

EsIA PROYECTO FENIX

Área Cuenca Marina Austral I

Apéndice 1 del Capítulo 8

Documento de Modelación Matemática

Parte 1

**MODELACIÓN HIDRODINÁMICA
VERTIDOS DE RECORTES Y LODOS DE PERFORACIÓN (BASE AGUA)
DERRAMES DE HIDROCARBUROS
PROPAGACIÓN DE SONIDO**

**Para
Total AUSTRAL S.A.**

Por

Ezcurra & Schmidt S.A. (ESSA)

Blanco Encalada 1721 P10 E, (1428)

Buenos Aires, Argentina. Tel / Fax: 54 11 4786-0851

www.essa.com.ar

Marzo 2023

ÍNDICE PARTE 1

1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVOS	8
3. MODELACIÓN HIDRODINÁMICA – MIKE 3 FLOW MODEL FM (HD)	9
3.1. ASPECTOS DEL PROYECTO RELEVANTES A LA MODELACIÓN HIDRODINÁMICA	9
3.2. GENERALIDADES DE LA MODELACIÓN CON MIKE 3 FLOW MODEL FM (HD)	10
3.3. MEDICIONES DE CORRIENTES Y NIVELES DEL MAR	27
3.4. CALIBRACIÓN DEL MODELO MIKE 3 FLOW MODEL FM (HD)	32

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

°C	GRADOS CENTÍGRADOS
μPa	MICROPASCAL
0-p	PRESION ACUSTICA CERO A PICO
AD	ADVECCIÓN - DISPERSIÓN
ADCP	ACOUSTIC DOPPLER CURRENT PROFILER
Ap	ATENUACIÓN ASOCIADA A LA ONDA COMPRESIONAL
APN	ADMINISTRACION DE PARQUES NACIONALES
C	VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN
CEADO	CENTRO ARGENTINO DE DATOS OCEANOGRÁFICOS
CFL	COURANT-FRIEDRICH-S-LEWY NUMBER
cP	CEN TIPOISE
Cp	VELOCIDAD COMPRESIONAL
dB	DECIBEL
DEF	DICIEMBRE-EBERO-FEBRERO
DHI	DANISH HYDRAULIC INSTITUTE (INSTITUTO HIDRÁULICO DANÉS)
EIA	EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL
EsIA	ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL
EU	EUTROFICACIÓN
f	FRECUENCIA DE LA ONDA ACÚSTICA
FM	FLEXIBLE MESH
g/m²	GRAMOS POR METRO CUADRADO
g/m³	GRAMOS POR METROS CÚBICOS
GEBCO	GENERAL BATHYMETRIC CHART OF THE OCEANS (CARTA BATIMETRICA GENERAL DE LOS OCEANOS)
h	HORA
ha	HECTÁREAS
HD	HIDRODINÁMICO
J	JOULES
JJA	JUNIO-JULIO-AGOSTO
kg	KILOGRAMOS
LBA	LINEA DE BASE AMBIENTAL
m	METROS
m/s	METROS POR SEGUNDO
m²	METROS CUADRADOS
m³	METROS CÚBICOS
MAM	MARZO-ABRIL-MAYO
mg	MILIGRAMOS
mg/l	MILIGRAMOS POR LITRO
MGO	MARINE GAS OIL

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

mm	MILÍMETROS
Mpa-m	MEGAPASCALS REFERIDOS A 1 M DE LA FUENTE
ms	MILISEGUNDOS
MT	MUD TRANSPORT
NCEP	NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL PREDICTION
NMFS	NATIONAL MARINE FISHERIES SERVICE (SERVICIO NACIONAL DE PESCA MARINA)
NMM	NIVEL MEDIO DEL MAR
NOAA	NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (OFICINA NACIONAL ADMINISTRACIÓN OCEÁNICA Y ATMOSFÉRICA)
OS	OIL SPILL
PA	PARTICLE
Pa	PASCAL
PNA	PREFECTURA NAVAL ARGENTINA
P-P	PICO A PICO
ppb	PARTES POR BILLÓN
ppm	PARTES POR MILLÓN
PW	PHOCID PINNIPEDS (PINNIPEDOS POSIDAE)
Q	QUALITY FACTOR
Qp	CALIDAD COMPRESIONAL
R	DISTANCIA A LA FUENTE EN METROS
r	DENSIDAD
R	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL
S	SALINIDAD
SAyDS	SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE
SEL	SOUND EXPOSURE LEVEL (NIVEL DE EXPOSICION SONORA)
SHN	SERVICIO DE HIDROGRAFIA NAVAL
SL	SOURCE LEVEL (NIVEL DE FUENTE)
SON	SEPTIEMBRE-OCTUBRE-NOVIEMBRE
SPL	NIVEL DE PRESION SONORA
T	TEMPERATURA
TL	TRANSMISSION LOSSES (PERDIDAS DE TRANSMISION)
ton	TONELADAS
UAS	UNDERWATER ACOUSTIC SIMULATOR (SIMULADOR ACÚSTICO SUBACUÁTICO)
UAS	UNDERWATER ACOUSTIC SIMULATION
UTM	UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR
VP	VEGA PLEYADE
WOD	WORLD OCEAN DATABASE (BASE DE DATOS DEL OCEANO MUNDIAL)
WQ	WATER QUALITY (CALIDAD DE AGUA)
Z	IMPEDANCIA ACÚSTICA

MODELACIÓN HIDRODINÁMICA, DE VERTIDOS DE RECORTES Y LODOS DE PERFORACIÓN (BASE AGUA), DE DERRAMES DE HIDROCARBUROS Y PROPAGACIÓN DE SONIDO

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe ha sido preparado por Ezcurra & Schmidt S.A. (ESSA) para dar apoyo a las evaluaciones ambientales vinculadas con las operaciones de instalación, perforación y producción del proyecto Fenix ubicado en el frente marítimo de Tierra del Fuego de la empresa Total Austral S.A. (Total Austral).

Durante las evaluaciones ambientales preliminares de este proyecto, han sido identificados algunos potenciales impactos ambientales, resultado de operaciones rutinarias, como el vertido de lodos de perforación (base agua) y recortes, ruidos y también se han identificado riesgos asociados a derrames de hidrocarburos.

La dispersión de material en suspensión, sus concentraciones, superficies ocupadas, velocidades de traslación y destinos geográficos, constituyen aspectos de importancia a lo largo de las evaluaciones de impactos ambientales relativas a proyectos de este tipo. Tales aspectos dependen fundamentalmente del conocimiento de la circulación oceánica en la región. Es por ello por lo que para poder conocer satisfactoriamente las variables de interés ambiental es necesario contar un modelo hidrodinámico (generador del campo de corrientes) calibrado para la zona del proyecto.

Este trabajo tiene que ver con modelado matemático de apoyo de las evaluaciones ambientales asociadas a las etapas de perforación en el Área del frente oceánico de Tierra del Fuego, en el Área Fenix, concesionada por Total Austral. Para la solución de la evolución de los distintos vertidos fue necesario utilizar el modelo hidrodinámico tridimensional MIKE 3 Flow Model FM (HD) con el módulo de transporte de sedimentos MIKE 3 (MT), el módulo acústico UAS y el de seguimiento de derrames MIKE 3 (OS - Oil Spill). Estos modelos son producidos y comercializados por el DHI (<https://www.dhigroup.com/>) y ambos requieren licencia para ser utilizados. ESSA posee licencia para utilizarlos.

Esta parte del estudio presenta los detalles técnicos sobre la modelación matemática hidrodinámica de la zona de interés del proyecto, en el frente oceánico de Tierra del Fuego. Se entiende por modelación hidrodinámica a la generación del campo de corrientes y niveles del mar, forzado por vientos y mareas, mediante la utilización de un grupo de programas (modelo) adecuados para tal efecto.

Este documento presenta cuales fueron los datos necesarios para el funcionamiento apropiado del modelo. Se describen, por ejemplo, las condiciones dispuestas en los bordes del dominio de modelación (espacio geográfico donde se resuelven los campos de corrientes y niveles del mar), la utilización de los datos batimétricos, los escenarios de vientos considerados, entre otros.

La evolución de los sedimentos vertidos, sus concentraciones, superficies ocupadas, velocidades de traslación y destinos geográficos, constituyen aspectos de importancia a lo largo de las evaluaciones de impactos ambientales, relativas a un proyecto de este tipo. Tal evolución depende, fundamentalmente, del conocimiento de la circulación oceánica en la región.

Debe considerarse que para la calibración de un modelo 3D, como el usado en este estudio, es conveniente contar con perfiles de corrientes, esto es mediciones simultáneas de corrientes en toda la columna de agua. Total Austral cuenta con mediciones realizadas por perfilador acústico (ADCP o Acoustic Doppler Current Profiler) en el área de perforaciones exploratorias durante casi un año y medio, con algunas interrupciones entre septiembre de 2008 y abril de 2010. Las mediciones utilizadas en este informe fueron realizadas por (Hydronav, 2009) para Total Austral. Ezcurra & Schmidt S.A. procesó la información y la dispuso para la calibración del modelo hidrodinámico.

Además, para este trabajo, se ha dispuesto de información originada en los modelos globales climatológicos y oceanográficos, importantes por su coherencia, cobertura geográfica y extensión en el tiempo. Los modelos son actualizados periódicamente y calibrados por medio de estaciones

meteorológicas y oceanográficas, cuyo número se ha incrementado considerablemente en los últimos años. Estos modelos globales han suministrado datos de mareas y vientos, principalmente.

En general, y en base a la información disponible, las corrientes en la región son la resultante de la combinación de:

- Corrientes puras de marea. Son dominantes y caracterizadas por ser periódicas de acuerdo con los períodos de las componentes armónicas para la marea del lugar.
- Corrientes inducidas por el viento. La fricción viscosa del viento sobre la superficie del mar induce una fuerza de arrastre que genera una corriente con dirección diferente a la del viento y con magnitud máxima en la superficie del mar.
- Grandes corrientes oceánicas

Generalidades Sobre los Modelos Utilizados

El comportamiento de las corrientes en la zona y la pluma de sedimentos en suspensión, no pueden ser calculados por métodos artesanales debido a su complejidad y extensión de cálculo. Tampoco por medio de mediciones de campo, pues llevaría años generar unos pocos escenarios que combinen mareas, corrientes, vientos y métodos de operación.

La tecnología adecuada para este tipo de problemas se encuentra disponible y es la llamada modelación matemática, numérica o simplemente modelación. Ésta hace uso de las computadoras por medio de programas que resuelven ecuaciones matemáticas que representan fenómenos físicos, entre otros. Hay modelos matemáticos en todas las disciplinas de la ciencia y tecnología. Los hay en medicina, ingeniería, biología, astronomía y medio ambiente, entre otras.

En la etapa de propuesta, se realizó una investigación para determinar los modelos a utilizar. Las pautas - para la selección de los modelos - fueron las siguientes:

- Debían ser aceptados por instituciones rectoras en el área.
- Debían tener respaldo institucional y antecedentes en proyectos similares.
- Debían estar actualizados y tener respaldo técnico.
- Debían ser utilizados en medio ambiente además de otras aplicaciones.

Se utilizó el Sistema MIKE 3, desarrollado por el DHI (<https://www.dhigroup.com/>), que consta de una familia de modelos para la solución específica de problemas como los asociados a las operaciones programadas por Total Austral.

Para el cálculo del campo hidrodinámico se seleccionó el modelo MIKE 3 Flow Model FM (HD), tridimensional. Para campos de corrientes con estructura vertical compleja es indispensable la utilización de un modelo tridimensional que pueda manejar variaciones de las velocidades en la columna de agua. El modelo utilizado en este trabajo, adecuado para el cálculo de este tipo de corrientes, fue el MIKE 3 Flow Model FM (HD). MIKE 3 Flow Model FM (HD), fue calibrado utilizando mediciones disponibles de mareas y corrientes a diferentes profundidades.

MIKE 3 Flow Model FM (HD) consiste en un grupo de programas con algoritmos matemáticos que calculan las velocidades y direcciones de la corriente y desplazamientos del nivel del mar, debidos a fuerzas tales como mareas y vientos. Este modelo es aceptado en aplicaciones de ingeniería y medio ambiente (evaluaciones ambientales, predicción y monitoreo) y muy generalizado su uso en todo el mundo. Es aplicable a simulaciones de hidráulica, calidad de agua y transporte de sedimentos en ríos, lagos, estuarios, bahías, áreas costeras, mares y otros cuerpos del agua. Simula flujos no estacionarios debidos a variaciones en la densidad, la batimetría y forzantes externos como la meteorología, elevaciones de la superficie libre por marea, corrientes y otras condiciones hidrográficas. Por detalles puede consultarse la web del DHI en [MIKE 3 Documentation \(mikepoweredbydhi.help\)](http://mikepoweredbydhi.help).

Para el tratamiento de la evolución de los sedimentos en suspensión vertidos al mar, como lodos en base acuosa y recortes de perforación, se ha seleccionado un módulo del Sistema MIKE 3 llamado Mud Transport (MT), [MIKE 21/3 Mud Transport \(mikepoweredbydhi.com\)](http://mikepoweredbydhi.com). Este modelo tiene capacidades especialmente diseñadas para el seguimiento de plumas derivadas de acciones de vertido de material al agua. Suministra, a partir de las características del material vertido y del campo de velocidades calculadas por el módulo hidrodinámico MIKE 3 Flow Model FM (HD), información sobre la distribución en el espacio de las concentraciones y depositación en el fondo del mar. A medida que pasa el tiempo, calcula superficies ocupadas y el espesor del material depositado en el fondo, velocidades de traslación y destinos geográficos.

Para analizar potenciales derrames de hidrocarburos se utilizó un alcance espacial diferente al utilizado con los vertidos de lodos (base agua) y recortes de perforación y se utilizó el modelo Oil Spill (OS) del DHI, [MIKE 21/3 Oil Spill \(mikepoweredbydhi.com\)](http://mikepoweredbydhi.com).

También se ha utilizado el modelo Underwater Acoustic Simulation (UAS) del DHI, https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Coast_and_Sea/UAS_UserGuide.pdf, para estudiar la propagación de sonido en el mar.

2. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo analizar la evolución en espacio y el tiempo del material de perforación (recortes) y lodos de perforación (base agua) programados para el periodo en que Total Austral realice las perforaciones en Fenix.

Para ello se utilizó información sobre el campo de corrientes en la zona de interés del proyecto generada para proyectos anteriores con el modelo MIKE (HD) calibrado.

El estudio sirve de apoyo a las evaluaciones ambientales requeridas por las autoridades ambientales competentes en cuanto a actividades petroleras en el mar.

Específicamente:

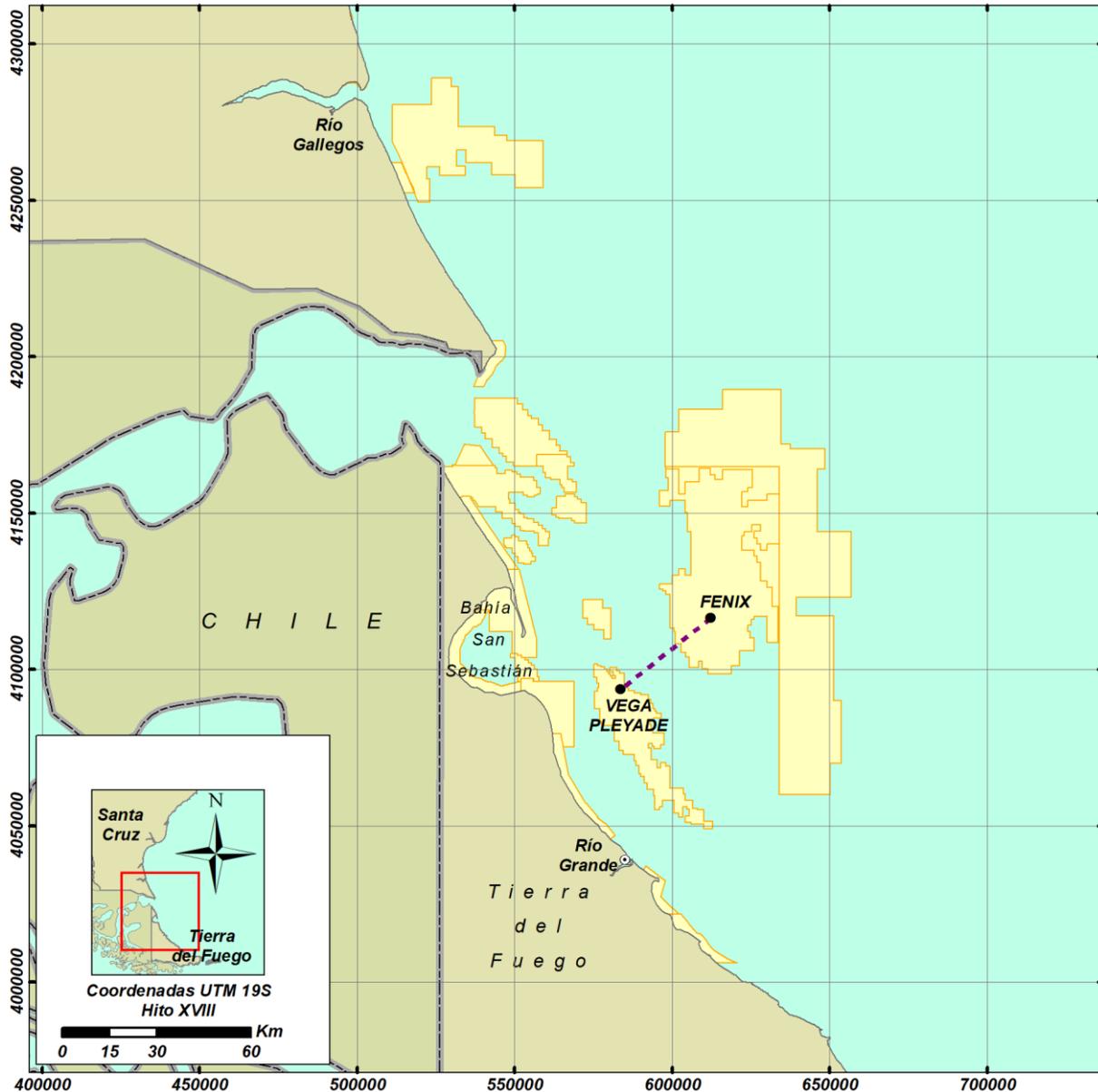
- Se utilizará el campo de corrientes en el lugar de realización de las perforaciones y zonas vecinas, debido a mareas, vientos y corrientes de escala mayor.
- Se determinarán las concentraciones y espesores de depositación en el fondo del mar – en el tiempo y el espacio - de los recortes de perforación vertidos al mar, durante las operaciones de perforación.
- Se determinarán las concentraciones, en el tiempo y el espacio de los componentes mayoritarios de los lodos de perforación (base agua): Bentonita, Baritina y Carbonato de Calcio, volcados al mar durante las operaciones de exploración.
- Se determinarán las características espaciales de potenciales de hidrocarburos en condiciones Blowout (descontrol del pozo) y derrames de MGO asociados a accidentes de pérdida de combustible de los buques.
- Se determinará la caída de intensidad sonora asociada al hincado de pilotes (ruidos periódicos) y motores de los buques (ruido continuo).

3. MODELACIÓN HIDRODINÁMICA – MIKE 3 Flow Model FM (HD)

3.1. Aspectos del proyecto relevantes a la modelación hidrodinámica

Total Austral tiene planeado realizar la perforación de 3 pozos desde la plataforma Fenix. El área se encuentra frente a la Bahía San Sebastián de la Provincia de Tierra del Fuego, Argentina, a unos 50 km y con profundidades que va entre los 70 m y 90 m. La Figura 3.1.1 presenta la división de áreas entre las que se encuentra Fenix, zona donde se realizará la perforación prevista.

Figura 3.1.1 Áreas concesionadas para la explotación, se resalta el sitio de futura ubicación de plataforma y tubería.



Tareas Realizadas

En general, los pasos seguidos para la realización de esta sección del estudio fueron los siguientes:

- Se ha procesado la información oceanográfica más adecuada para la modelación (presentada en la Línea de Base Ambiental) del área destinada a la exploración petrolera, como complemento de aquella información específica necesaria para la modelación.
- Se ha buscado información sobre las propiedades del agua de mar como salinidad y temperatura. La información fue provista por agencias del gobierno y la bibliografía científica disponible.

- La información ha sido simplificada, condensada y puesta en un orden práctico para poder ser usada directamente o como referencia para estudios ambientales o ingenieriles y especialmente en la modelación.
- Se desarrollaron programas en MATLAB, para procesar bases de datos y preparar el ingreso al MIKE 3 Flow Model FM (HD).
- Se ha considerado la batimetría global GEBCO 2022, un modelo global del terreno para el océano y la tierra, que proporciona datos de elevación, en metros, en una retícula de 15 segundos de arco. https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/
- Luego de algunas pruebas de modelación, se definió el área para que corra MIKE 3 Flow Model FM (HD) y se generaron las grillas adecuadas para la modelación.
- Se obtuvieron las mareas para alimentar los bordes del modelo (condiciones de contorno) utilizando la herramienta Tidal Prediction of Heights. Este toolbox se usa para obtener series temporales de alturas de mareas predichas (o niveles de agua). La predicción puede basarse en constituyentes de marea definidos por el usuario o en constituyentes derivados de un modelo global de mareas de 0.125°. La salida es un archivo de datos de series temporales, un archivo de datos de series de líneas (dfs1), un archivo de datos de series de malla o un archivo de datos de malla flexible, que contiene series temporales de alturas (niveles de agua) en un punto, a lo largo de una línea, en un dominio 2D estructurado o no estructurado, respectivamente. <http://doc.mikepoweredbydhi.help/webhelp/2022/M21Toolbox/index.htm>
- Se obtuvieron datos de niveles del reanálisis de Copernicus que fueron sumado a los bordes marea, (<https://resources.marine.copernicus.eu/products>). El modelo de Copernicus no posee marea astronómica por lo que es un completo adecuado a los bordes mencionados en el punto anterior. Estos suma de los niveles del mar en los bordes tienen incidencia para los derrames de hidrocarburos ya que la grilla utilizada en ese caso posee una alcance mayor, para los vertidos de lodos (base agua) y recortes de perforación el agregado de estos bordes es irrelevante.
- También del reanálisis de Copernicus (<https://resources.marine.copernicus.eu/products>), se obtuvieron los datos de temperatura y salinidad de la zona para alimentar al modelo.
- Se realizaron corridas exploratorias (corridas simples que tienen output conocido o previsible) para verificación de funcionamiento del modelo.
- Se analizaron los vientos del lugar provistos de una base de datos de modelos globales (NCEP/NOAA), y se generaron los escenarios meteorológicos que resultan ser una de las condiciones de contorno del modelo. En particular para el periodo en el que se tienen datos de corrientes medidos con ADCP entre septiembre de 2008 y abril de 2010.
- Se ajustaron los parámetros de calibración hasta que los resultados coincidieran con las mediciones en la estación Pleyade METOCEAN, (Hydronav, 2009).
- Una vez que la comparación fue satisfactoria con los datos disponibles, el modelo se consideró calibrado se realizaron las corridas finales, listas a la espera de la aplicación de los módulos de dispersión de sedimentos e hidrocarburos.

