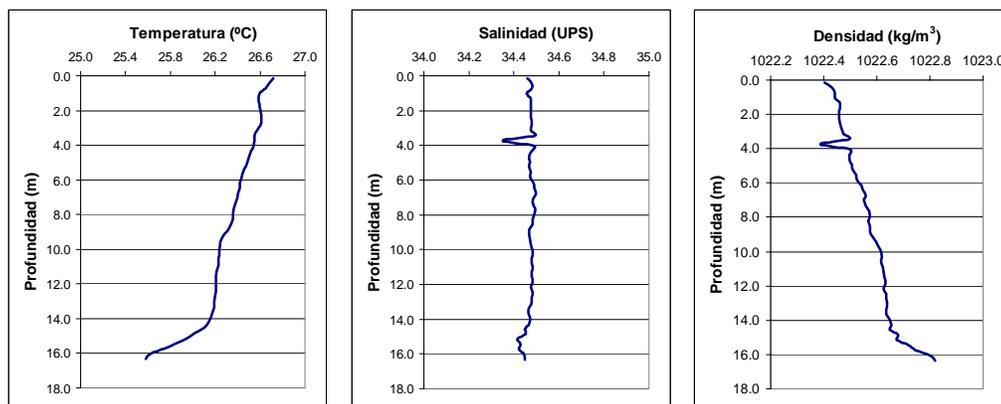


Figura B.33 Estación de CTD 33. 28/MAY/2010 03:31:58 h (GMT).

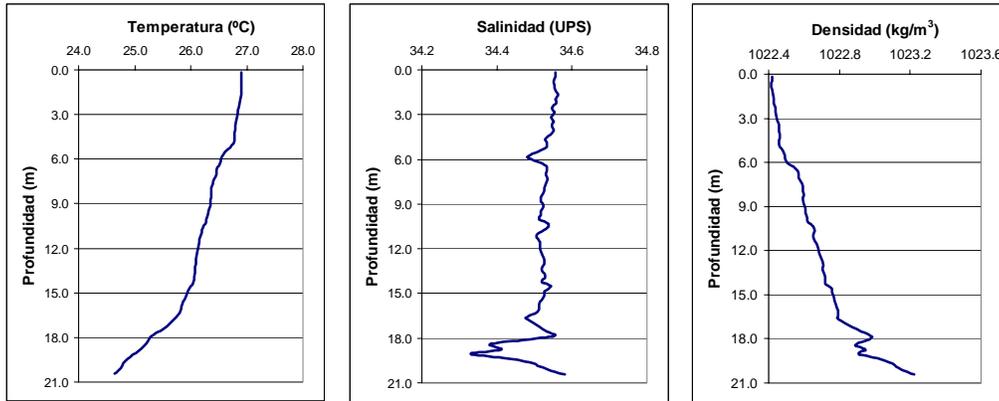


Figura B.34 Estación de CTD 34. 28/MAY/2010 03:37:53 h (GMT).

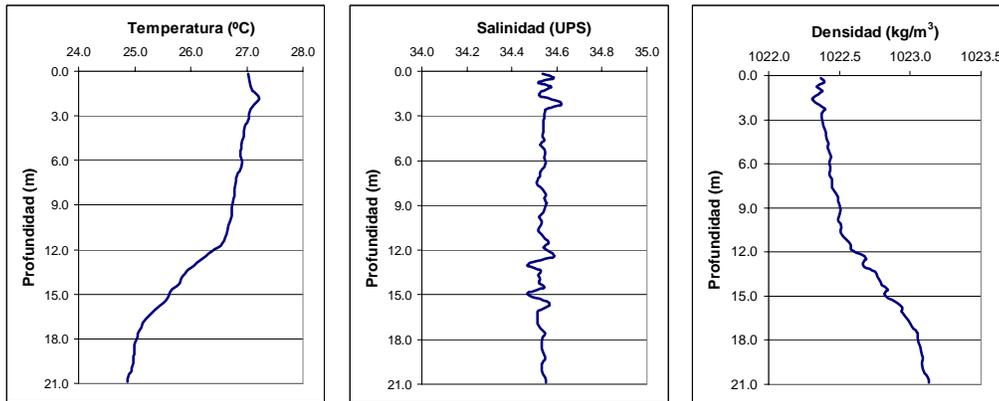


Figura B.35 Estación de CTD 35. 28/MAY/2010 03:42:37 h (GMT).