3.2. Generalidades de la modelación con MIKE 3 Flow Model FM (HD)

• Hidráulica y Oceanografía de Estuarios y Áreas Costeras

El módulo hidrodinámico (HD) es la base del Sistema MIKE 3. Proporciona la base hidrodinámica para los cálculos realizados en otros módulos (calidad del agua, eutrofización, transporte de sedimentos, etc.). https://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/MIKE_3.htm.

- **Base Matemática**

MIKE 3 Flow Model FM (HD) resuelve las ecuaciones de conservación de cantidad de movimiento y masa en tres dimensiones y variable en el tiempo (ecuaciones de Navier-Stokes). El MIKE 3 Flow Model FM (HD) utiliza el método de las perturbaciones, en el cual el flujo se descompone en valores medios y fluctuaciones turbulentas.

- **Turbulencia**

Las fluctuaciones turbulentas (tensiones de Reynolds) se modelan empleando el concepto de viscosidad turbulenta. El MIKE 3 Flow Model FM (HD) posee cinco posibilidades para representar las fluctuaciones turbulentas: viscosidad eddy constante, Modelo de Smagorinsky, Modelo κ , Modelo κ - ϵ y Mezcla de Smagorinsky / Modelo κ - ϵ . La última formulación es una combinación que utiliza el modelo de Smagorinsky en las dos direcciones horizontales, y el Modelo κ - ϵ en la dirección vertical.

- **Fenómenos Hidrodinámicos**

Los fenómenos hidrodinámicos incluidos en las ecuaciones son: propagación de la marea, efectos de la estratificación, difusión y dispersión turbulentas, fuerza de Coriolis, gradientes de presión barométrica, tensiones debidas al viento, resistencias debidas al fondo, celdas secas y mojadas, efectos hidrodinámicos introducidos por ríos, fuentes y sumideros (tanto de masa como de cantidad de movimiento), intercambio de calor con la atmósfera, incluyendo evaporación y precipitación.

- **Hidráulica Ambiental**

El grupo de módulos ambientales incluye el módulo de advección-dispersión (AD), el módulo de calidad de agua (WQ), el módulo de eutrofización (EU) y módulo de seguimiento de partículas (PA) y el de derrames de hidrocarburos (OS). Los módulos ambientales son similares a los usados en los paquetes MIKE 11 y MIKE 21. Todos han sido muy utilizados y están sobradamente validados.

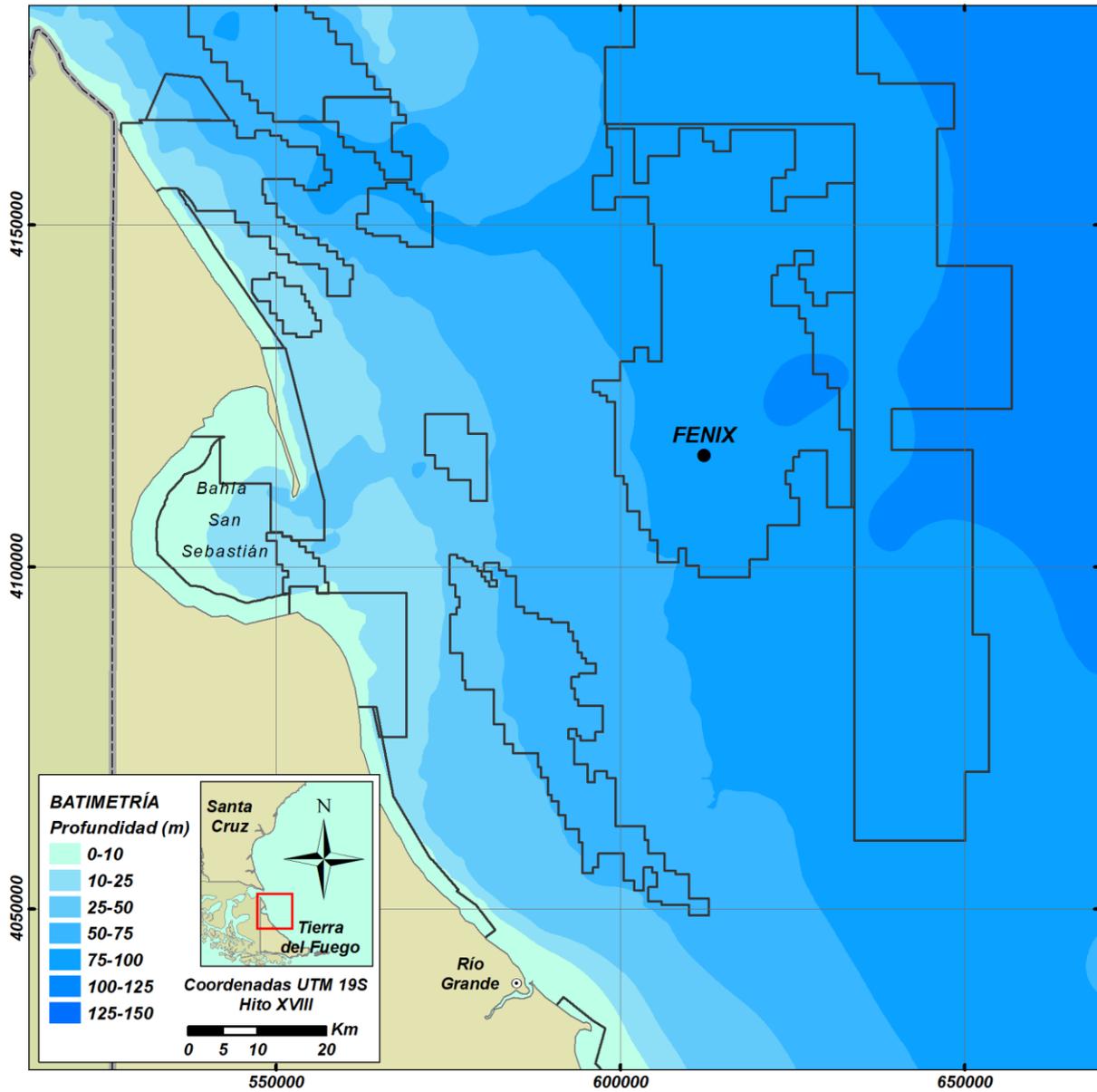
- **Condiciones iniciales y soft start**

Las condiciones iniciales de los modelos numéricos son campos de números que representan a las diferentes variables, temperatura, por ejemplo, que no necesariamente son campos reales, es decir que son útiles para iniciar los cálculos. Pero dado que el modelo resuelve la física de las variables intervinientes: velocidades, niveles del mar, temperatura y salinidad, es de esperar que al cabo de cierto tiempo (si el modelo fue alimentado con condiciones realistas en los bordes) los resultados generados sean semejantes a la realidad y puedan contrastarse con mediciones. MIKE 3 permite además considerar un intervalo en el que se pueden hacer crecer a las variables temporalmente en los bordes de manera lineal o sinusoidalmente. Este período se puede “setear” modificando el “soft start” y permite tener algo de control sobre la estabilización del modelo en los primeros instantes de corrida.

Batimetría en torno a Fenix

La batimetría en la región se ha obtenido de la base global GEBCO 2022. La Figura 3.2.1 presenta la batimetría de la zona de interés del Proyecto Fenix, las profundidades están referidas al nivel medio del mar. Todo el polígono que delimita el área del proyecto se encuentra en profundidades que se encuentran entre los 70 m y 90 m.

Figura 3.2.1 Batimetría de la zona de interés del proyecto Fenix. En polígonos se indican áreas concesionadas.



Definición de los dominios de modelación para las simulaciones

La elección del dominio de modelación para el módulo hidrodinámico, MIKE 3 Flow Model FM (HD), depende de variados factores, los criterios utilizados fueron los siguientes:

- Debe considerarse que los fenómenos que se pretenden estudiar puedan estar adecuadamente representados en el dominio utilizado. Para este caso, la dispersión de sedimentos resulta de una escala que está contenida dentro de la elegida y en consecuencia el dominio adoptado es adecuado para el análisis realizado.
- Los bordes abiertos son zonas críticas para los modelos numéricos, por lo tanto, es preferible que el área de interés se encuentre suficientemente lejos de dichos bordes.
- Cuando se dispone de mediciones para la calibración del modelo, es conveniente que los puntos donde el modelo se compara con las mediciones estén en el centro del dominio de modelación y no cerca de los bordes, de este modo la calibración se realiza sobre lugares más representativos de la grilla.
- La distancia entre los nodos de cálculo del modelo resulta de considerar la estabilidad numérica de este. Las condiciones de estabilidad se expresan como una condición de Courant-Friedrichs-Lewy (CFL), una desigualdad que acota el incremento en el tiempo con una constante por el incremento en el espacio dividido por la velocidad, donde la constante depende del método numérico en cuestión.
- El modelo resuelve las ecuaciones discretizando en elementos finitos, lo que permite una buena definición en torno a la fuente. Esto resulta de utilidad para el análisis de los recortes de perforación, principalmente, ya que, por su granulometría, partes de estos tendrán un comportamiento que requiere más definición en torno a la fuente (los más gruesos) y otros (los más finos) ocuparán mayores superficies.

La elección del dominio de modelación para el módulo hidrodinámico, MIKE 3 Flow Model FM (HD), se ha realizado considerando los tiempos de computación y las limitaciones del modelo.

La Figura 3.2.2 presenta la cobertura del dominio seleccionado para las simulaciones de los vertidos de lodos y recortes de perforación. Las Figuras 3.2.3 y 3.2.4 presentan la grilla del modelo MIKE 3 Flow Model FM (HD) utilizada. Este dominio fue desarrollado en coordenadas plantas UTM 19S.

La Figura 3.2.5 presenta la cobertura temporal utilizadas para las simulaciones de los derrames de hidrocarburo. Este dominio se desarrolló en coordenadas esféricas para evitar deformaciones longitudinales. La Figura 3.2.6 presenta la grilla utilizada y los bordes abiertos en donde se definieron los niveles del mar como forzantes.

Figura 3.2.2 Cobertura en planta del dominio seleccionado para simular el vertido de recortes y lodos (base agua).

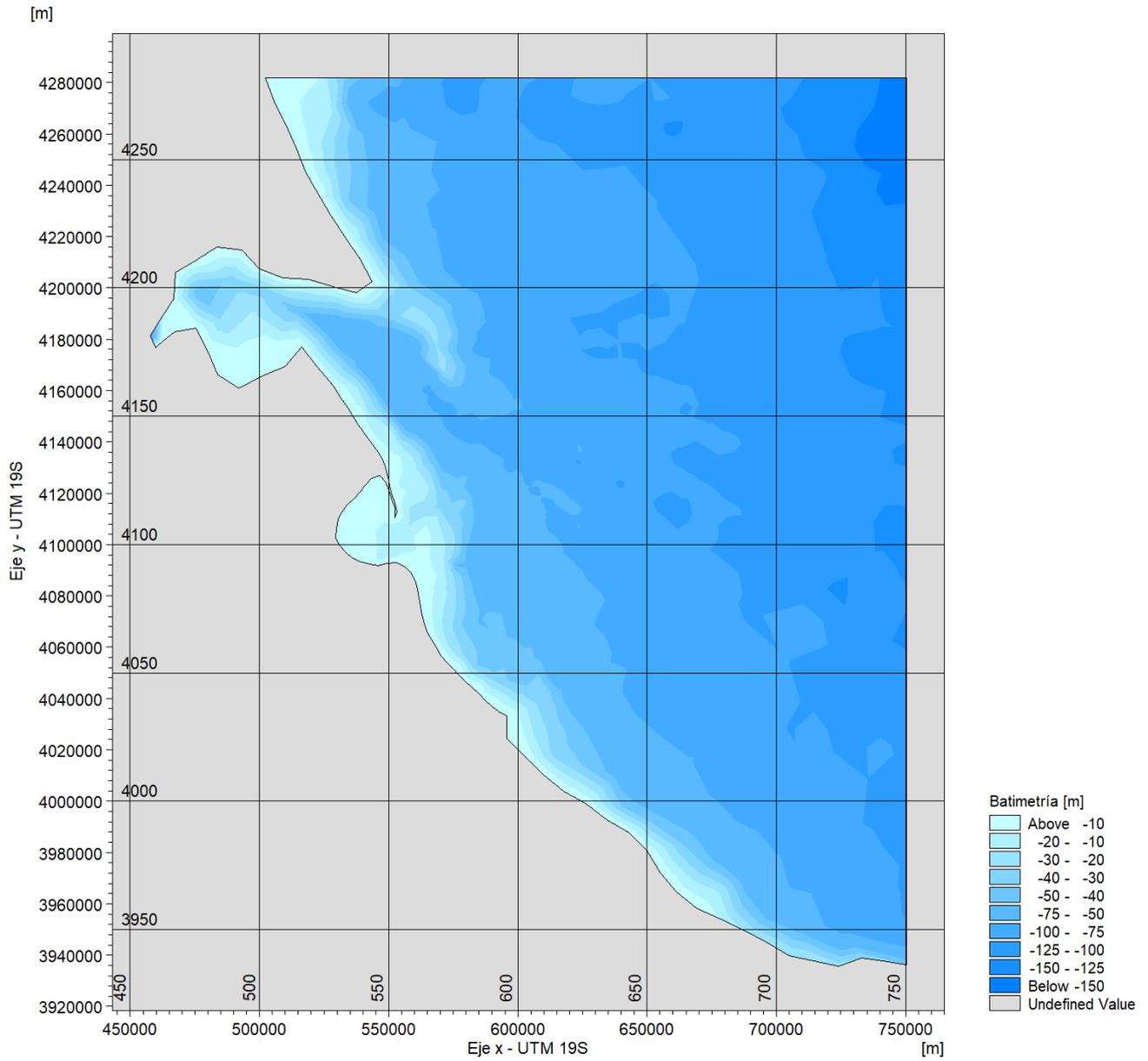


Figura 3.2.3 Grilla de elementos finitos utilizada con los códigos de los bordes. El 1 (puntos azules) corresponde a la tierra, el 2 (puntos verdes) al borde norte y el 3 (puntos rojos) al borde este.

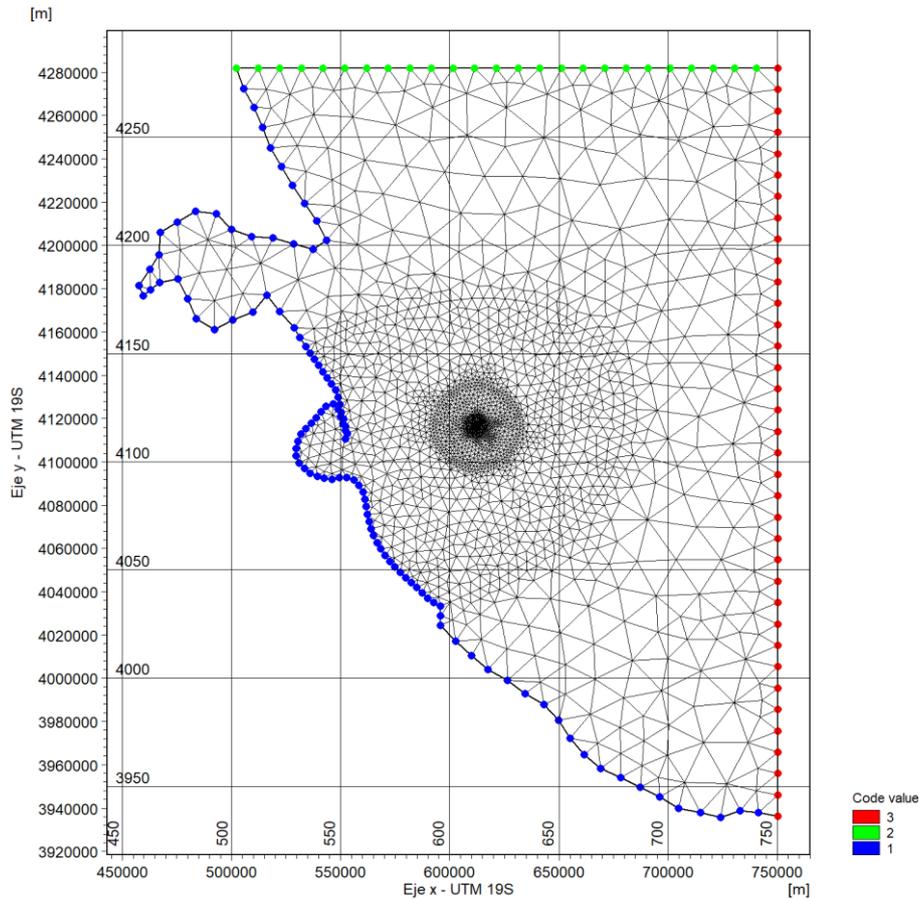


Figura 3.2.4 Acercamiento a la zona de Bahía San Sebastián y zona de descarga de la grilla de elementos finitos utilizada en las simulaciones de los vertidos de lodos (base agua) y recortes. La región oscura corresponde a la zona donde se realizará el vertido.

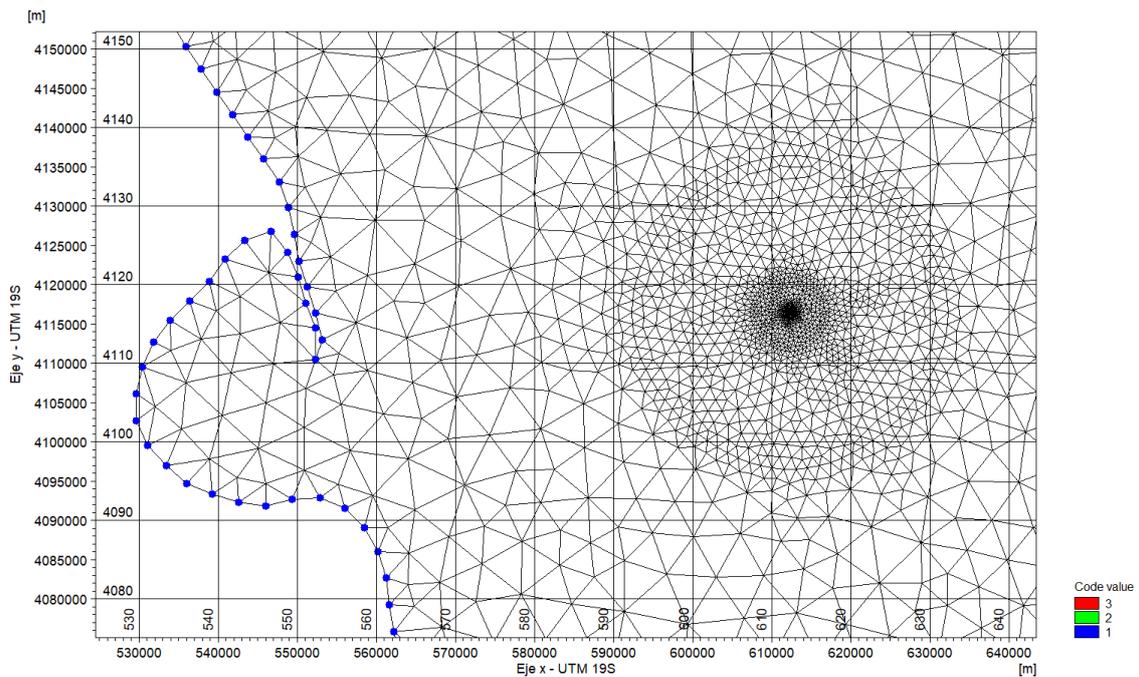


Figura 3.2.5 Cobertura en planta del dominio seleccionado para simular los derrames de hidrocarburos.

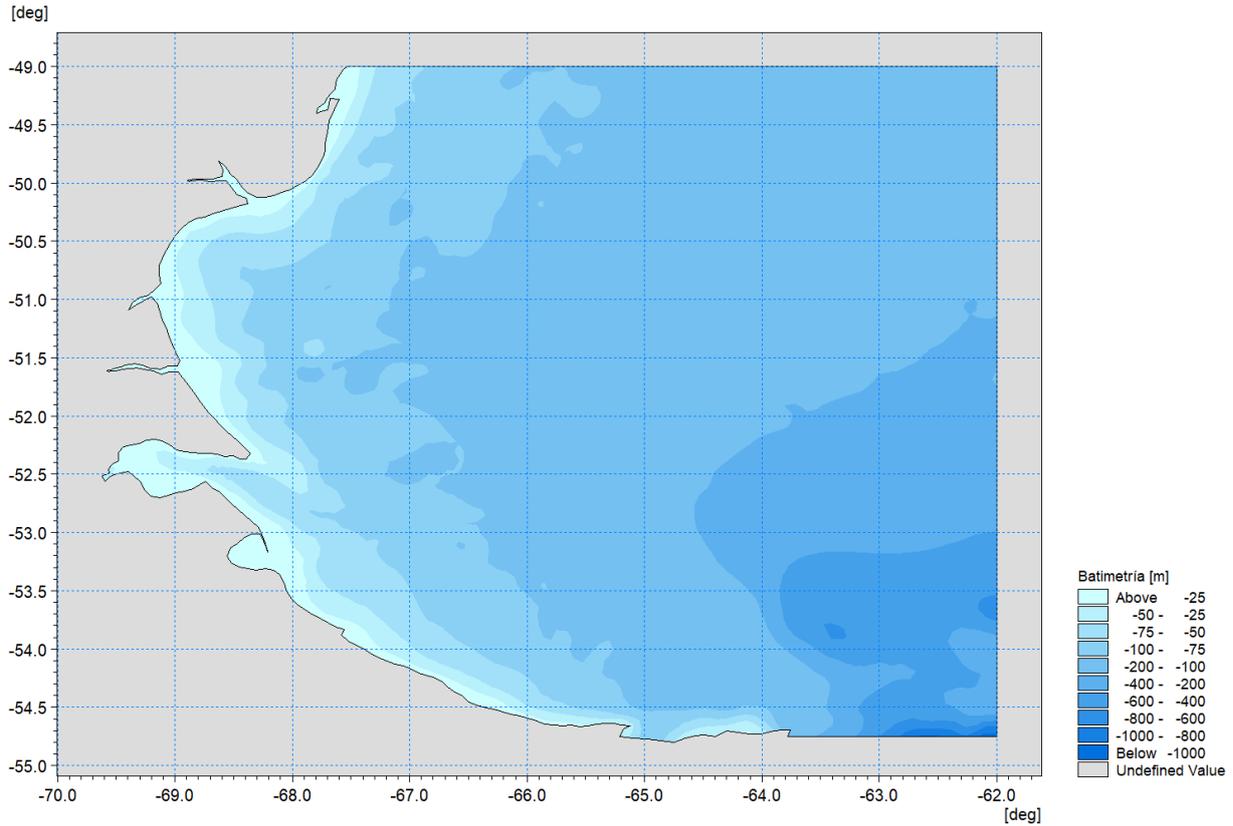
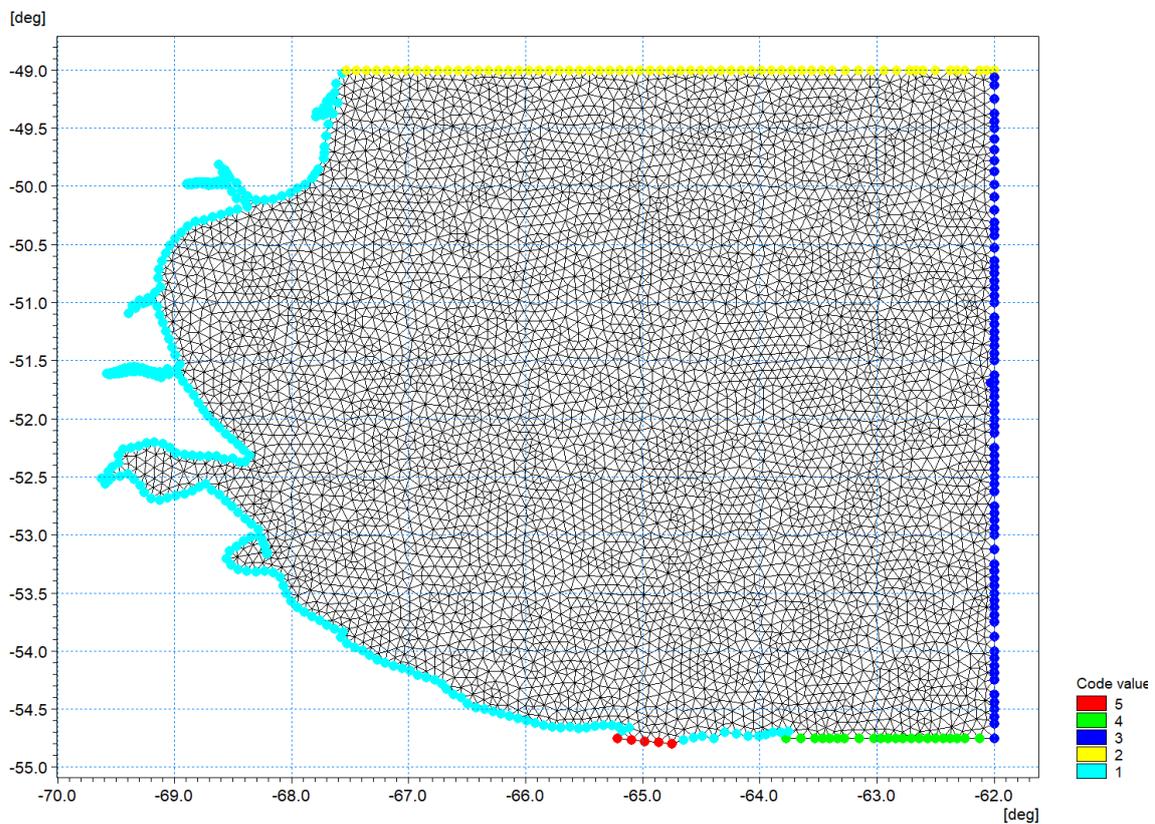


Figura 3.2.6 Grilla de elementos finitos utilizada con los códigos de los bordes. El 1 (puntos celestes) corresponde a la tierra, el 2 (puntos amarillos) al borde norte, el 3 (puntos azules) al borde este, el 4 (puntos verdes) un borde sur y el 5 (puntos rojos) otro borde sur.



Cobertura temporal

Para el seguimiento de los lodos (base agua) y recortes de perforación el modelo hidrodinámico (MIKE 3 FM Flow Model) y el modelo de seguimiento de sedimentos (MIKE 3 Mud Transport) funcionaron de manera acoplada. Esto significa que cuando se simularon las corrientes y niveles del mar, también se simularon los vertidos de lodos (base agua) y recortes de perforación. Para estos casos se utilizaron los años 2008-2009 y 2009-2010, ya que para estos años se cuenta con información hidrodinámica y el modelo fue calibrado con esta información. Para estos 2 períodos se simuló la perforación de los 3 pozos (n diferentes épocas) y como puede verse en los resultados (más adelante en este informe), la dispersión (diferencia entre las diferentes corridas) es pobre.

Para el caso de los derrames el modelo funciona de manera desacoplada, eso significa que en primer lugar se obtienen los campos hidrodinámicos (corrientes y niveles del mar) y luego sobre estos se simulan los derrames. También se requiere una cobertura espacial y temporal porque, en principio, debe suponerse que los derrames se mantendrán sobre la superficie del mar mayor tiempo que los lodos (base agua) y recortes alcanzado en consecuencia, mayores distancias hasta caer por debajo de las concentraciones guía. Entonces, con la calibración conseguida para el MIKE 3 FM Flow Model durante los años 2008, 2009 y 2010, se generaron los campos de corrientes donde se simularon los potenciales derrames de hidrocarburos. Los períodos de los campos de corrientes son los siguientes:

- Enero de 2008 a junio de 2011
- Enero de 2016 a diciembre de 2018
- Enero de 2019 a diciembre de 2021

Número de Courant–Friedrichs–Lewy (CFL)

El sistema computa el número adimensional CFL máximo resultante de la batimetría y de la resolución temporal adoptada, en todos los casos regula para este número no supero 0.8. Para ello se limita el pase temporal entre 0.01 s y 60 s.

Puntos de Cálculo

Para el modelo hidrodinámico que se utiliza de base para simular los vertidos de los lodos (base agua) y recortes de perforación, se utilizó una grilla con 2504 nodos, 4832 elementos y 7 capas en la vertical.

Para el modelo hidrodinámico que se utiliza como base para simular los derrames de hidrocarburos se utilizó una grilla con 9625 nodos, 18708 elementos y 10 capas en la vertical.

Temperatura y Salinidad

El MIKE 3 Flow Model FM (HD) requiere de condiciones específicas de temperatura y salinidad a través de todos los nodos correspondientes a los bordes abiertos del recinto estudiado, en función del tiempo.

Durante las mediciones con ADCP para los estudios metocean en la estación Pleyade METOCEAN se realizaron mediciones de temperatura, la Figura 3.2.7 presenta las mediciones de temperatura realizadas.

Para las simulaciones, se ha considerado establecer las condiciones de temperatura y salinidad en función de los valores del reanálisis de Copernicus presentados en las Figuras 3.2.8 y 3.2.9.

Figura 3.2.7 Datos de temperatura adquiridas con ADCP para los estudios metocean en la estación Pleyade METOCEAN a unos 40 m de profundidad.

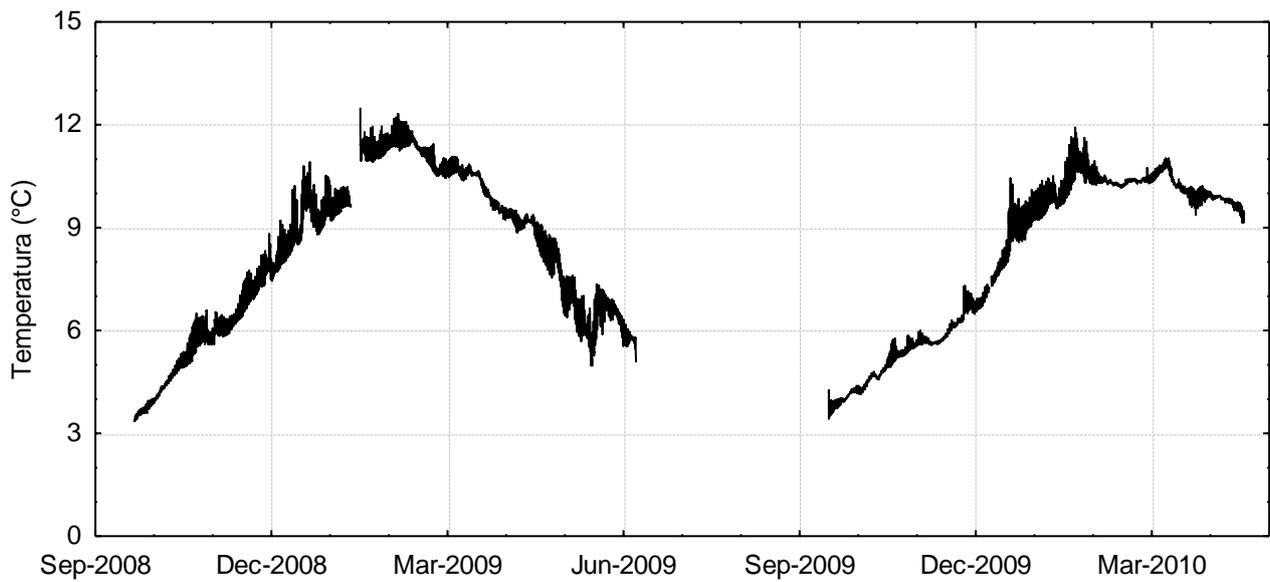


Figura 3.2.8 Temperatura superficial del reanálisis de Copernicus promedio para la grilla de modelación.

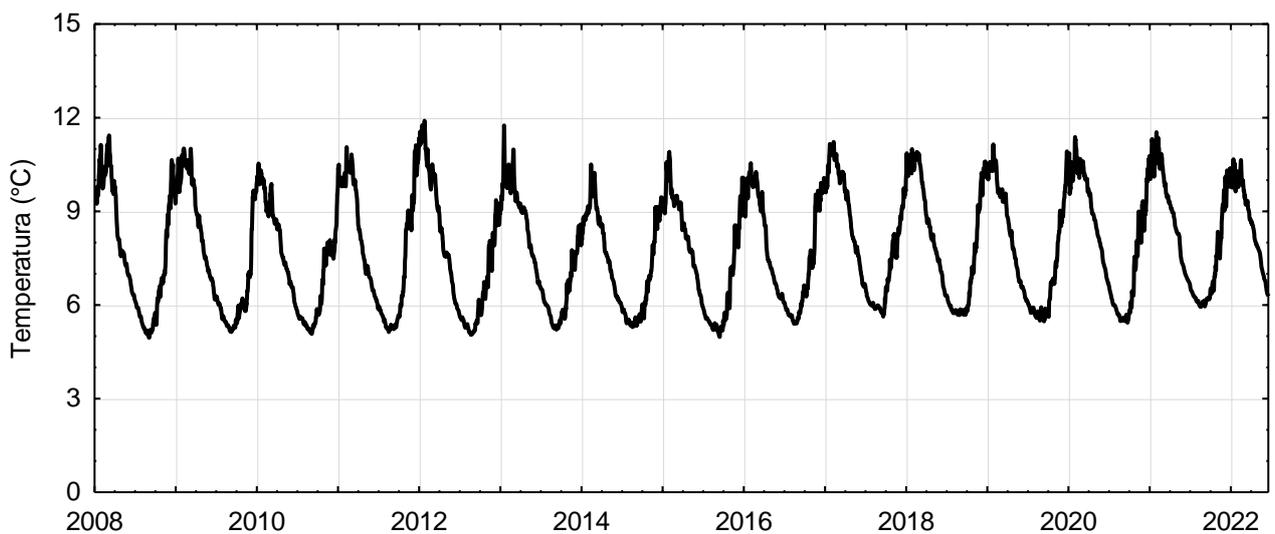
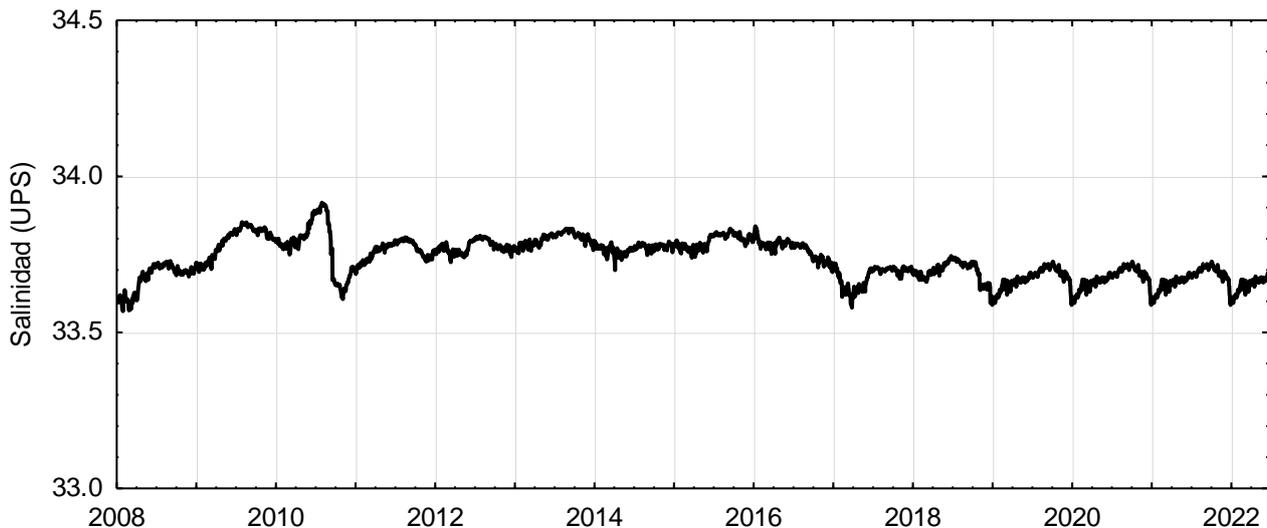


Figura 3.2.9 Salinidad superficial del reanálisis de Copernicus promedio para la grilla de modelación.



Mareas. Condiciones de Contorno

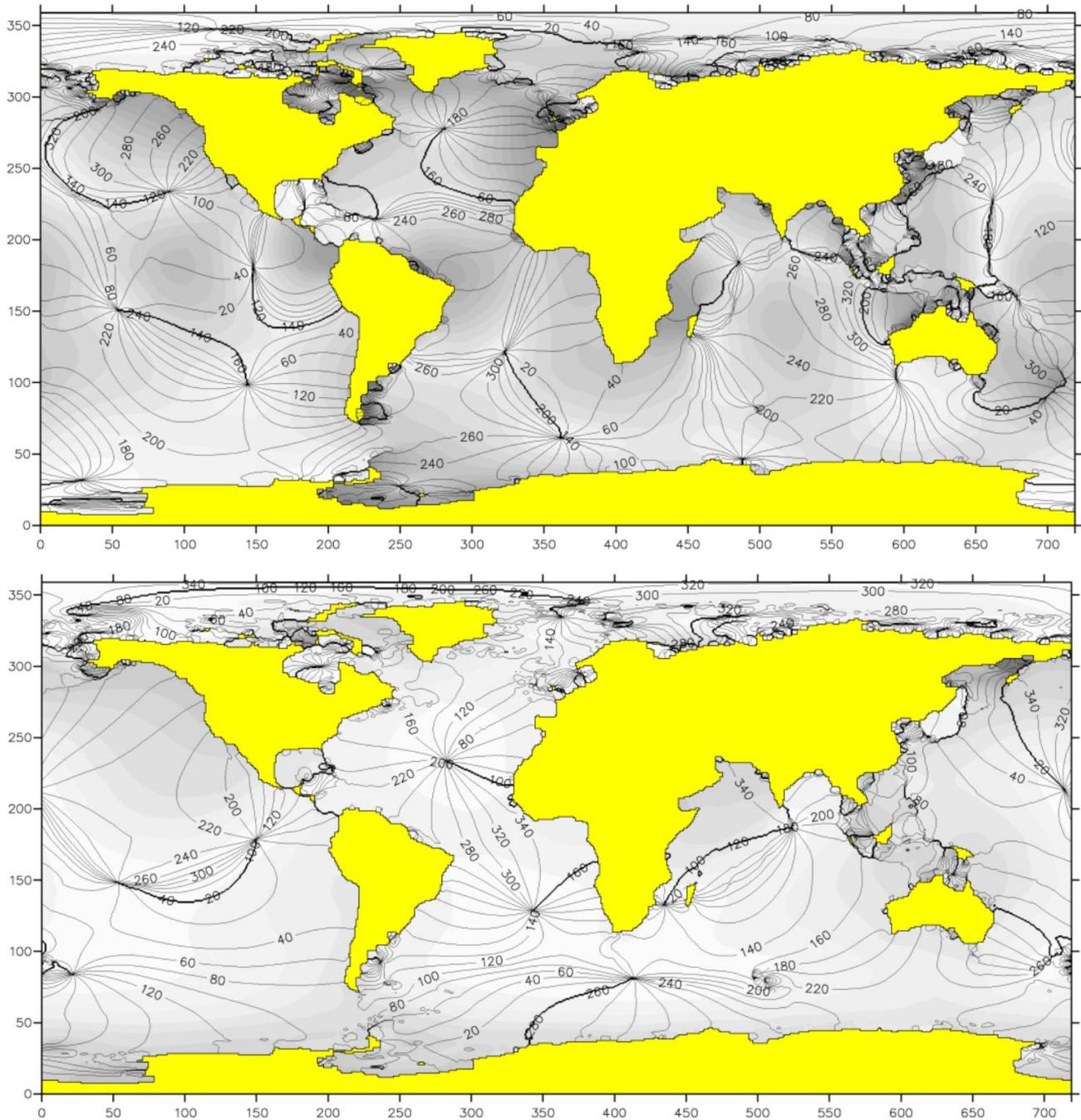
El modelo MIKE 3 Flow Model FM (HD) necesita condiciones específicas de niveles del mar o de flujo de agua a través de todos los nodos correspondientes a los bordes abiertos del recinto estudiado, en función del tiempo. Los bordes del modelo de lodos (base agua) y recortes se presentan con códigos 2 y 3 en la Figura 3.2.3.

Todos los modelos hidrodinámicos requieren condiciones en los contornos o bordes abiertos del dominio de cómputo. Para el caso de simulaciones con forzantes mareológicos, siempre se requiere de un tratamiento particular ya que rara vez se dispone de mediciones directas de niveles del mar en aguas abiertas. En estos casos, por lo general, los resultados de modelos globales son de utilidad para representar las variaciones espaciotemporales de los niveles del agua en los bordes del dominio.

Modelo global de mareas utilizado para la predicción de los niveles del mar en los bordes de la grilla. *MIKE 21 Global Tide Model* – es el modelo que genera la predicción de niveles de agua de las mareas. La versión mejorada de este modelo está disponible en una resolución de 0.125° x 0.125°. El modelo se ha actualizado con 4 años adicionales de mediciones de satélites de radar y se han añadido 2 constituyentes adicionales que proporcionan mejores predicciones de los niveles de agua en aguas poco profundas. El modelo actualizado incluye los siguientes 10 constituyentes Semidiurno: M2, S2, K2, N2 - Diurno: S1, K1, O1, P1, Q1 - Aguas poco profundas: M4. El modelo global de mareas ha sido desarrollado por DTU Space. Puede verse [DTU10 global ocean tide model](https://www.dtu.dk/en/Research/DTU_Space/DTU10_global_ocean_tide_model) para obtener más información.

La Figura 3.2.10 presenta las líneas cotidianas de las componentes M2 y K1 calculadas por el MIKE 21 Global Tide Model.

Figura 3.2.10 Carta de la cotidales para la componente M2 (arriba) y K1 (abajo) calculadas por el MIKE 21 Global Tide Model para todo el planeta.



Las series de alturas de mareas son horarias referidas al NMM del lugar y cubren temporalmente desde enero de 2008 a diciembre de 2022.

A continuación, en las Figuras 3.2.11 y 3.2.12 se presentan unas impresiones de pantalla con la manera en que lucen los archivos variables en tiempo y espacio en los bordes de los modelos. En cada imagen se presentan el borde norte y el borde este de la grilla utilizada para las simulaciones. Las Figuras 3.2.13 y 3.2.14 ilustran acerca de la variación temporal de un punto de estos bordes.