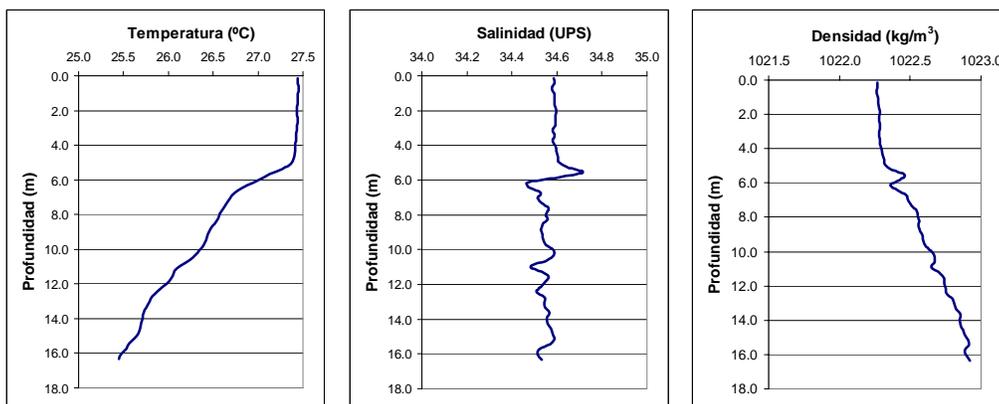


Figura B.36 Estación de CTD 36. 28/MAY/2010 03:47:16 h (GMT).

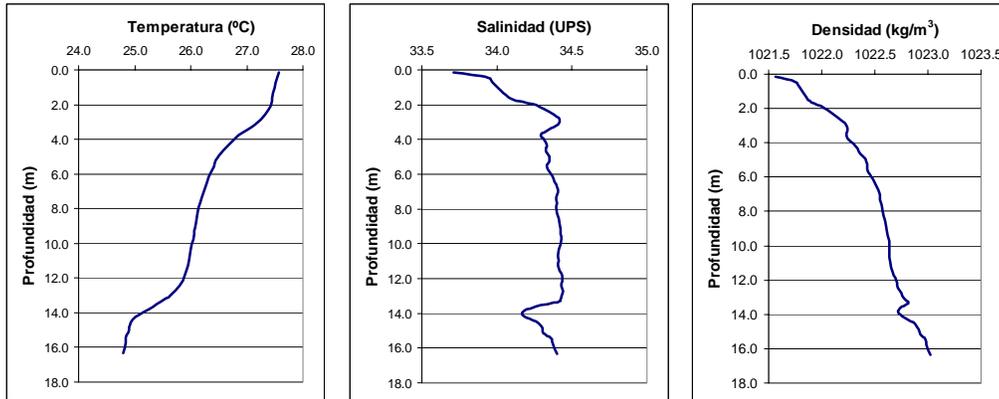


Figura B.37 Estación de CTD 37. 28/MAY/2010 04:52:34 h (GMT).

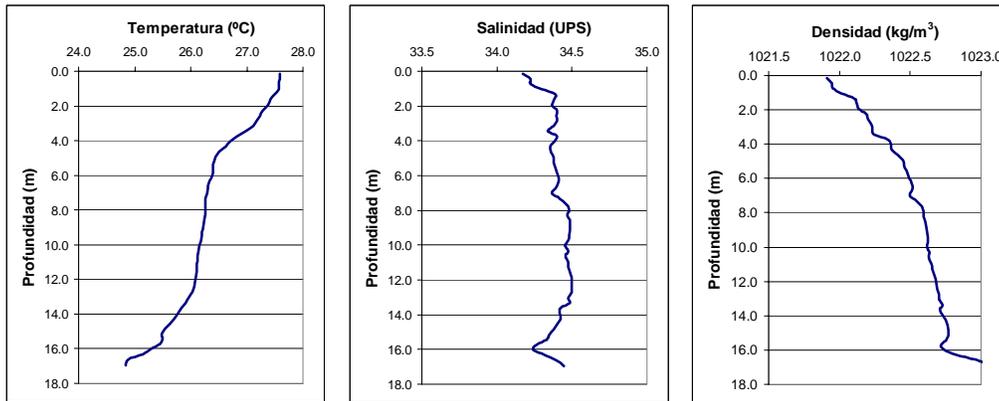


Figura B.38 Estación de CTD 38. 28/MAY/2010 04:57:05 h (GMT).

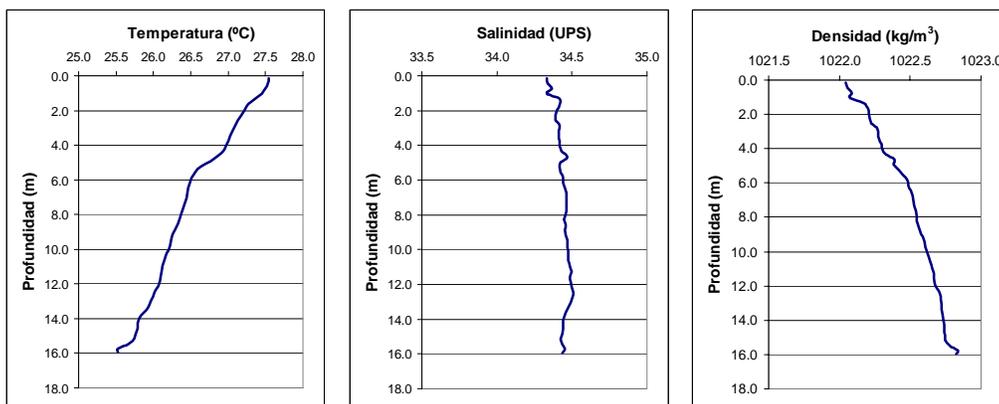


Figura B.39 Estación de CTD 39. 28/MAY/2010 05:01:21 h (GMT).