Figura 3.2.11 Imágenes de los archivos que resultan input de los niveles del mar en los bordes este (arriba) y norte (abajo) de la grilla del modelo que simula el vertido de recortes y lodos (base agua)

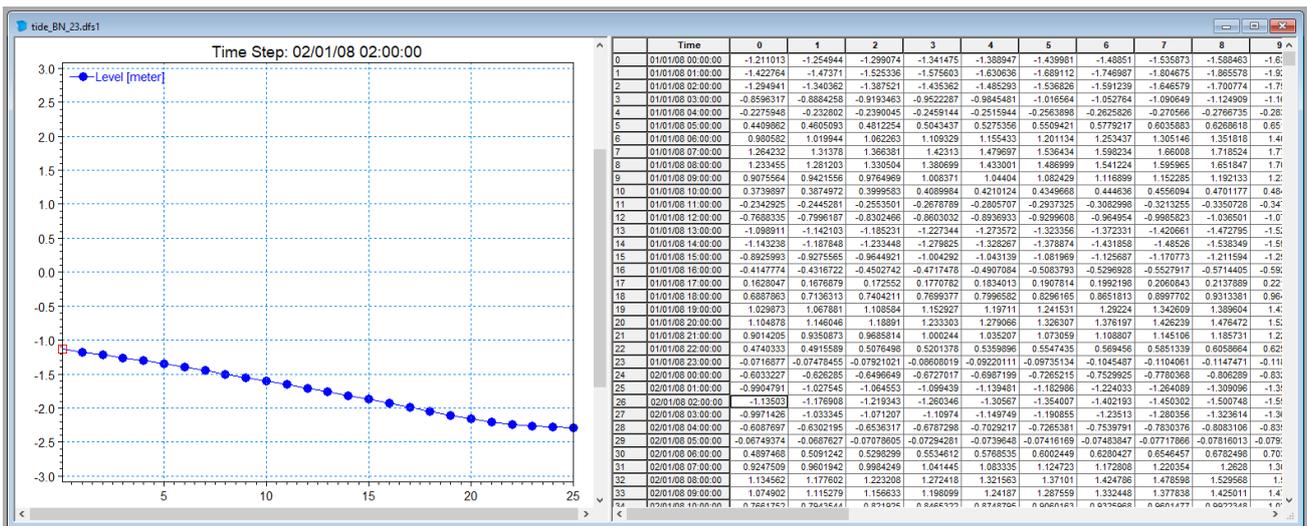
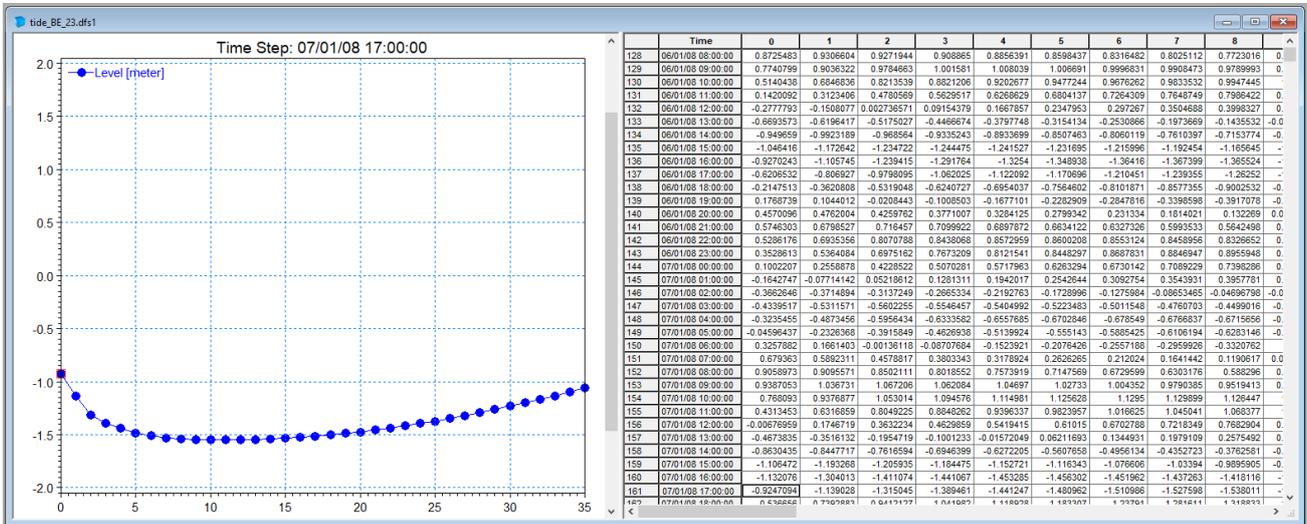


Figura 3.2.12 Imágenes de los archivos que resultan parte del input de los niveles del mar (solo el asociado al reanálisis de Copernicus) que luego se suman a la marea astronómica en los bordes de la grilla para las simulaciones de los derrames de hidrocarburos

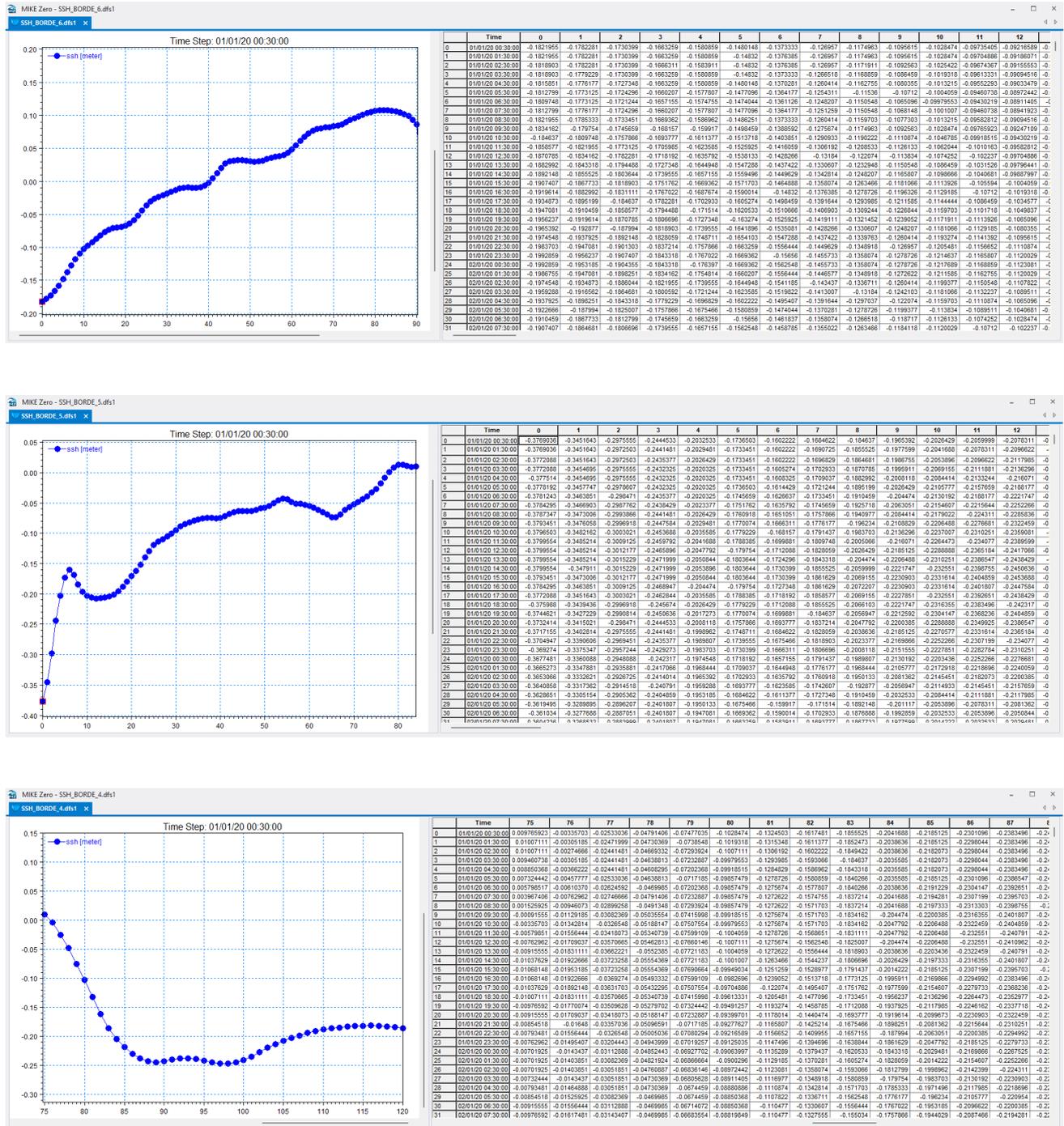


Figura 3.2.13 Alturas horarias de marea para los meses de octubre y noviembre de 2008 para un punto del borde este calculado por el MIKE 21 Tide Global Model.

Punto del Borde Este - Octubre y noviembre 2008

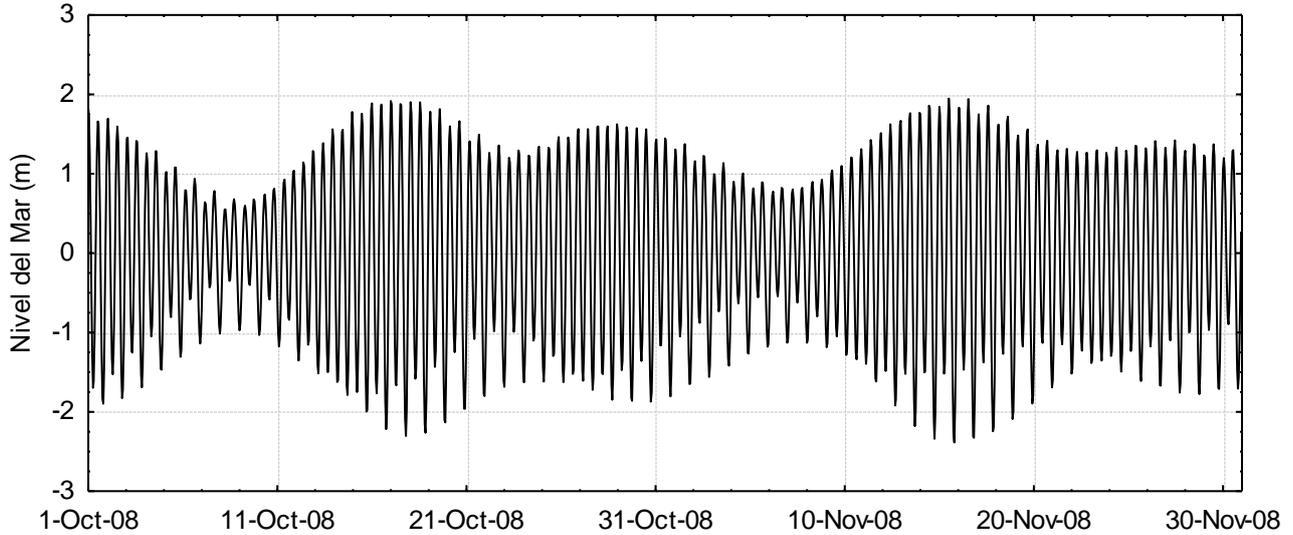
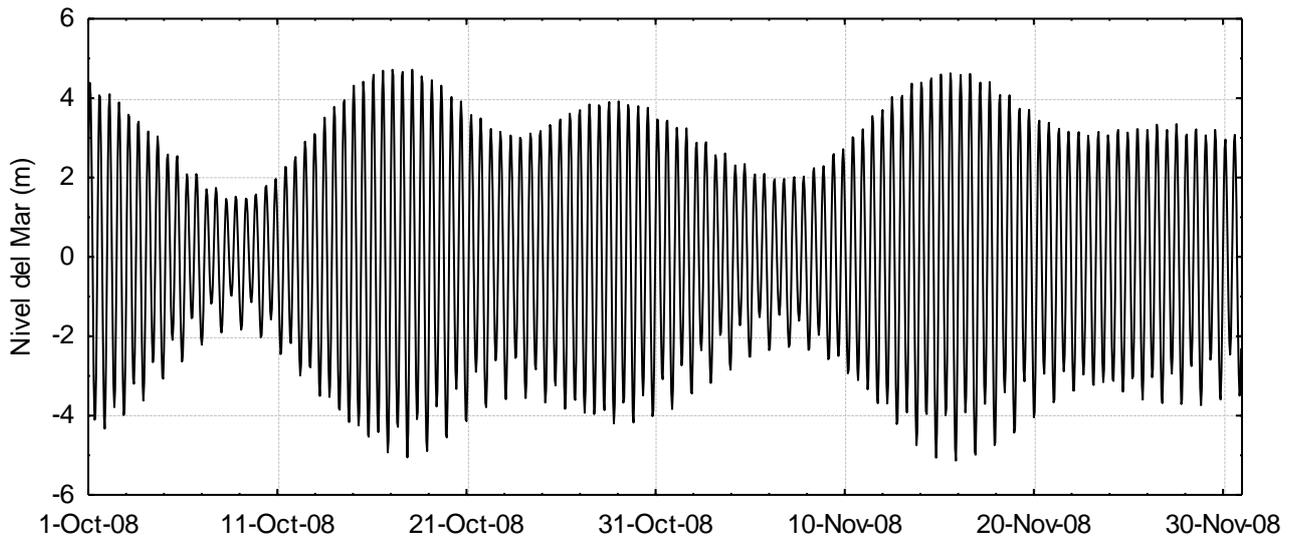


Figura 3.2.14 Alturas horarias de marea para los meses de octubre y noviembre de 2008 para un punto del borde norte calculado por el MIKE 21 Tide Global Model.

Punto del Borde Norte - Octubre y noviembre 2008



Vientos. Condiciones de Contorno

Los datos de vientos corresponden al Reanalysis 2 del NCEP (National Centers for Environmental Prediction) (www.ncep.noaa.gov/) y fueron extraídos de los 35 puntos de la grilla del modelo global para cubrir una zona amplia que potencialmente pueda modelarse. El NCEP-DOE es una versión mejorada del modelo NCEP Reanalysis I que corrigió errores y actualizó parametrizaciones de procesos físicos. La cobertura temporal de 1 dato, cada 6 h entre, promedios diarios y mensuales para 1979/01 a 2022/07. La grilla global posee diferentes resoluciones y en altura posee 17 niveles de presión (hPa): 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10.

Las Figuras 3.2.15 y 3.2.16 muestran diagramas de dispersión velocidad del viento - dirección (desde dónde vienen los vientos), para el período enero 1979 – diciembre 2019 (41 años completos para que no haya sesgo), con 4 observaciones diarias, calculadas a 10 m de altura sobre el nivel del mar, para los puntos NCEP-1 y NCEP-2, respectivamente. Las Tablas 3.2.1 a 3.2.2 muestran histogramas bidimensionales velocidad – dirección del viento, para los puntos mencionados.

Las coordenadas de los puntos utilizados son:

- **NCEP-1:** 52.3799° S, 65.625° W
- **NCEP-2:** 54.2846° S, 65.625° W

Figura 3.2.15 Diagrama de dispersión velocidad del viento – dirección, para el período 1979 – 2019. Punto NCEP-1: 52.3799° S - 65.625° W. (<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>). Número de datos (1 dato cada 6h): 58400

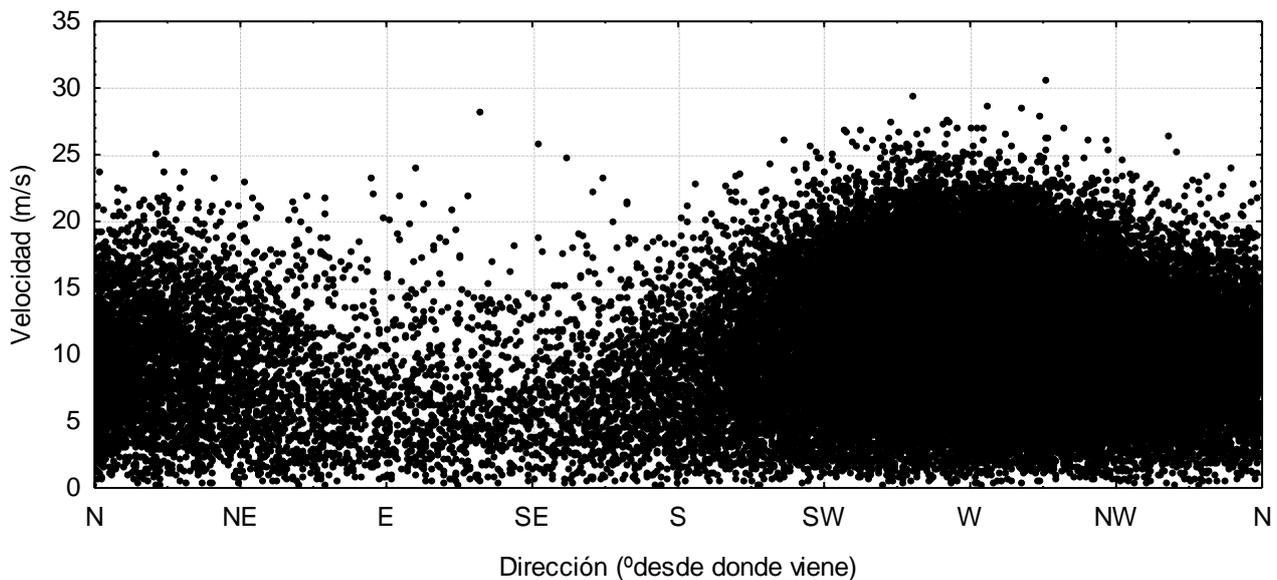


Figura 3.2.16 Diagrama de dispersión velocidad del viento – dirección, para el período 1979 – 2019. Punto NCEP-2: 54.2846° S - 65.625° W. (<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>). Número de datos: 59900

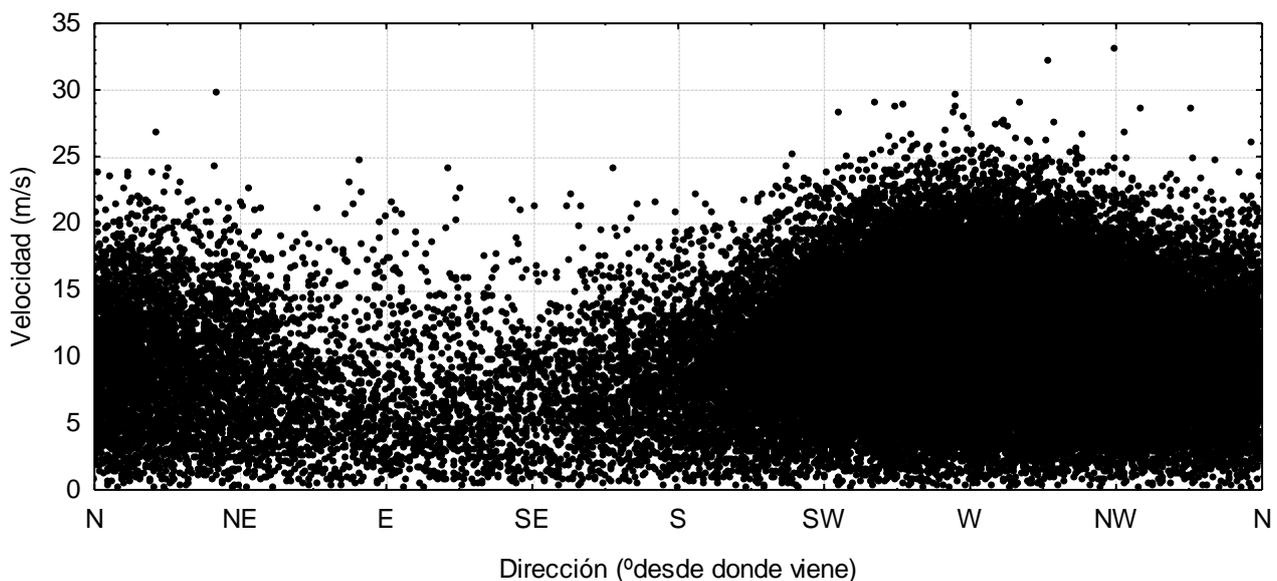


Tabla 3.2.1 Histograma bidimensional velocidad del viento – dirección, para el período 1979 – 2019. Punto NCEP-1: 52.3799° S - 65.625° W. (<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>). Número de datos: 59900

Intensidad (m/s)	Dirección								Suma
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
0 - 5	1.250	0.703	0.541	0.518	0.816	1.492	2.294	2.083	9.697
5 - 10	3.836	1.124	0.533	0.566	1.534	5.259	11.411	9.174	33.437
10 - 15	3.285	0.871	0.172	0.197	1.045	6.035	16.395	9.816	37.816
15 - 20	0.871	0.282	0.070	0.040	0.262	3.109	8.671	3.212	16.517
20 - 25	0.077	0.042	0.017	0.007	0.027	0.459	1.444	0.346	2.419
25 - 30	0.002			0.003		0.030	0.062	0.015	0.112
30 - 35								0.002	0.002
35 - 40									
Suma	9.321	3.022	1.333	1.331	3.684	16.384	40.277	24.648	100