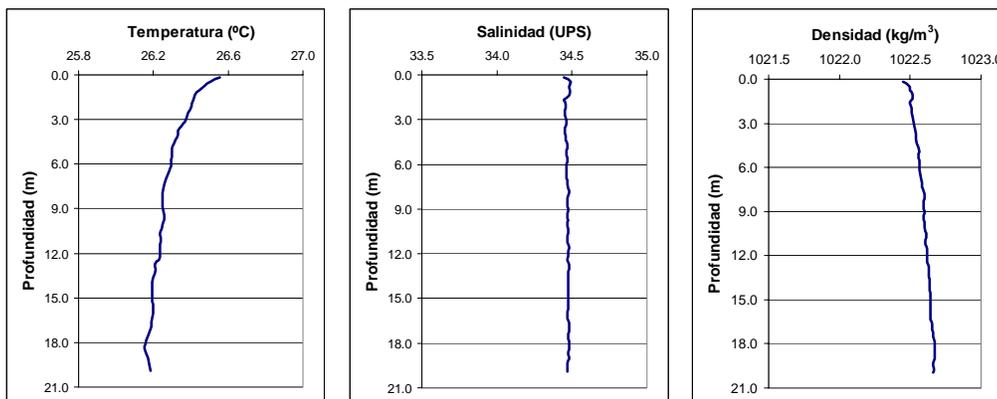


Figura B.40 Estación de CTD 40. 28/MAY/2010 05:05:58 h (GMT).

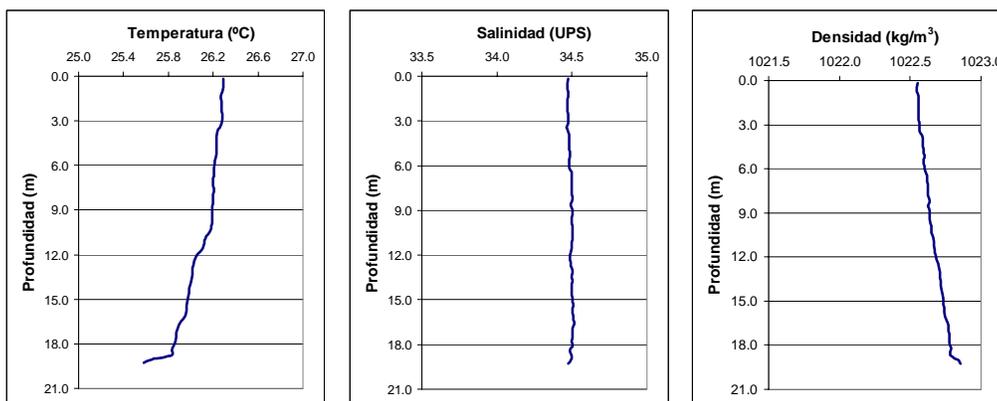


Figura B.41 Estación de CTD 41. 28/MAY/2010 05:09:44 h (GMT).

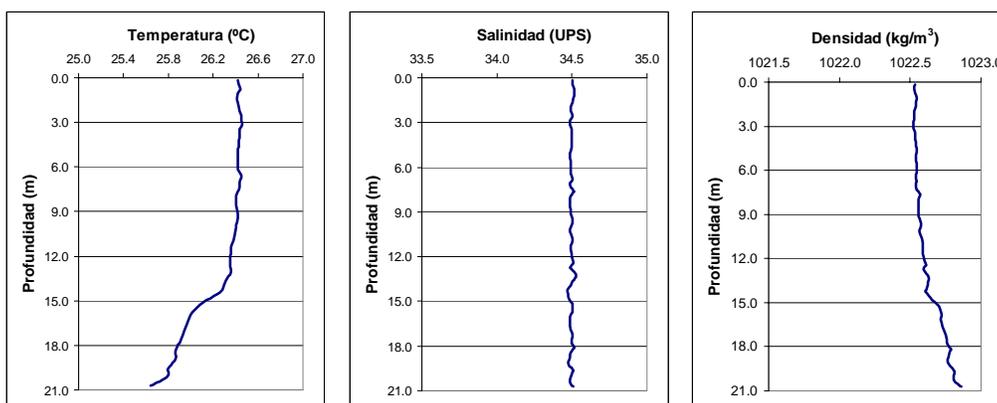


Figura B.42 Estación de CTD 42. 28/MAY/2010 05:17:37 h (GMT).