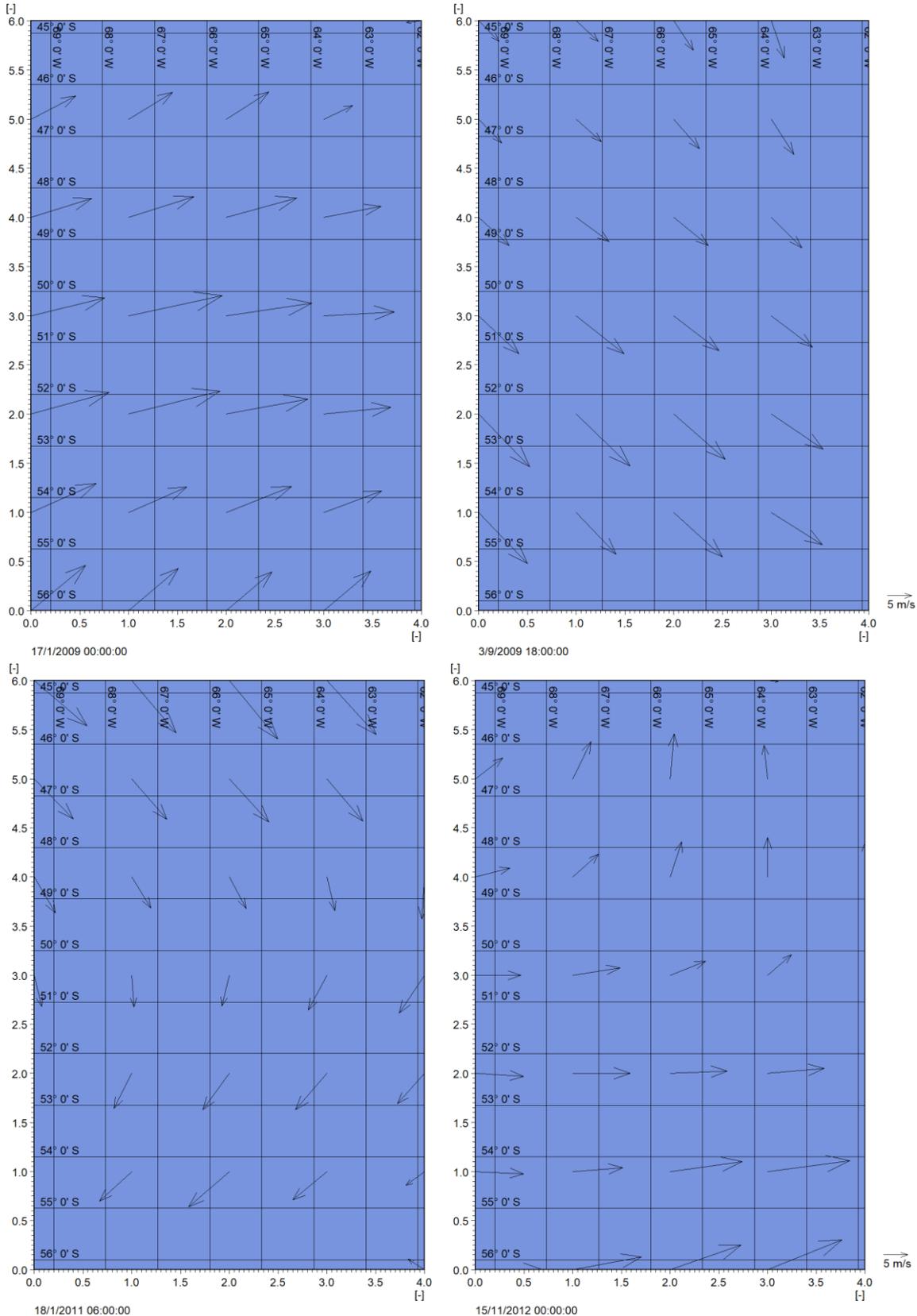
Tabla 3.2.2 Histograma bidimensional velocidad del viento – dirección, para el período 1979 – 2019. Punto NCEP-2: 54.2846° S - 65.625° W. (<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>). Número de datos: 59900

Intensidad (m/s)	Dirección								Suma
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
0 - 5	1.531	0.841	0.606	0.571	0.998	1.521	2.230	2.157	10.455
5 - 10	4.098	1.449	0.583	0.755	1.940	5.402	10.028	8.913	33.168
10 - 15	3.596	1.007	0.237	0.289	1.259	5.988	15.031	10.499	37.906
15 - 20	1.028	0.294	0.087	0.063	0.292	2.694	7.664	3.943	16.065
20 - 25	0.120	0.040	0.023	0.012	0.015	0.409	1.219	0.459	2.297
25 - 30	0.005	0.002				0.017	0.067	0.015	0.106
30 - 35								0.003	0.003
35 - 40									
Suma	10.378	3.633	1.536	1.690	4.504	16.031	36.239	25.989	100

Las direcciones de los vientos dominantes tienen una componente del sector W. Estos vientos (representativos a 10 m de altura sobre la superficie del mar) alcanzan velocidades mayores a 20 m/s para el período abril 2008 a mayo 2010 (tramo de calibración). Los vientos más frecuentes provienen de las direcciones comprendidas entre el sudoeste y el noroeste, con intensidades medias que rondan los 10 m/s.

La Figura 3.2.17 ilustra acerca de los vientos utilizados para las simulaciones. Presenta una representación en planta de los vectores de viento en superficie correspondiente al archivo que se utiliza como input para las simulaciones, construida en base a los 35 puntos extraídos de la base de datos de NCEP (7 en latitud y 5 en longitud).

Figura 3.2.17 Representación en planta de los vectores de viento en superficie correspondiente al archivo que se utiliza como input para las simulaciones. Para ilustrar se presentan 4 instantes cualesquiera: 17 de enero de 2009 a las 00hs, 3 de septiembre de 2009 a las 18 hs, 18 de enero de 2011 a las 06 hs y 15 de noviembre de 2012 a las 00 hs.



3.3. Mediciones de corrientes y niveles del mar

Hacia el final de septiembre de 2008 varios instrumentos para medir parámetros oceanográficos se desplegaron como parte de un período de medición de 12 meses correspondiente a la Campaña de METOCEAN Vega Pleyade en el mar de la provincia de Tierra del Fuego, Argentina.

El instrumento para registrar corrientes y niveles del mar fue un ADCP AWAC 600 kHz marca Nortek AS, que además posee la capacidad de medir olas direccionales. Este perfilador acústico se ha instalado en una estructura de fibra de vidrio especial ubicada en el fondo del mar a una profundidad de 37 m.

Las características del instrumento y del fondeo se describen a continuación:

- Estación: Pleyade METOCEAN
- Instrumento: ADCP AWAC 600 kHz Nortek
- Latitud: 53° 18' 19"
- Longitud: 67° 49' 52"
- Fecha de la mediciones: Con interrupciones desde el 29 de septiembre 29 de 2008 al 19 de abril de 2010
- Profundidad media del lugar: 37 m
- Posición del Instrumento: datos cada 2 m en la vertical
- Número de datos: 66,658
- Intervalo de muestreo: 10 min
- Tipo de datos: corrientes y niveles del mar

Una vez recuperados los datos, fueron procesados y puestos en formato para hacer la calibración del MIKE 3 Flow Model FM (HD). Algunas características de las corrientes medidas pueden verse en las siguientes figuras.

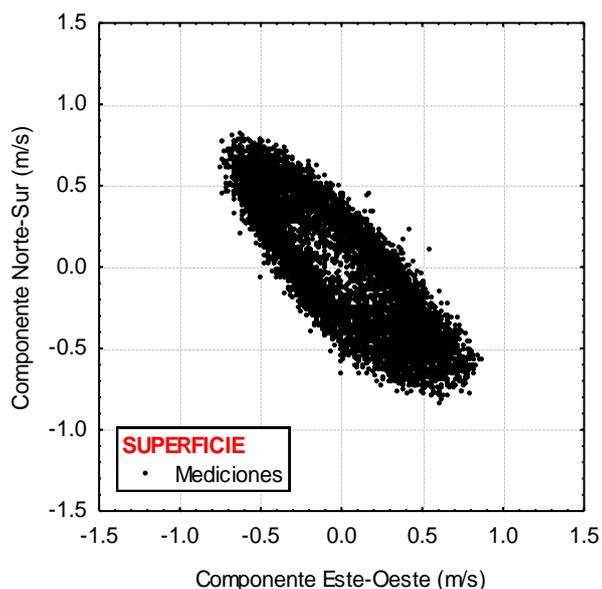
A continuación, se presentan las Figuras 3.2.1 a 3.2.3 con los diagramas de dispersión y series de tiempo con las velocidades discriminadas por componentes, medidas en superficie, media agua y fondo.

Los diagramas de dispersión corresponden a los datos que cubren desde septiembre de 2008 a junio de 2010, procesados y llevados de un intervalo de tiempo de 10 min a 1 h. Para las series de tiempo se presentan a modo de ejemplo el meses de octubre y noviembre de 2008.

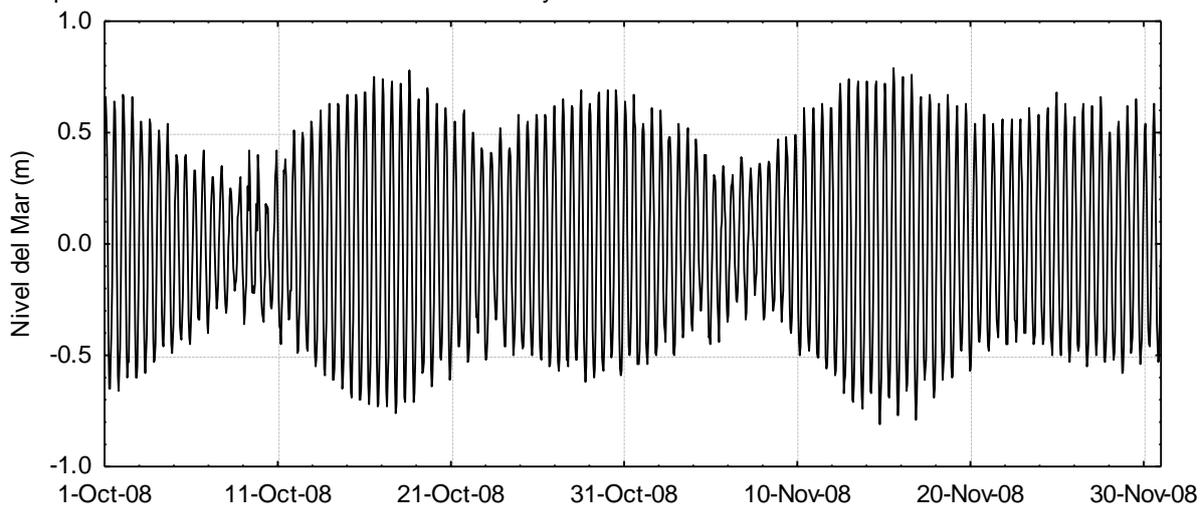
La Tabla 3.3.1 presenta los histogramas de doble entrada (velocidad y dirección) de las corrientes en la Estación Pleyade METOCEAN en superficie, media agua y fondo.

La Figura 3.3.4 y 3.3.5 ilustran acerca de los niveles del mar registrados en la Estación Pleyade METOCEAN.

Figura 3.3.1 Velocidades medidas en Estación METOCEAN Pleyade en Superficie. Diagrama de dispersión (arriba) y series de tiempo (abajo) por componentes para octubre y noviembre de 2008.



Componente Este-Oeste **SUPERFICIE** - Octubre y noviembre 2008



Componente Norte-Sur **SUPERFICIE** - Octubre y noviembre 2008

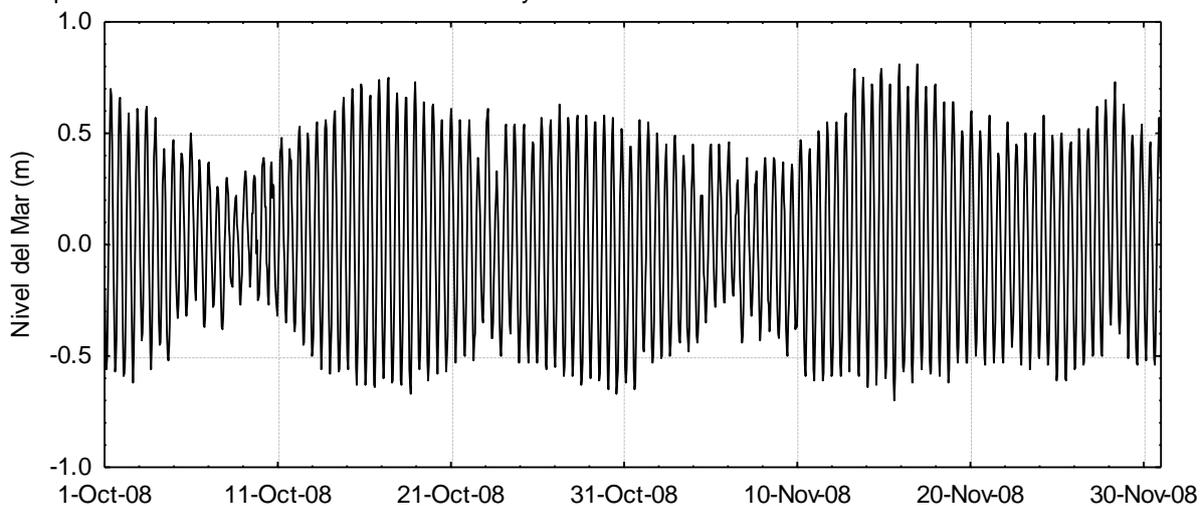
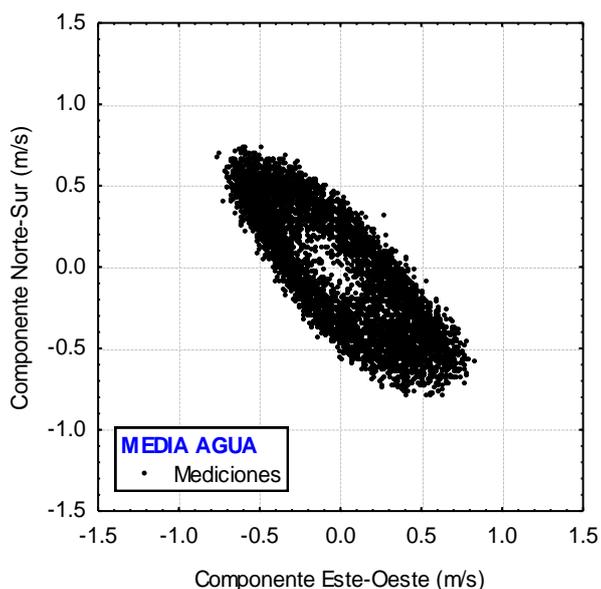
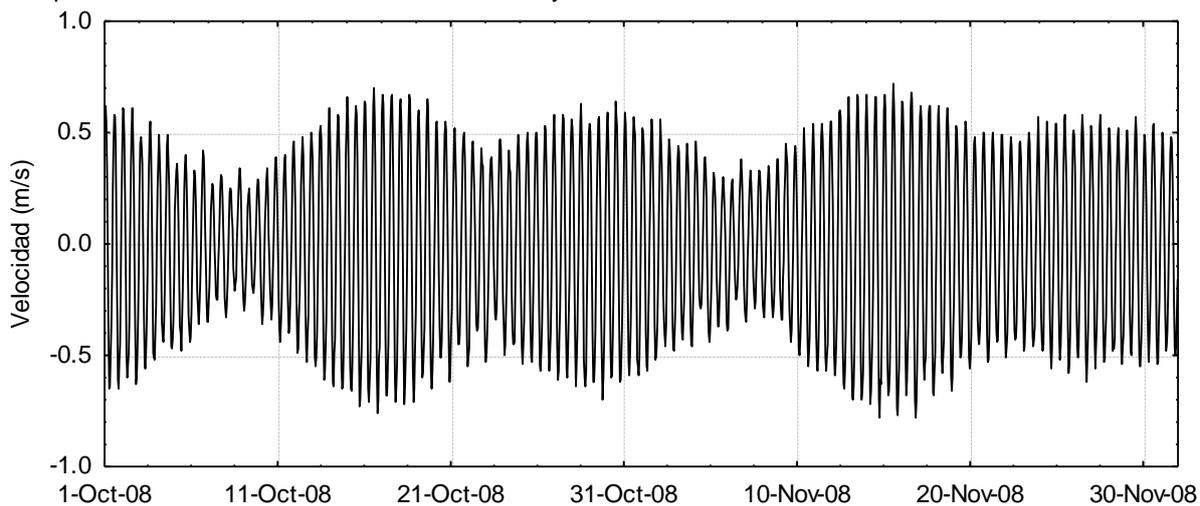


Figura 3.3.2 Velocidades medidas en Estación METOCEAN Pleyade a Media Agua. Diagrama de dispersión (arriba) y series de tiempo (abajo) por componentes para octubre y noviembre de 2008.



Componente Este-Oeste **MEDIA AGUA** - Octubre y noviembre 2008



Componente Este-Oeste **MEDIA AGUA** - Octubre y noviembre 2008

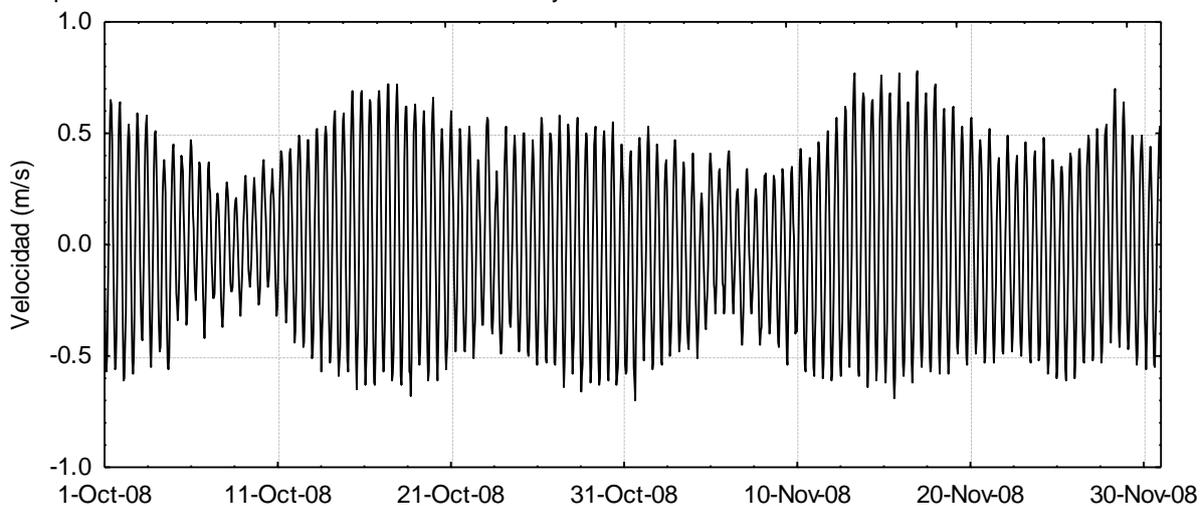
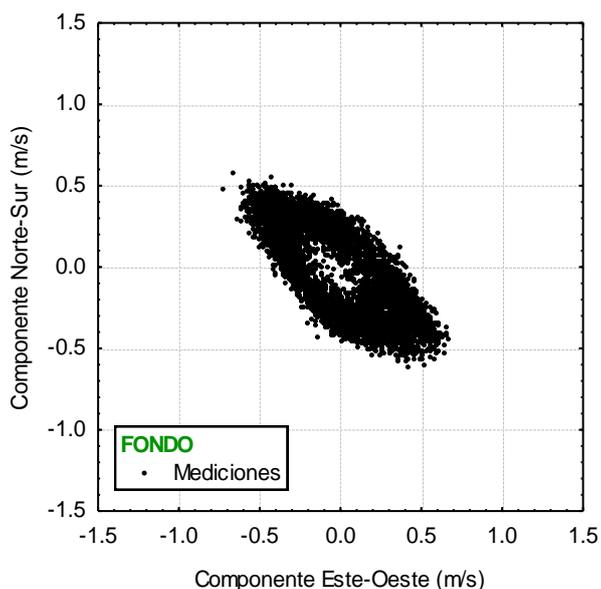
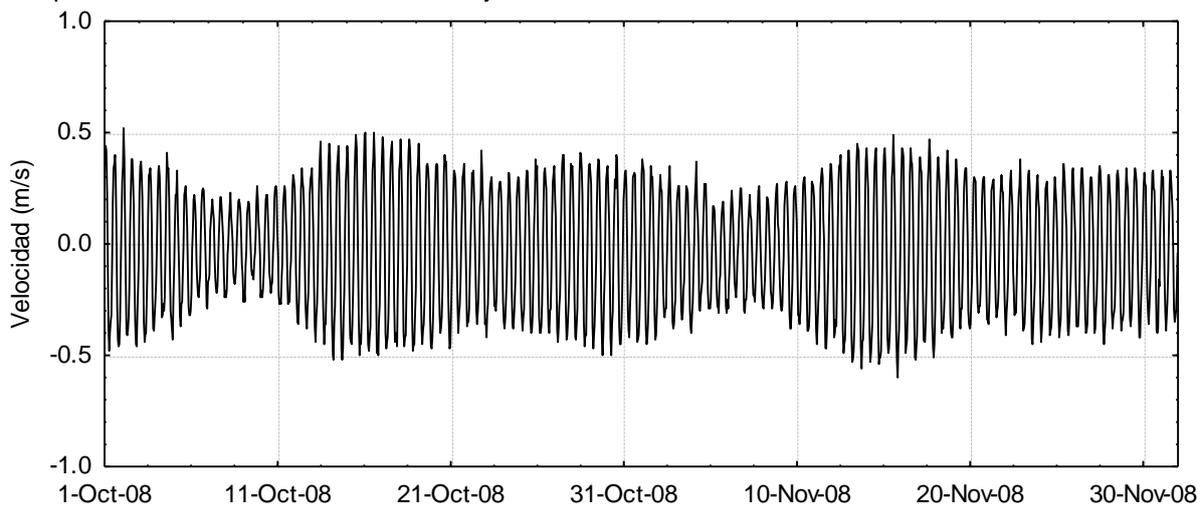


Figura 3.3.3 Velocidades medidas en Estación METOCEAN en el fondo. Diagrama de dispersión (arriba) y series de tiempo (abajo) por componentes para octubre y noviembre de 2008.