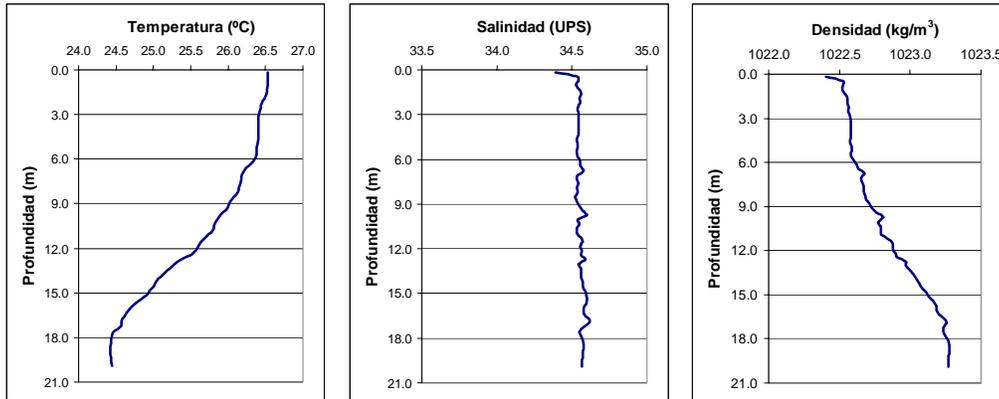


Figura B.43 Estación de CTD 43. 28/MAY/2010 05:22:06 h (GMT).

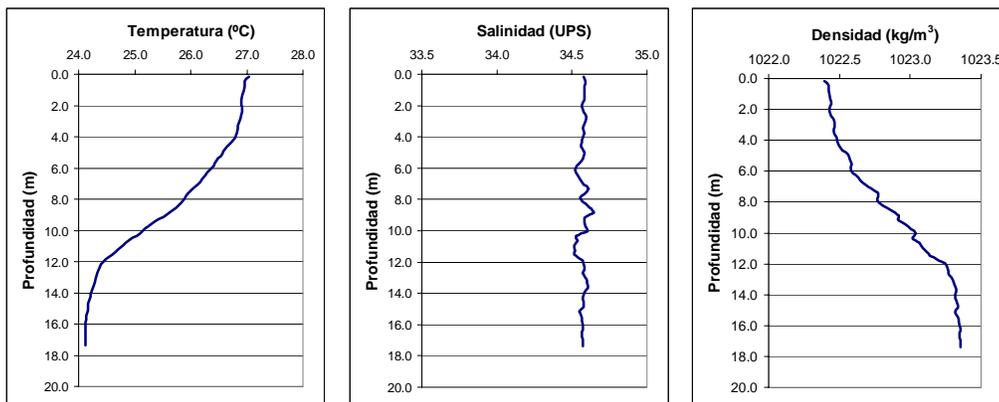


Figura B.44 Estación de CTD 44. 28/MAY/2010 05:27:13 h (GMT).

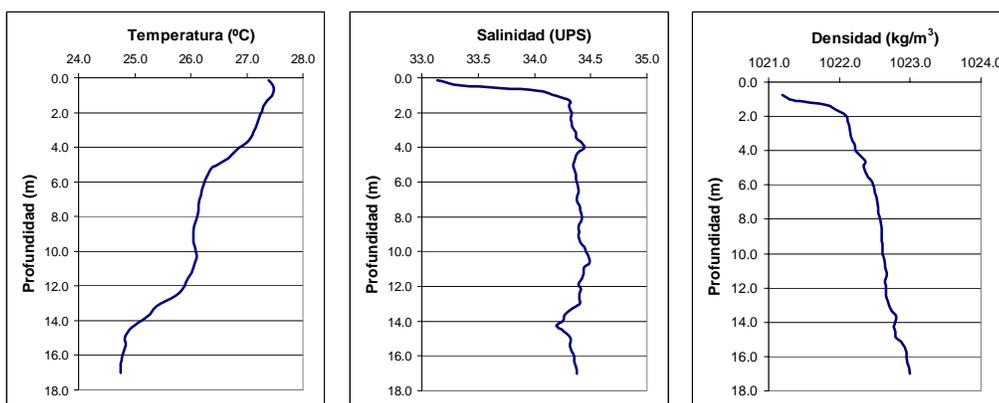


Figura B.45 Estación de CTD 45. 28/MAY/2010 07:04:57 h (GMT).