Componente Este-Oeste FONDO - Octubre y noviembre 2008



Componente Norte-Sur FONDO - Octubre y noviembre 2008

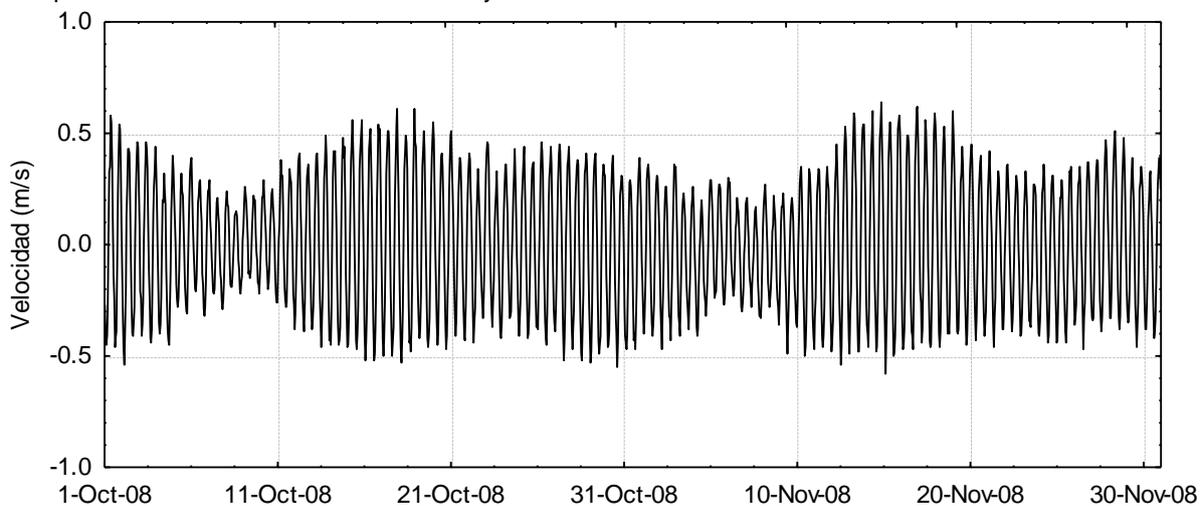


Tabla 3.3.1 Histograma bidimensional (porcentual) de la Estación. Pleyade METOCEAN (arriba: superficie, medio: media agua y abajo: fondo: Número de datos: 66,658

Velocidad (cm/s)	Dirección (hacia dónde va)								Suma
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
0-15	0.396	0.483	0.332	0.146	0.227	0.267	0.212	0.212	2.275
15-30	2.76	2.808	2.493	0.882	2.46	2.86	2.015	1.435	17.713
30-45	2.988	0.489	3.836	3.906	3.135	0.986	3.725	4.08	23.145
45-60	0.756	0.045	1.955	7.964	0.518	0.068	2.326	7.389	21.021
60-75	0.133	0.021	0.561	8.982	0.054	0.053	0.879	8.86	19.553
75-90	0.017	0.003	0.135	5.842	0.02	0.033	0.209	5.908	12.167
90-105	0.005		0.024	1.559	0.009	0.014	0.033	2.242	3.886
105-120			0.005	0.056	0.005		0.002	0.182	0.250
120-135									
Suma	7.055	3.849	9.341	29.347	6.428	4.281	9.401	30.308	100

Velocidad (cm/s)	Dirección (hacia dónde va)								Suma
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
0-15	0.482	0.528	0.348	0.135	0.095	0.179	0.137	0.201	2.105
15-30	3.007	2.948	2.703	0.758	2.267	2.942	1.601	1.376	17.602
30-45	2.912	0.365	3.872	3.85	3.923	1.598	4.373	4.024	24.917
45-60	0.717	0.009	1.784	8.909	0.812	0.027	3.258	7.471	22.988
60-75	0.065	0.009	0.344	9.483	0.039	0.011	1.172	8.845	19.978
75-90	0.008	0.002	0.017	4.498	0.015	0.006	0.197	5.21	9.953
90-105			0.002	0.783	0.005	0	0.024	1.587	2.401
105-120				0.009	0.002	0.003	0.003	0.05	0.067
120-135									
Suma	7.191	3.861	9.07	28.436	7.158	4.766	10.765	28.764	100

Velocidad (cm/s)	Dirección (hacia dónde va)								Suma
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
0-15	0.818	0.936	0.635	0.297	0.171	0.227	0.216	0.405	3.705
15-30	4.307	2.922	4.598	2.991	3.958	3.926	3.17	3.161	29.033
30-45	2.364	0.092	2.174	10.871	4.702	0.846	5.855	8.989	35.895
45-60	0.312		0.08	9.81	0.513		1.212	11.028	22.955
60-75	0.009			2.924	0.006		0.029	4.754	7.722
75-90				0.168				0.524	0.692
90-105									
105-120									
120-135									
Suma	7.81	3.95	7.487	27.063	9.35	4.999	10.482	28.861	100

Figura 3.3.4 Niveles del mar medidos en Estación METOCEAN. Serie de tiempo para octubre y noviembre de 2008.

Niveles del Mar - Octubre y noviembre 2008

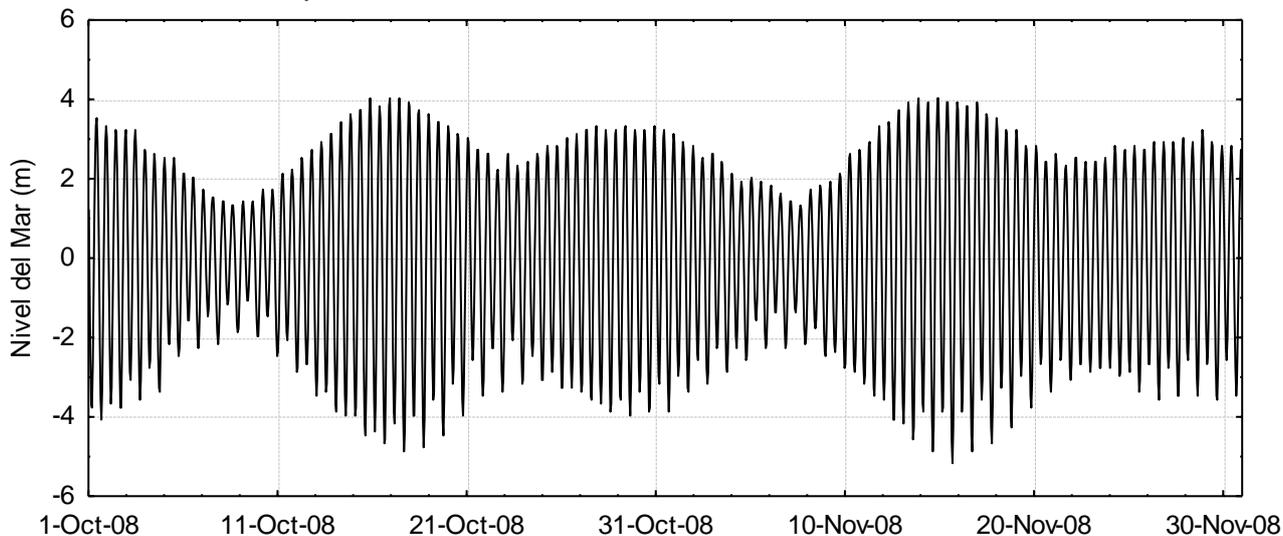
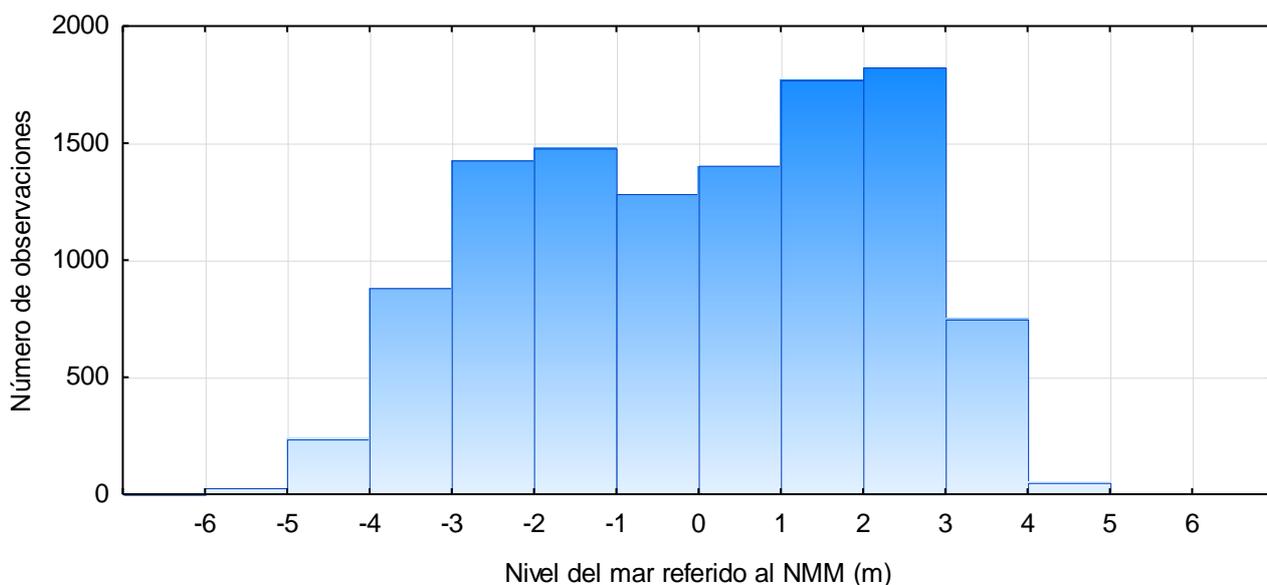


Figura 3.3.5 Histograma de los niveles del mar medidos en Estación METOCEAN.



3.4. Calibración del modelo MIKE 3 Flow Model FM (HD)

Se calibró el modelo hidrodinámico MIKE 3 Flow Model FM (HD) para la grilla utilizada para la simulación de los vertidos de los lodos (base agua) y recortes de perforación, y para la grilla utilizada en la simulación de los derrames de hidrocarburos. El objetivo de la calibración es obtener resultados realistas del modelo para el campo de corrientes y niveles del mar, principalmente. Para fortalecer la credibilidad de los resultados obtenidos por el modelo se presentan a continuación los resultados de la calibración.

El procedimiento de calibración consiste en correr el modelo por primera vez, con valores aproximados de sus parámetros y condiciones de contorno. Una vez corrido el modelo y obtenidos sus resultados, se procede a compararlos con mediciones directas de corrientes realizadas en la zona de interés. La comparación permite detectar que parámetros deben modificarse en busca de un mejor ajuste con las mediciones. Mientras la coincidencia sea insuficiente se continúa corriendo el modelo en busca de un ajuste satisfactoria.

Ciertamente, en este tipo de procedimiento, la calidad de la calibración es mayor cuando se dispone de mediciones de largo período en puntos distribuidos a lo largo y ancho del dominio de modelación. Para este estudio, se utilizaron las mediciones de niveles del mar y corrientes realizadas con ADCP en la estación Pleyade METOCEAN, que poseen cantidad y calidad suficiente para realizar una buena calibración.

El modelo representó correctamente (amplitud y fase) a las mediciones de niveles del mar y corrientes realizadas y se lo dio por calibrado. La correlación entre mediciones en la estación Pleyade METOCEAN y resultados del MIKE 3 Flow Model FM (HD), para los niveles del mar y las componentes de las velocidades en 3 niveles de la columna de agua, se presentan en las Figuras 3.4.1 a 3.4.5 (grilla para la simulación de lodos en base acuosa y recortes) y en las Figuras 3.4.18 a 3.21 (grilla para la simulación de los derrames de hidrocarburos). Las Figuras 3.4.6 a 3.4.17 presentan comparaciones entre las serie de tiempo de las mediciones y los resultados del MIKE 3.

La Tabla 3.4.1 presenta los coeficientes de correlación al cuadrado para todas las componentes de la velocidad y los niveles del mar, para la grilla utilizada en las simulaciones del vertido de lodos (base agua) y recortes de perforación y de la grilla utilizada en la simulaciones de los derrames de hidrocarburos. Para ambas grillas los R^2 de los niveles del mar entre las mediciones y los resultados del modelo son de 0.980 y 0.987, para las componentes norte-sur de la velocidad el menor R^2 es de 0.919, mientras que para las componentes este-oeste el mínimo R^2 es 0.939.

Tabla 3.4.1 Resumen de los coeficientes de correlación para las diferentes variables y grillas calibradas

Grilla	Variable	R^2
Lodos y recortes	Nivel del mar	0.987
	Componente norte-sur, superficie	0.921
	Componente este-oeste, superficie	0.972
	Componente norte-sur, media agua	0.924
	Componente este-oeste, superficie	0.976
	Componente norte-sur, fondo	0.922
	Componente este-oeste, fondo	0.957
Derrames de hidrocarburos	Nivel del mar	0.980
	Componente norte-sur, superficie	0.928
	Componente este-oeste, superficie	0.950
	Componente norte-sur, media agua	0.934
	Componente este-oeste, superficie	0.963
	Componente norte-sur, fondo	0.919
	Componente este-oeste, fondo	0.939

Figura 3.4.1 Calibración para la grilla utilizada para simular el vertido de recortes y lodos (base agua). Comparación entre los niveles del mar medidos y los simulados con MIKE 3.

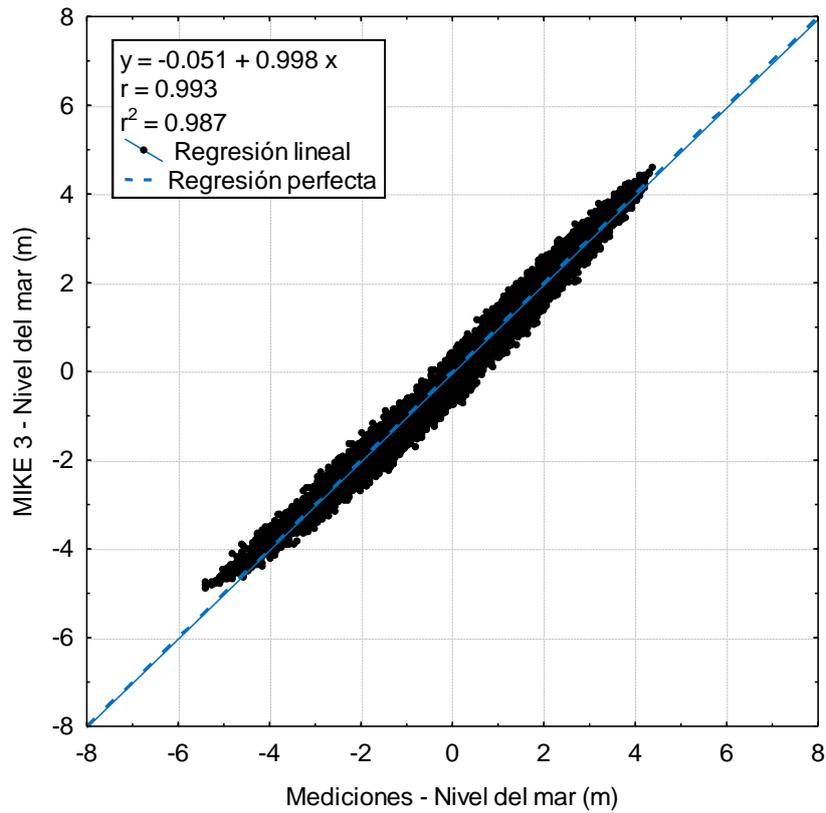
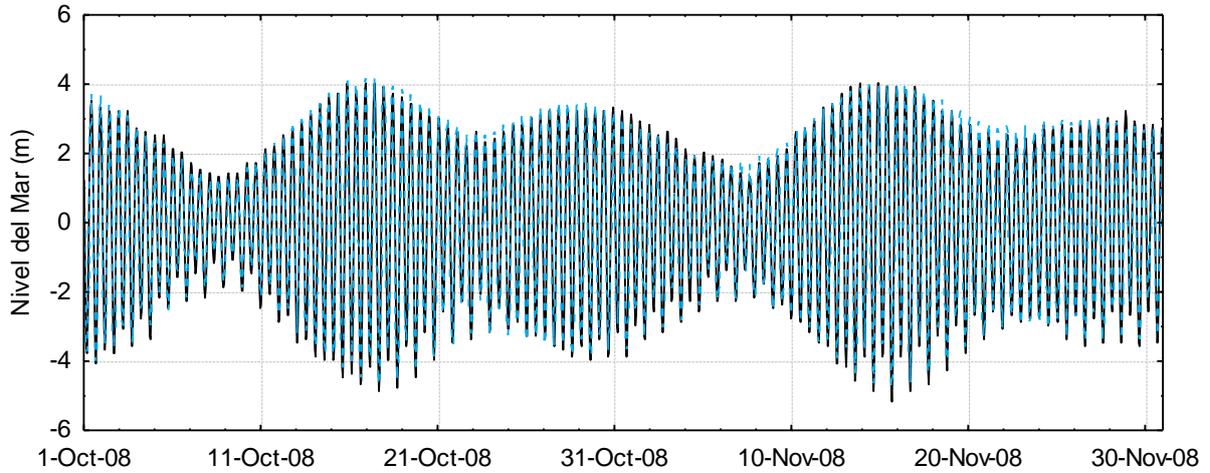


Figura 3.4.2 MIKE 3D (HD) y mediciones de niveles del mar para 6 meses.

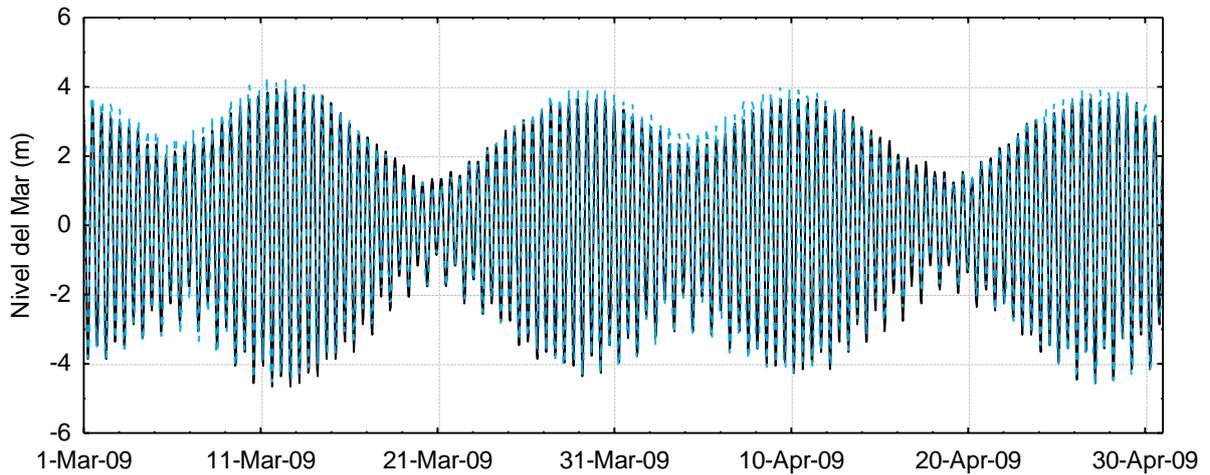
Niveles del Mar - Octubre y noviembre 2008

— Medido - - - Simulado con Mike 3



Niveles del Mar - Marzo y abril 2009

— Medido - - - Simulado con Mike 3



Niveles del Mar - Noviembre y diciembre 2009

— Medido - - - Simulado con Mike 3

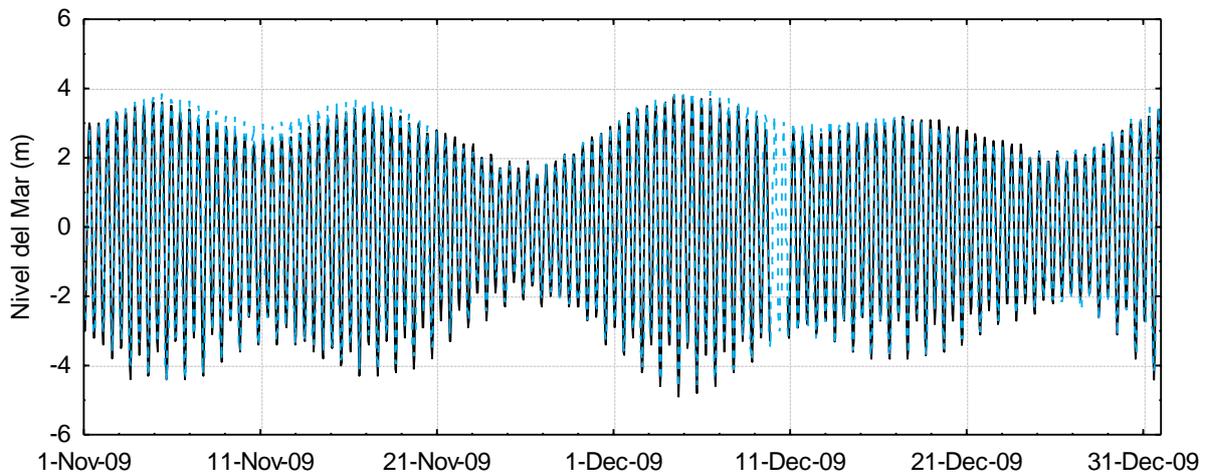


Figura 3.4.3 Comparación del MIKE 3D (HD) con mediciones de corrientes en Superficie. Componente Este-Oeste de la velocidad (arriba) y Componente Norte-Sur de la velocidad (abajo).