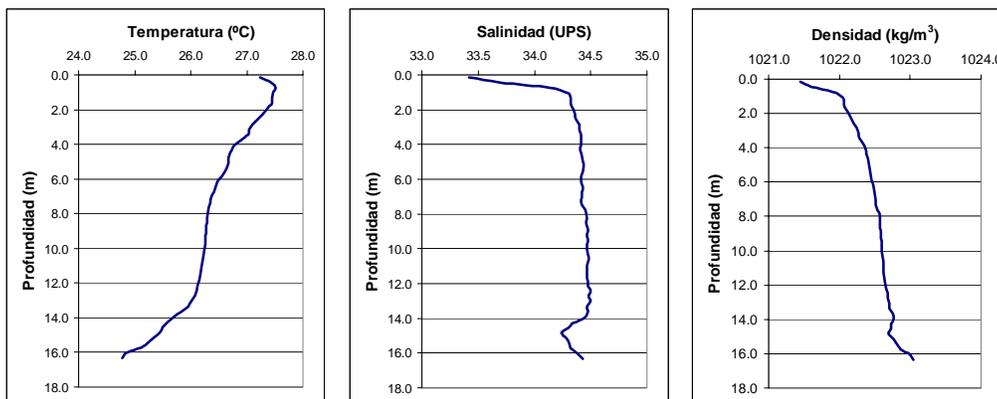


Figura B.46 Estación de CTD 46. 28/MAY/2010 07:08:49 h (GMT).

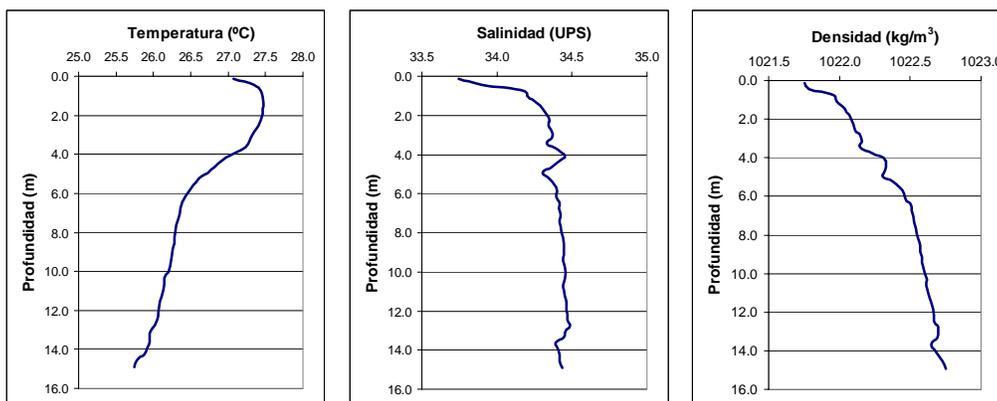


Figura B.47 Estación de CTD 47. 28/MAY/2010 07:13:06 h (GMT).

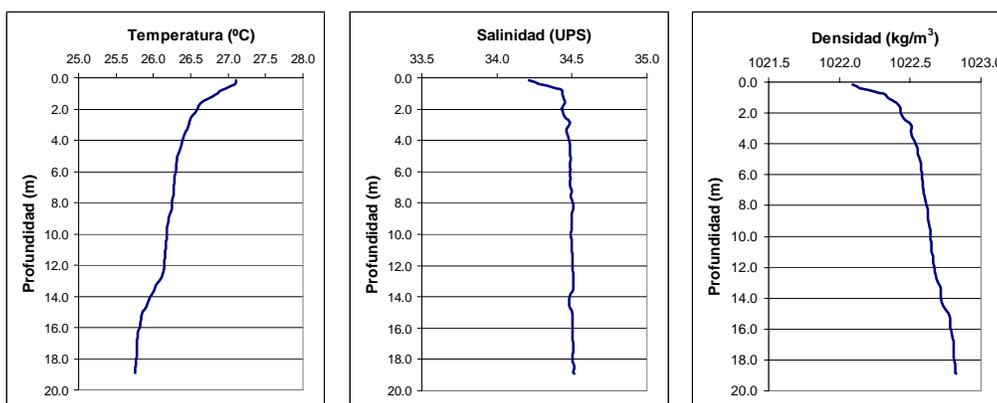


Figura B.48 Estación de CTD 48. 28/MAY/2010 07:17:15 h (GMT).

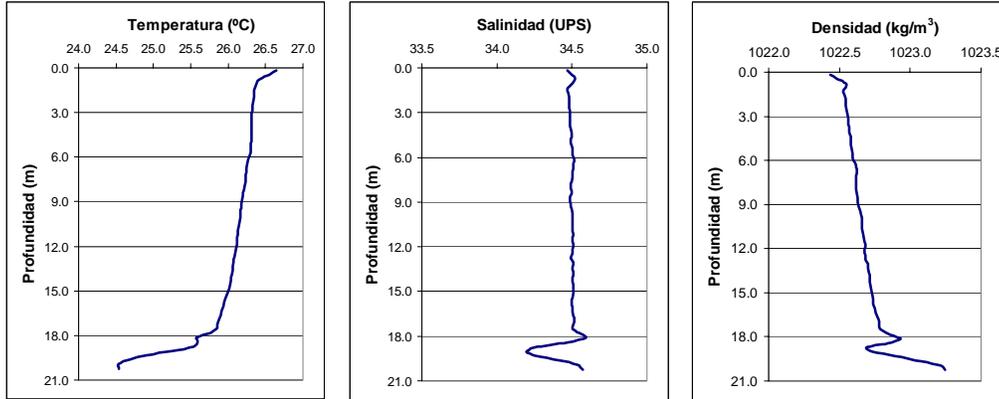


Figura B.49 Estación de CTD 49. 28/MAY/2010 07:21:27 h (GMT).

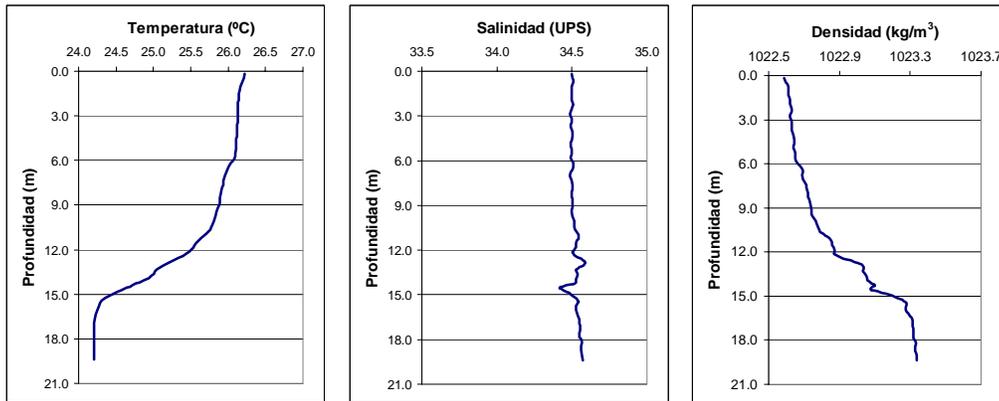


Figura B.50 Estación de CTD 50. 28/MAY/2010 07:25:14 h (GMT).

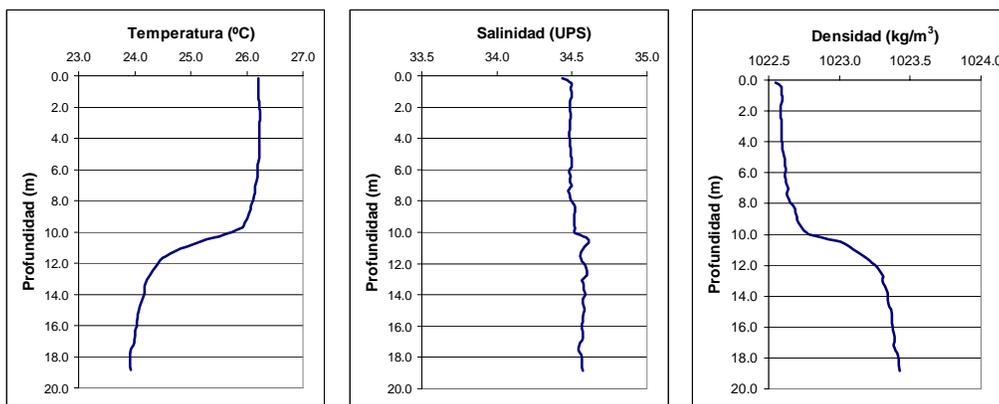


Figura B.51 Estación de CTD 51. 28/MAY/2010 07:29:08 h (GMT).

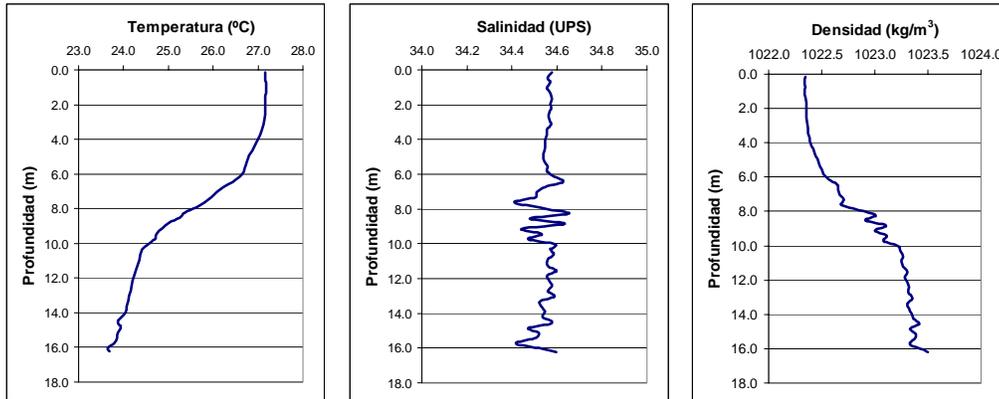


Figura B.52 Estación de CTD 52 28/MAY/2010 07:33:25 h (GMT).