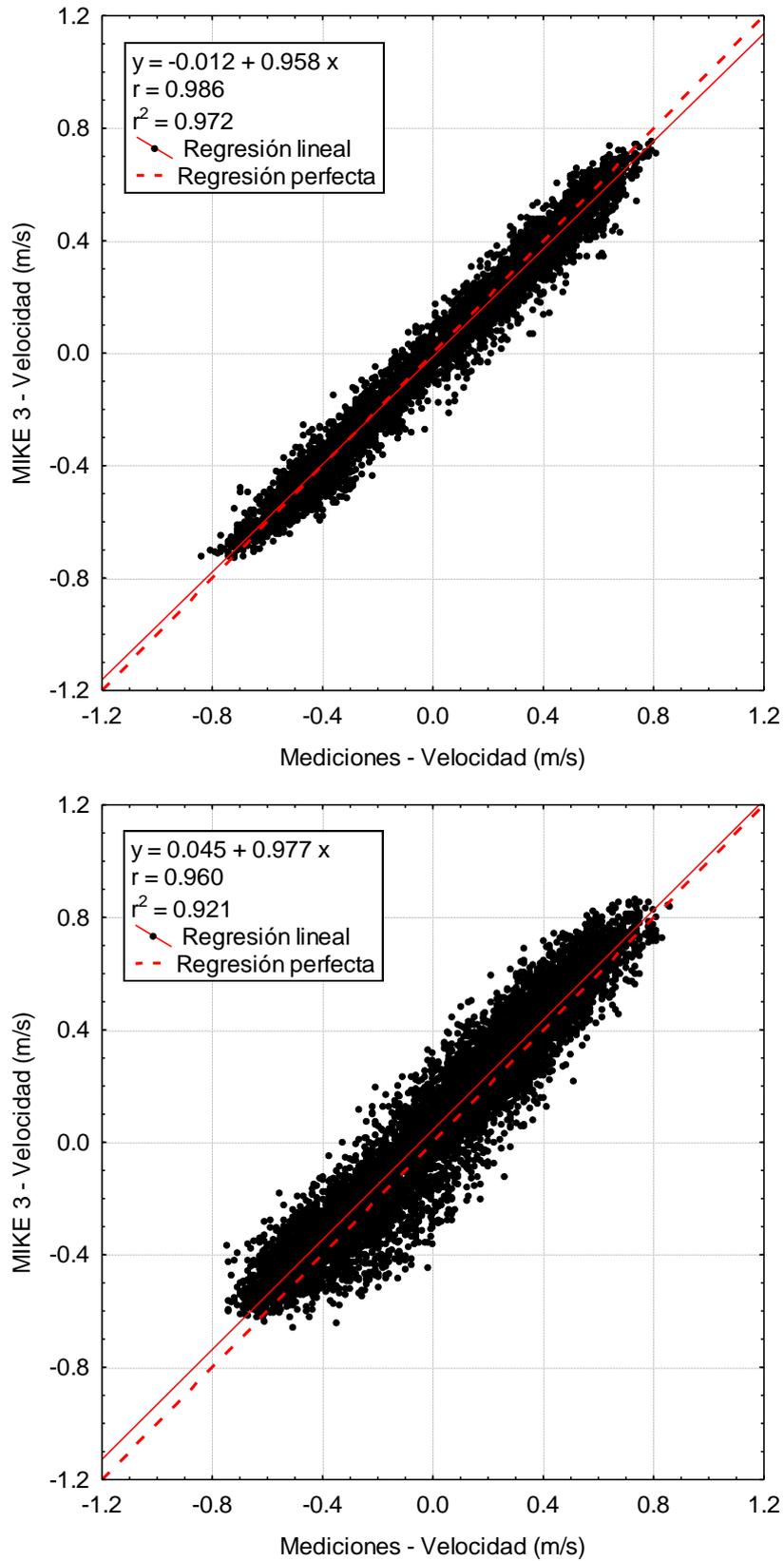


Figura 3.4.4 Comparación del MIKE 3D (HD) con mediciones de corrientes a Media Agua. Componente Este-Oeste de la velocidad (arriba) y Componente Norte-Sur de la velocidad (abajo).

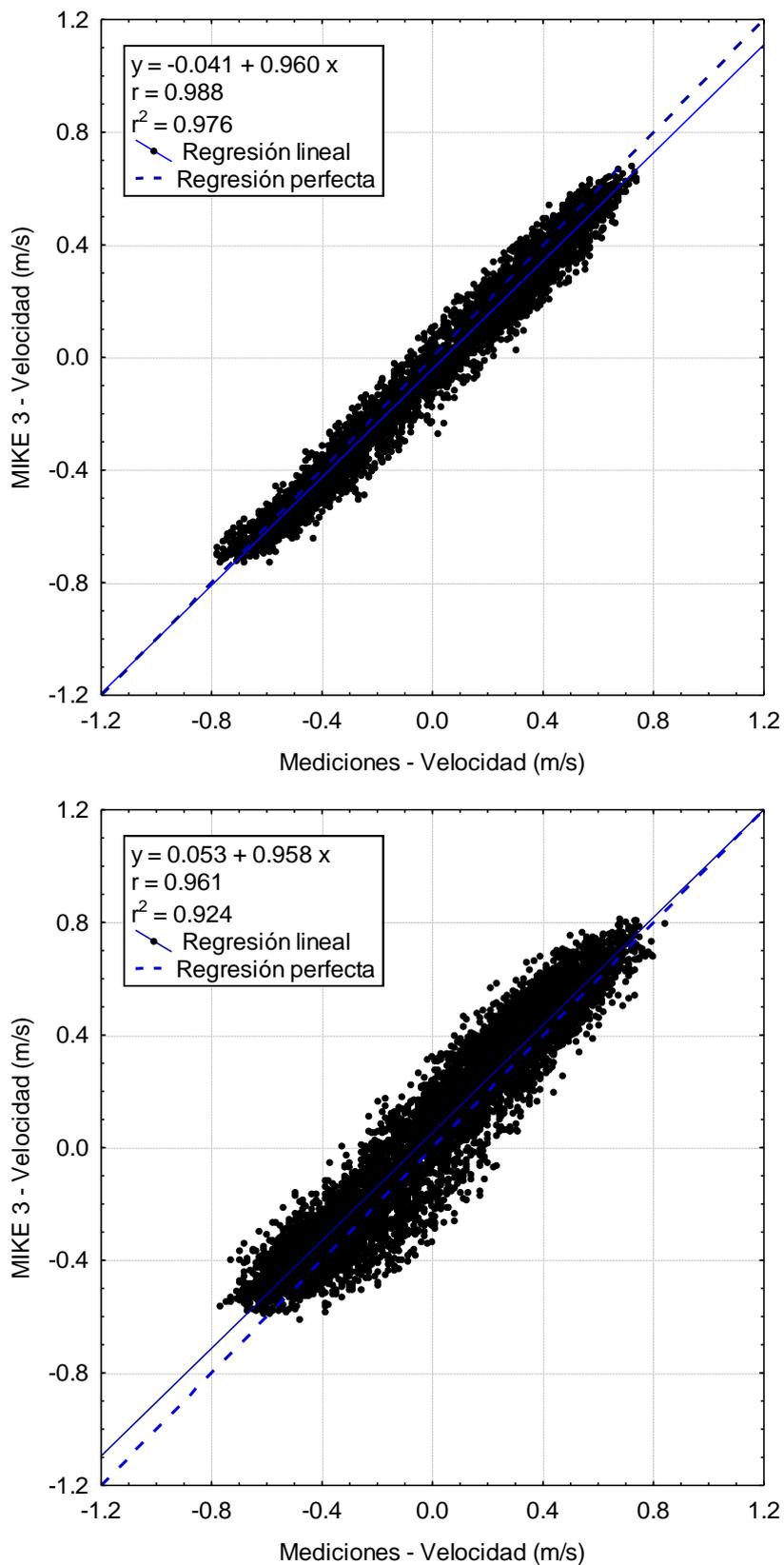


Figura 3.4.5 Comparación del MIKE 3D (HD) con mediciones de corrientes en el Fondo. Componente Este-Oeste de la velocidad (arriba) y Componente Norte-Sur de la velocidad (abajo).

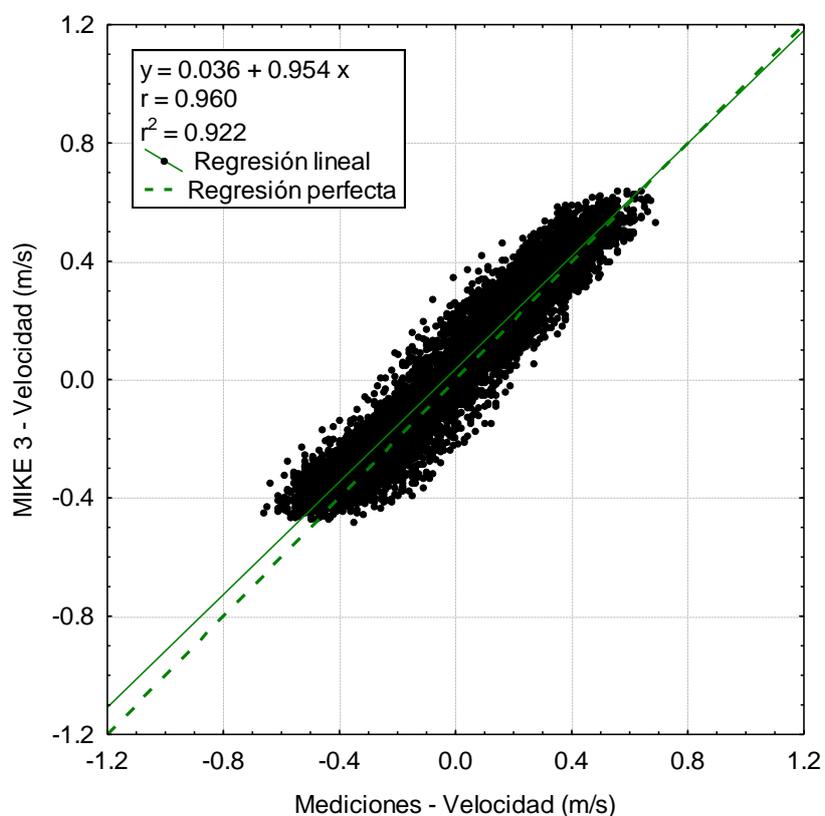
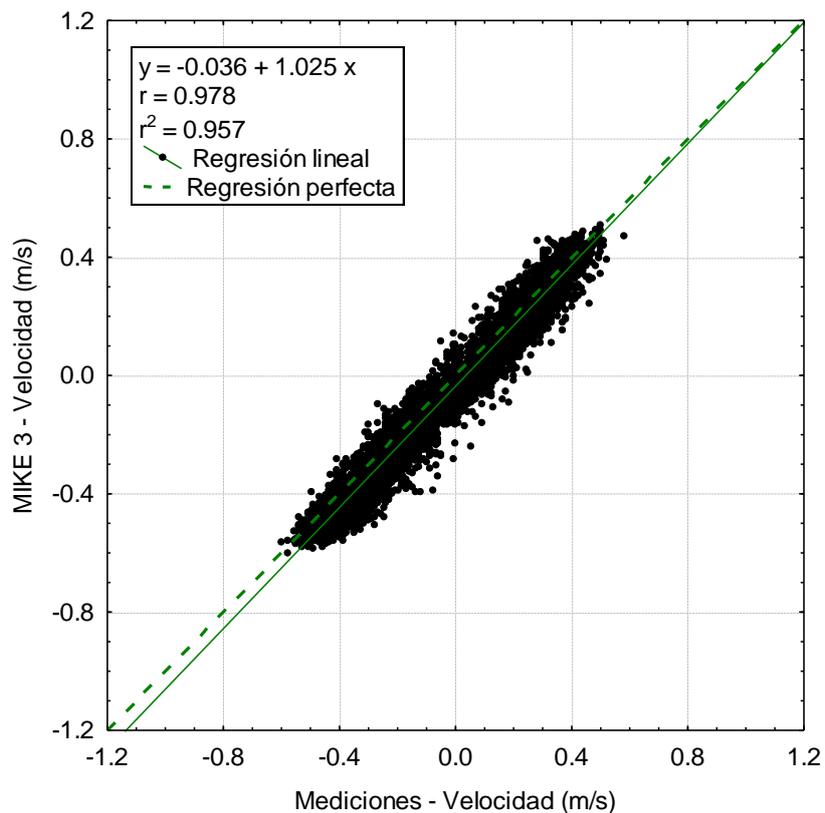


Figura 3.4.6 Calibración en Superficie. Comparación entre mediciones y resultados del modelo usando diagramas de dispersión.

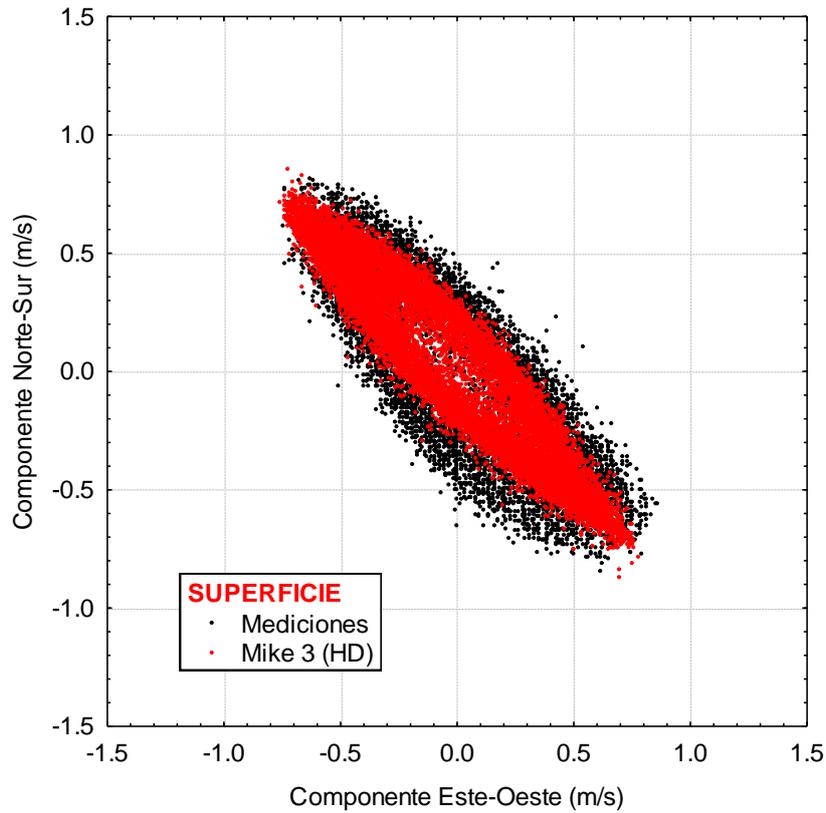


Figura 3.4.7 Calibración en Superficie. Comparación entre mediciones y resultados del modelo usando diagramas de dispersión.

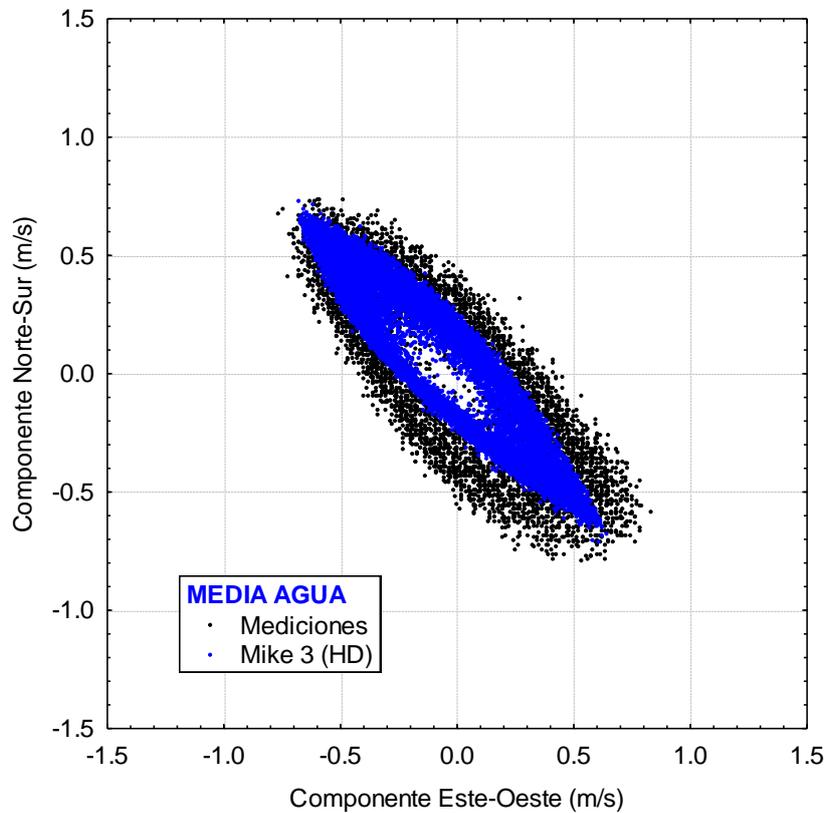


Figura 3.4.8 Calibración en Superficie. Comparación entre mediciones y resultados del modelo usando diagramas de dispersión.

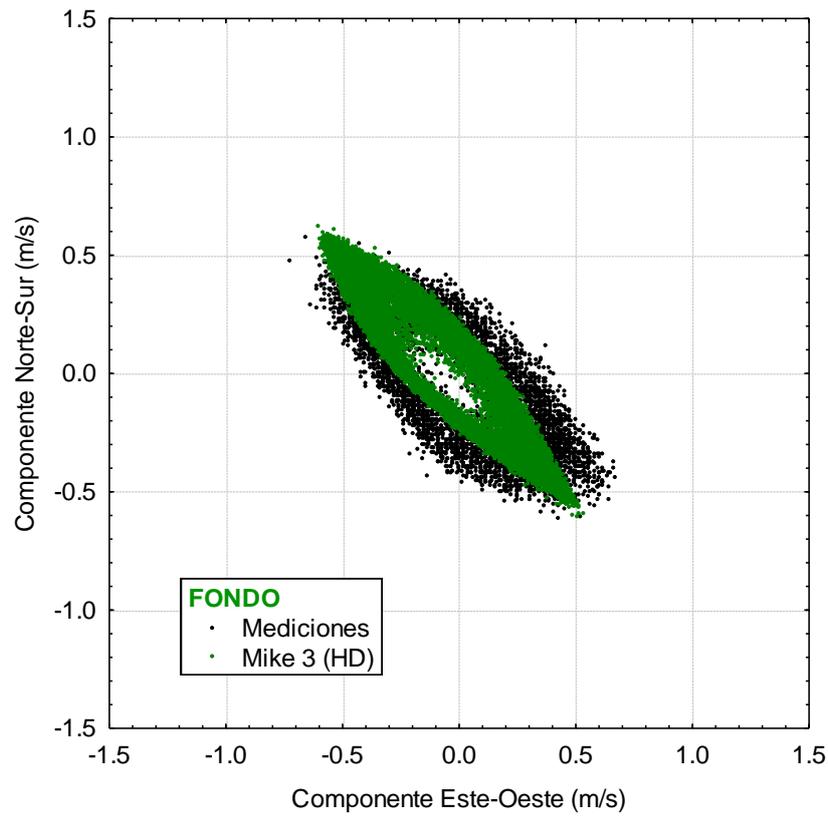
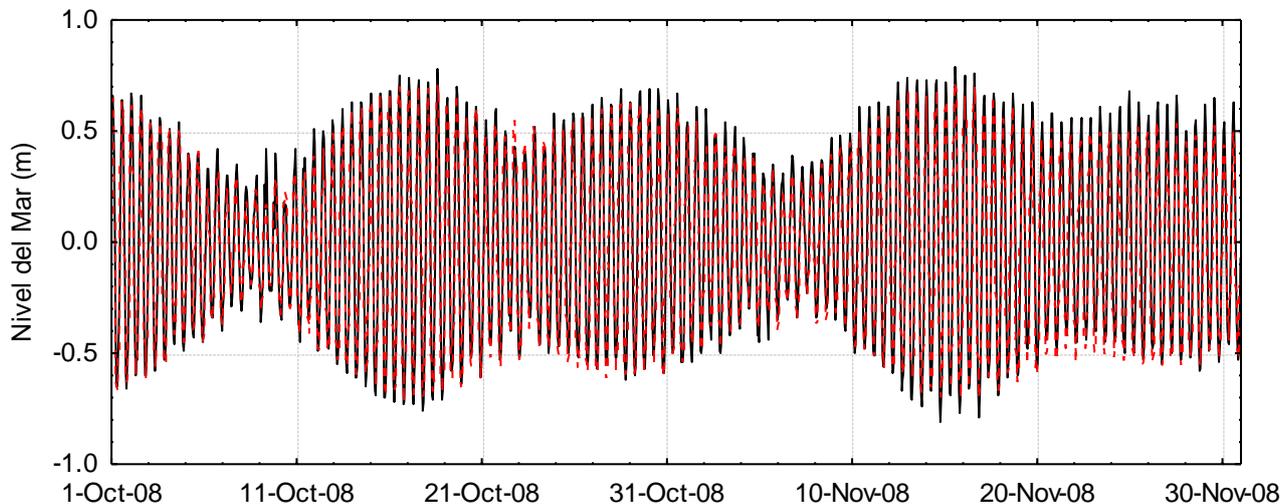


Figura 3.4.9 Calibración para octubre y noviembre de 2008 en Superficie. Comparación entre mediciones y resultados del modelo usando series de tiempo por componentes de la velocidad.