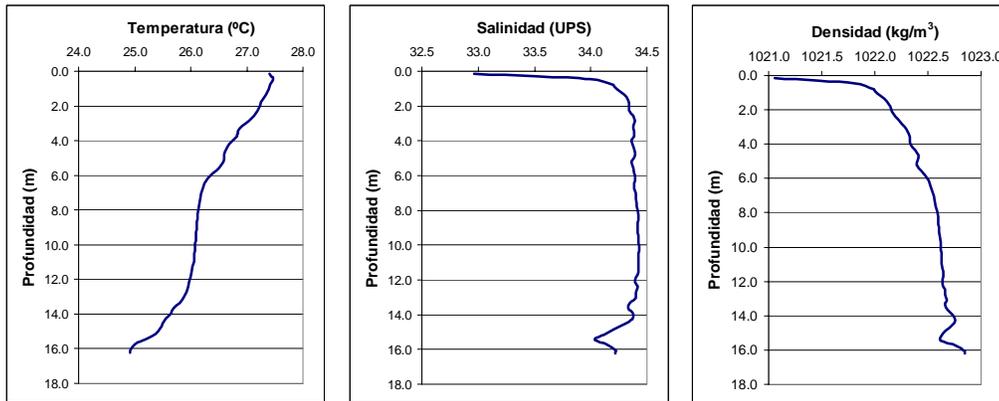


Figura B.53 Estación de CTD 53. 28/MAY/2010 09:03:58 h (GMT).

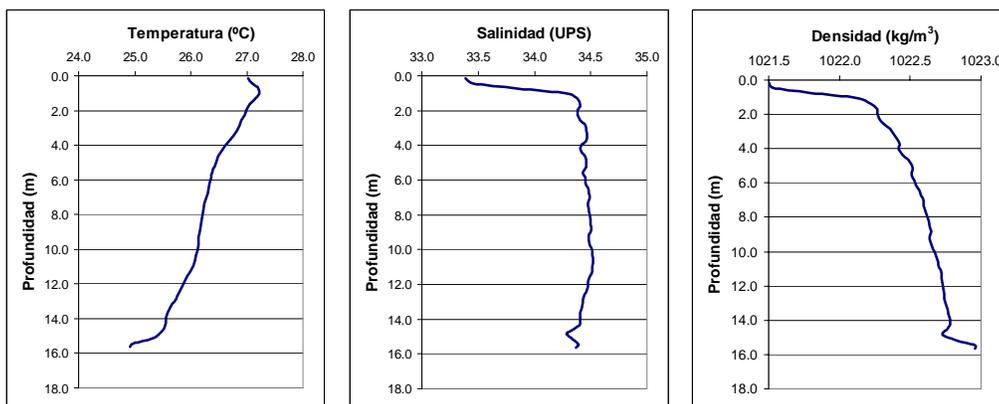


Figura B.54 Estación de CTD 54. 28/MAY/2010 09:08:11 h (GMT).

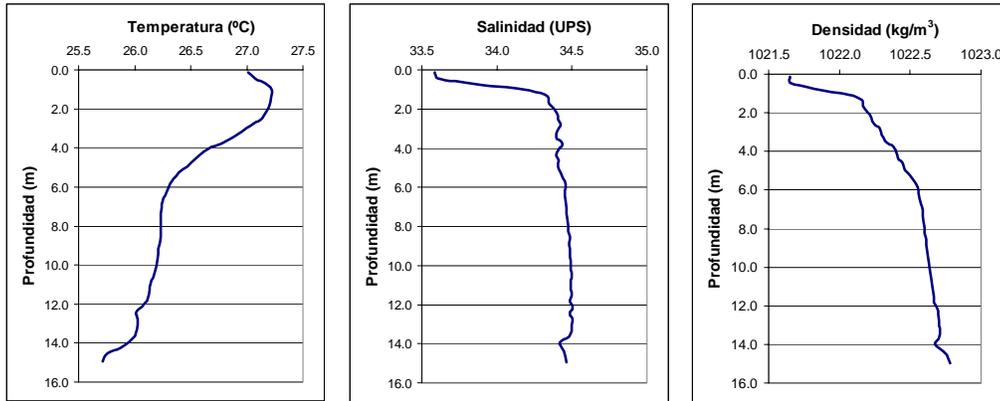


Figura B.55 Estación de CTD 55. 28/MAY/2010 09:12:37 h (GMT).

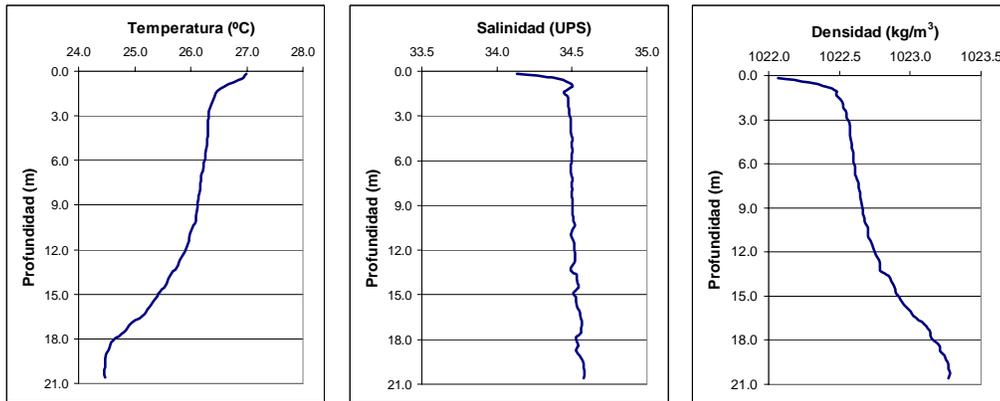


Figura B.56 Estación de CTD 56. 28/MAY/2010 09:18:03 h (GMT).

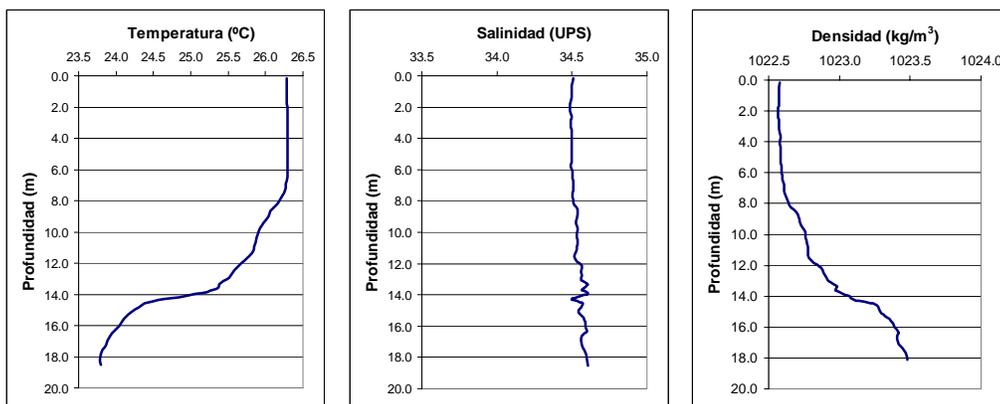


Figura B.57 Estación de CTD 57 28/MAY/2010 09:23:57 h (GMT).

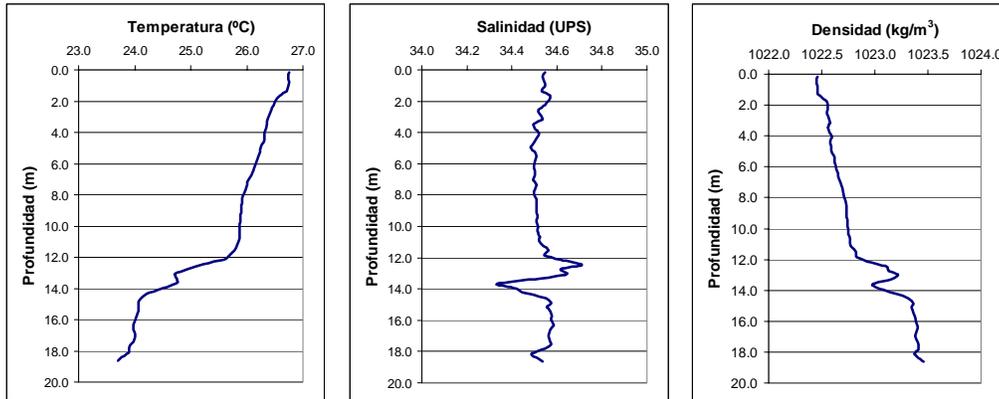


Figura B.58 Estación de CTD 58. 28/MAY/2010 09:28:44 h (GMT).

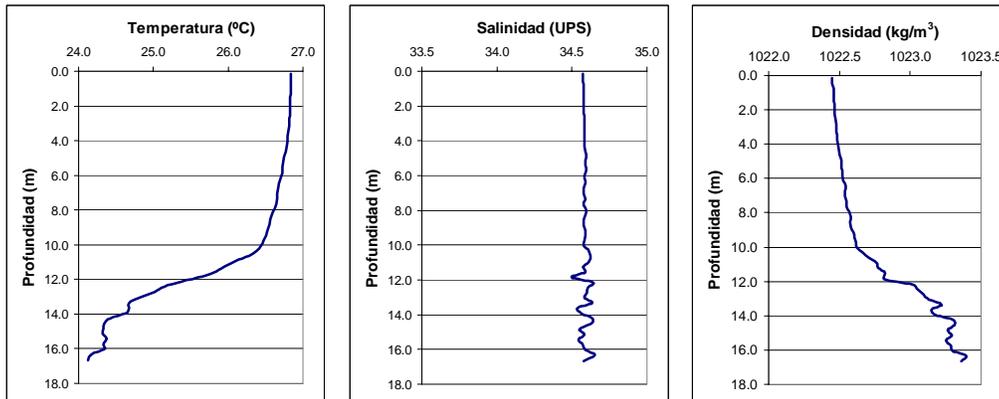


Figura B.59 Estación de CTD 59. 28/MAY/2010 09:28:44 h (GMT).