Componente Este-Oeste **SUPERFICIE** - Octubre y noviembre 2008

— Medido - - - Simulado con Mike 3



Componente Norte-Sur **SUPERFICIE** - Octubre y noviembre 2008

— Medido - - - Simulado con Mike 3

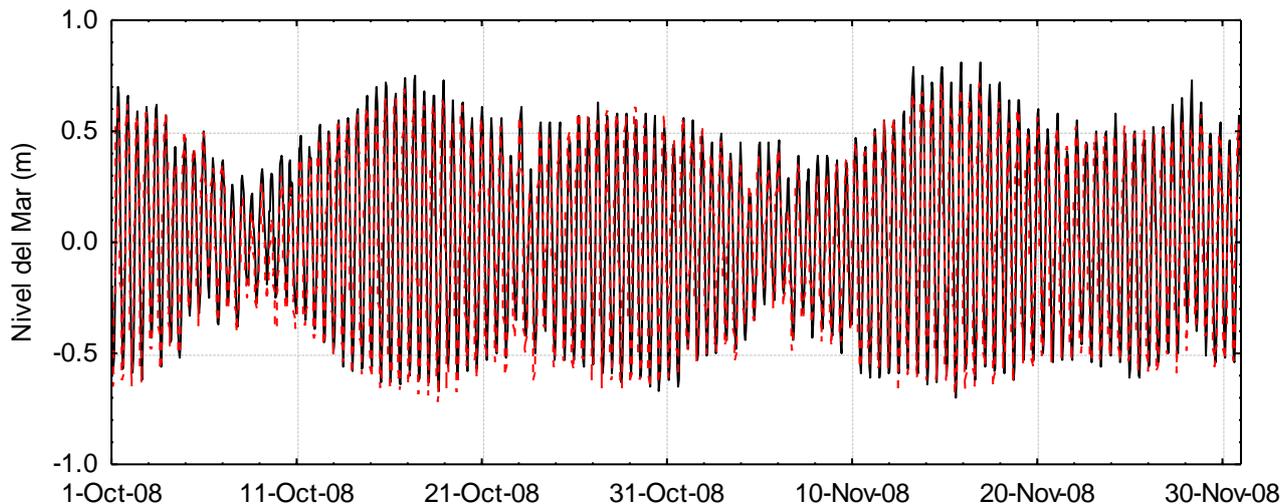
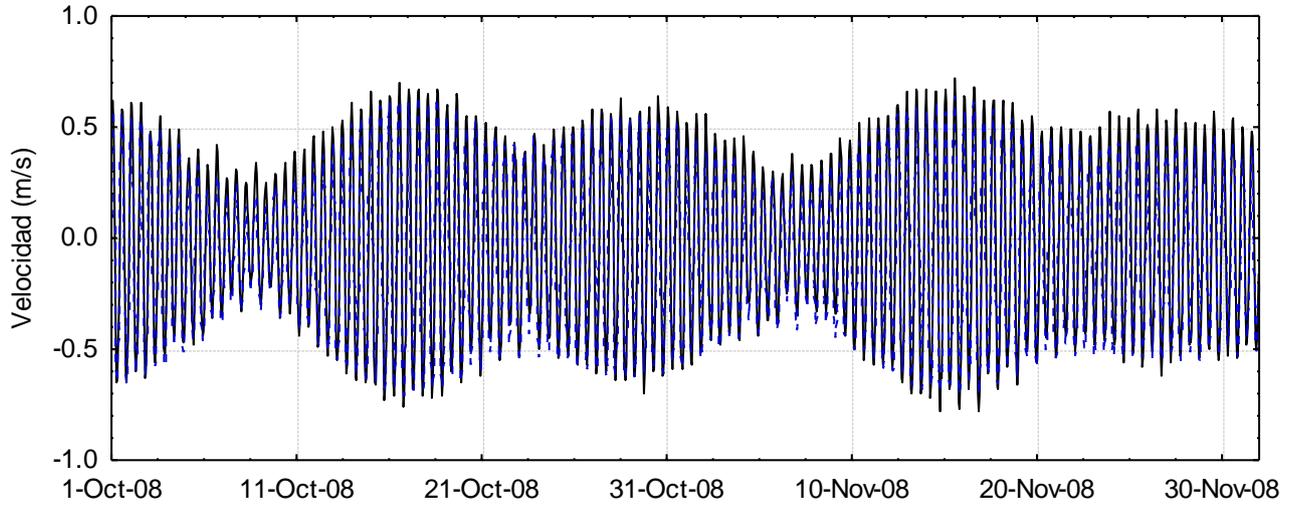


Figura 3.4.10 Calibración para octubre y noviembre de 2008 a Media Agua. Comparación entre mediciones y resultados del modelo usando series de tiempo por componentes de la velocidad.

Componente Este-Oeste **MEDIA AGUA** - Octubre y noviembre 2008

— Medido - - - Simulado con Mike 3 (HD)



Componente Norte-Sur **MEDIA AGUA** - Octubre y noviembre 2008

— Medido - - - Simulado con Mike 3 (HD)

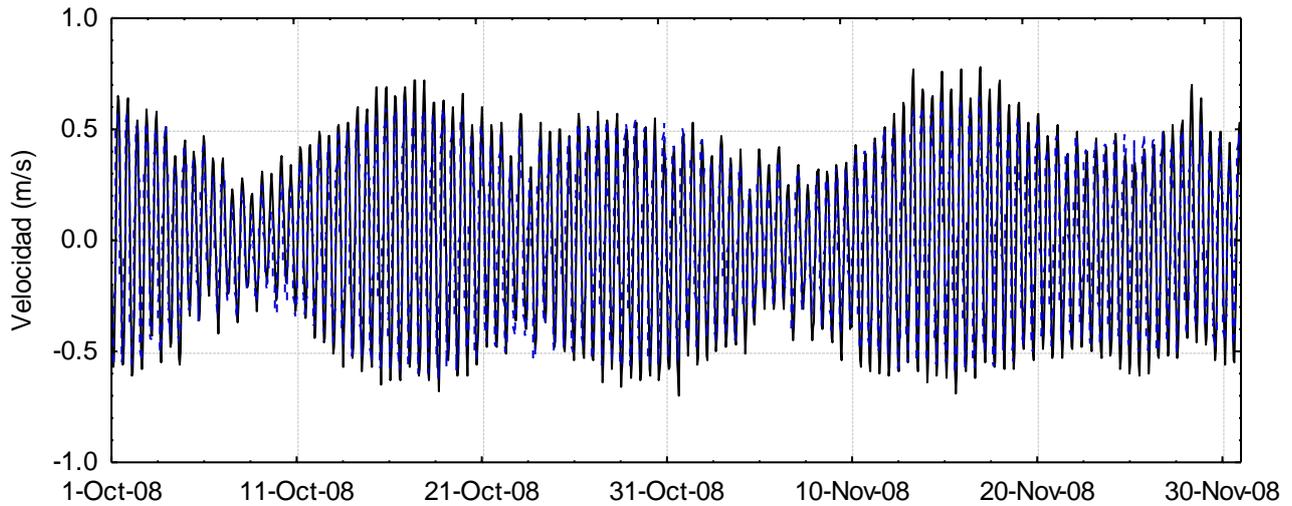
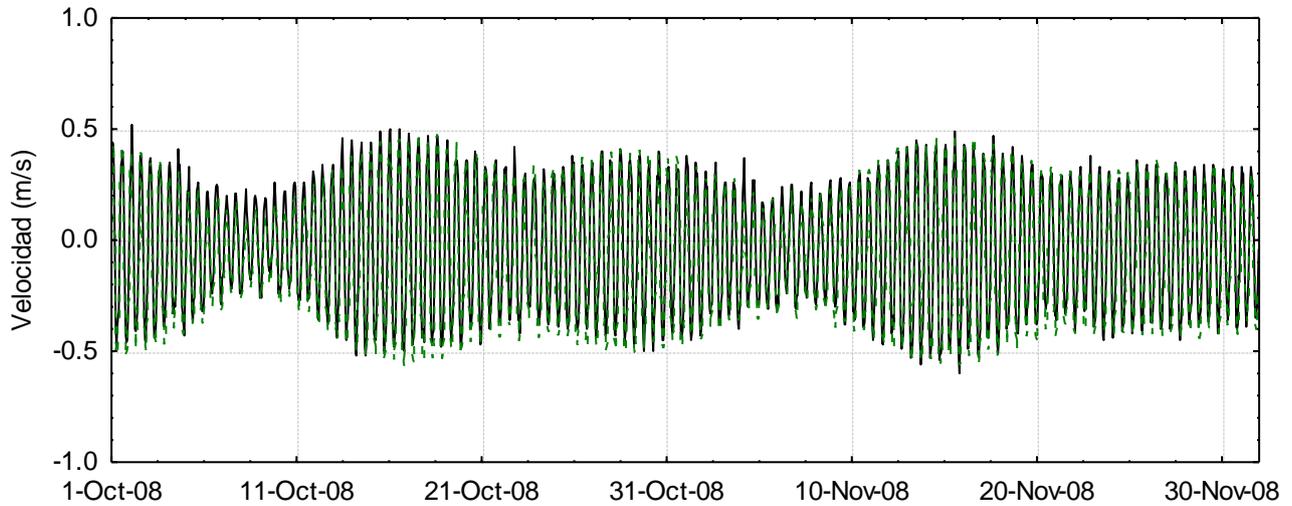


Figura 3.4.11 Calibración para octubre y noviembre de 2008 en el Fondo. Comparación entre mediciones y resultados del modelo usando series de tiempo por componentes de la velocidad.

Componente Este-Oeste **FONDO** - Octubre y noviembre 2008

— Medido - - - Simulado con Mike 3 (HD)



Componente Norte-Sur **FONDO** - Octubre y noviembre 2008

— Medido - - - Simulado con Mike 3 (HD)

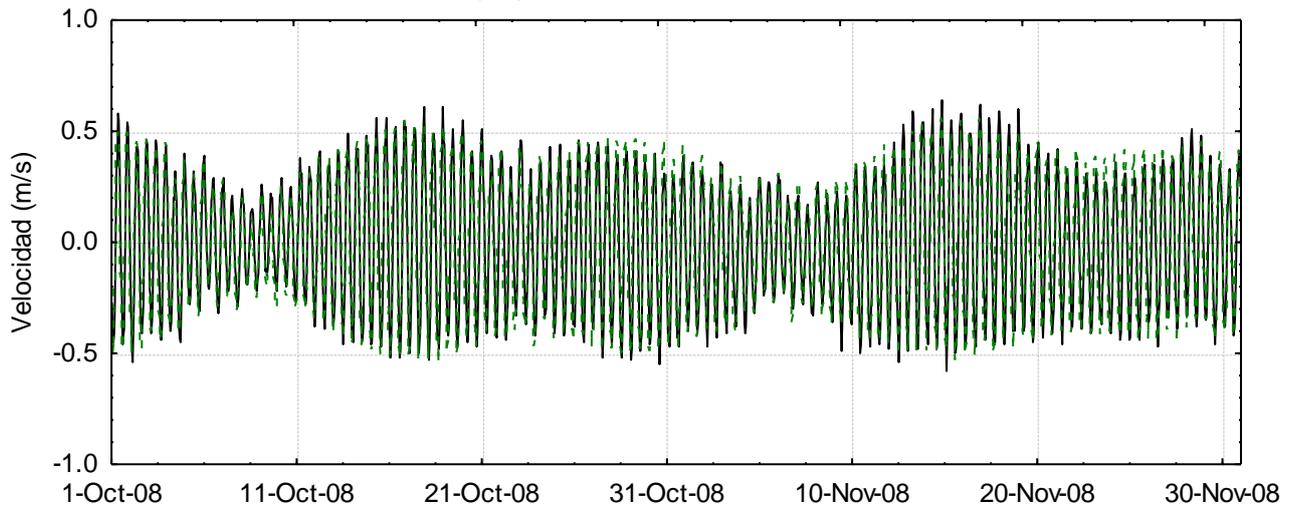
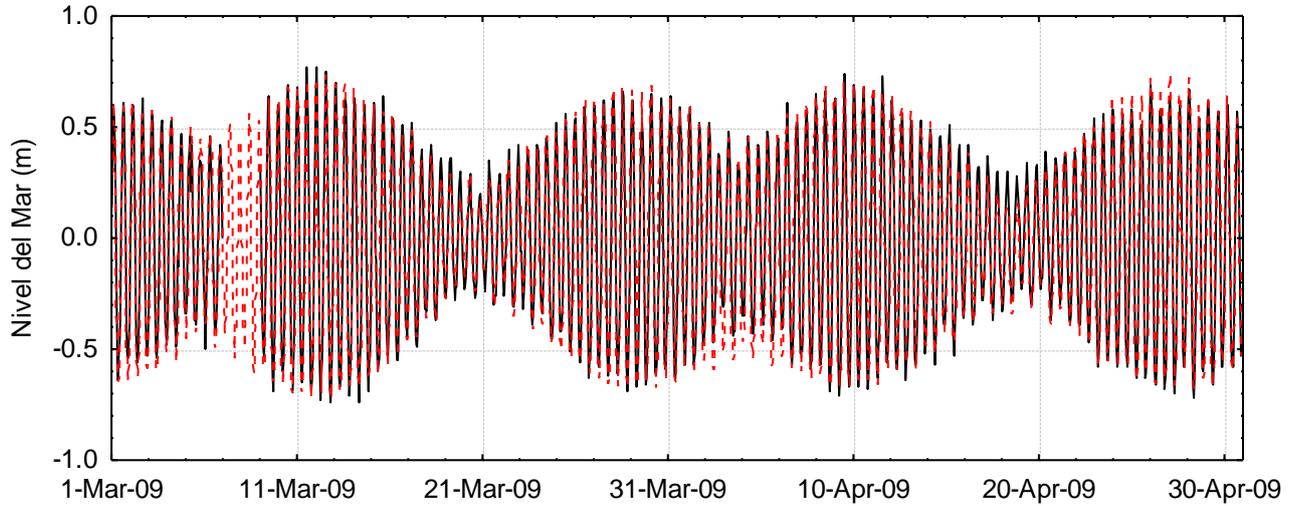


Figura 3.4.12 Calibración para marzo y abril de 2009 en Superficie. Comparación entre mediciones y resultados del modelo usando series de tiempo por componentes de la velocidad.

Componente Este-Oeste **SUPERFICIE** - Marzo y abril 2009

— Medido - - - Simulado con Mike 3



Componente Norte-Sur **SUPERFICIE** - Marzo y abril 2009

— Medido - - - Simulado con Mike 3

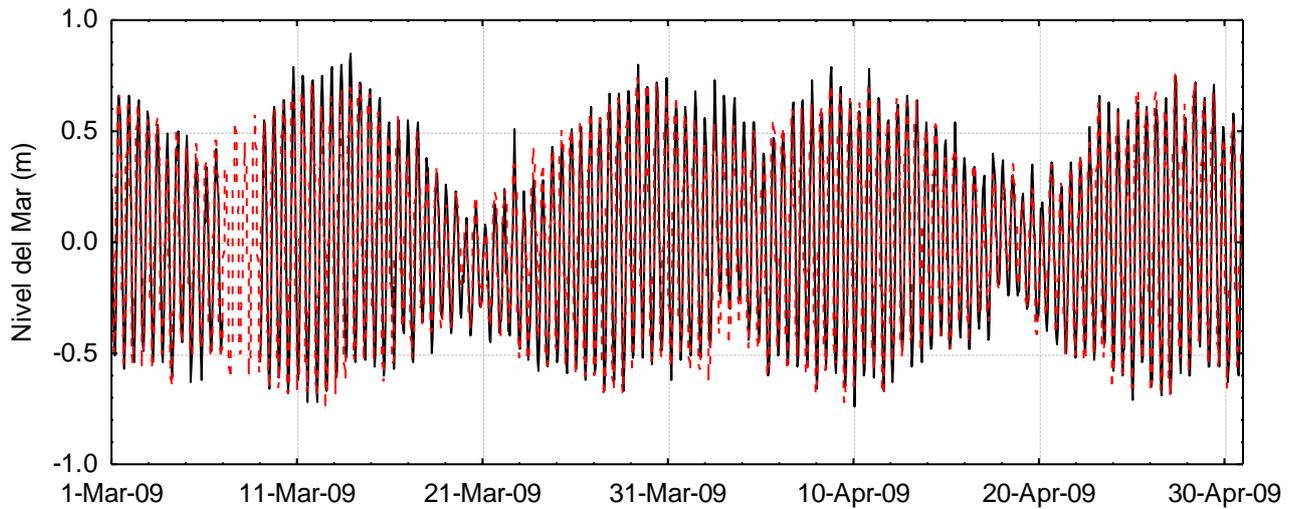
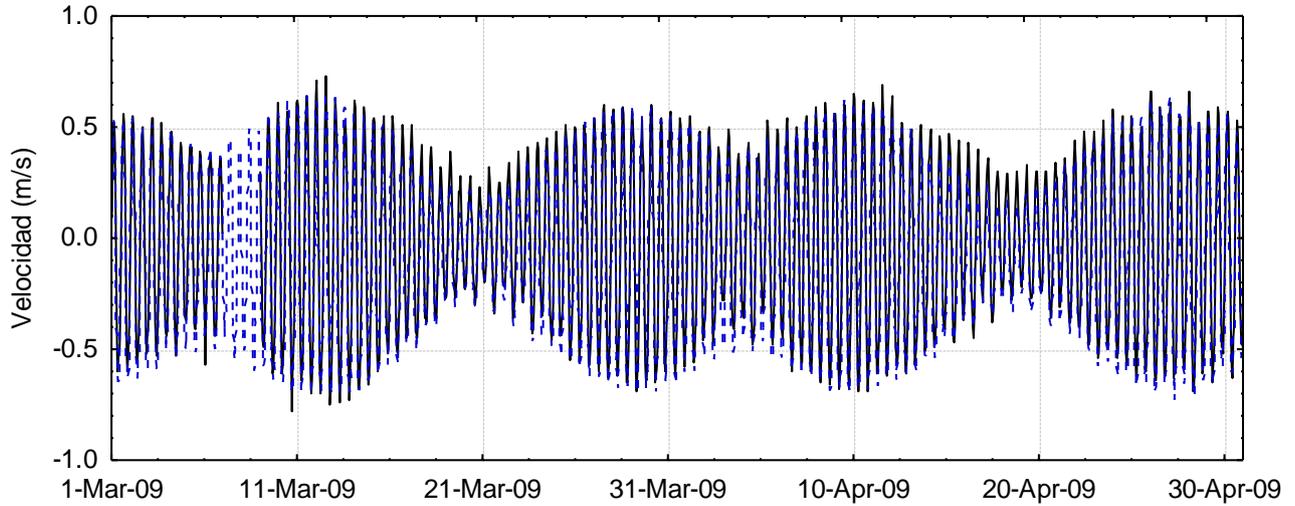


Figura 3.4.13 Calibración para marzo y abril de 2009 a Media Agua. Comparación entre mediciones y resultados del modelo usando series de tiempo por componentes de la velocidad.

Componente Este-Oeste **MEDIA AGUA** - Marzo y abril 2009

— Medido - - - Simulado con Mike 3 (HD)



Componente Norte-Sur **MEDIA AGUA** - Marzo y abril 2009

— Medido - - - Simulado con Mike 3 (HD)

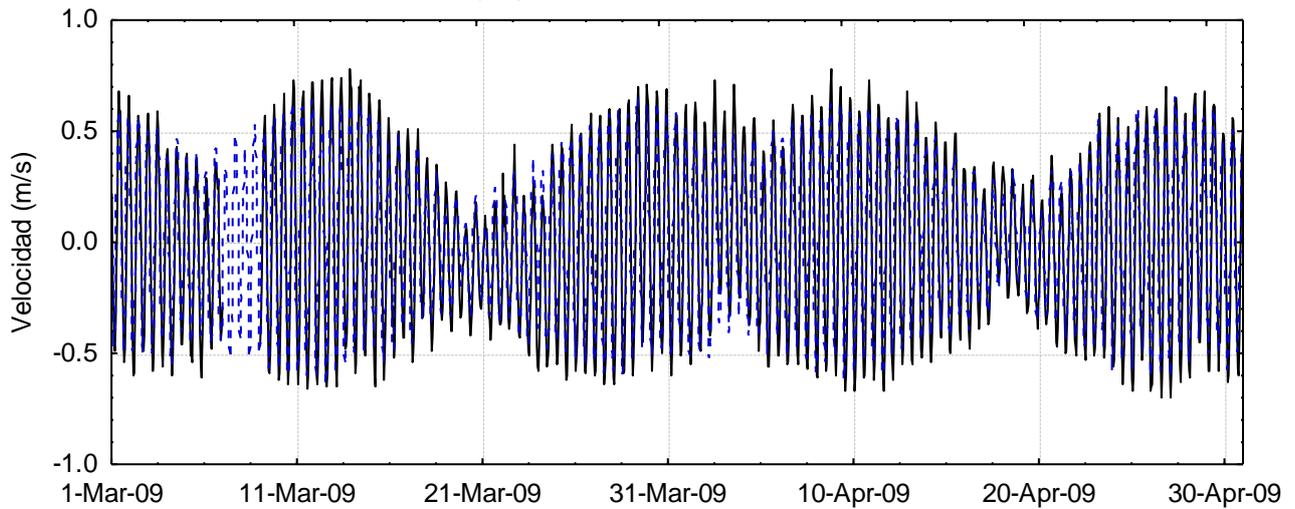
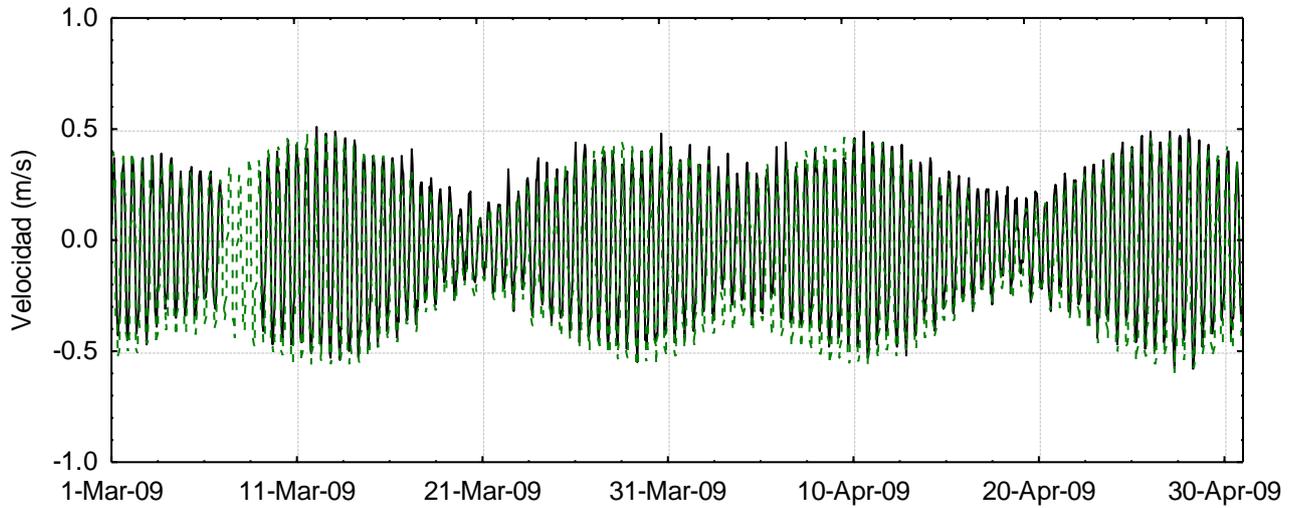


Figura 3.4.14 Calibración para marzo y abril de 2009 en el Fondo. Comparación entre mediciones y resultados del modelo usando series de tiempo por componentes de la velocidad.

Componente Este-Oeste **FONDO** - Marzo y abril 2009

— Medido - - - Simulado con Mike 3 (HD)



Componente Norte-Sur **FONDO** - Marzo y abril 2009

— Medido - - - Simulado con Mike 3 (HD)

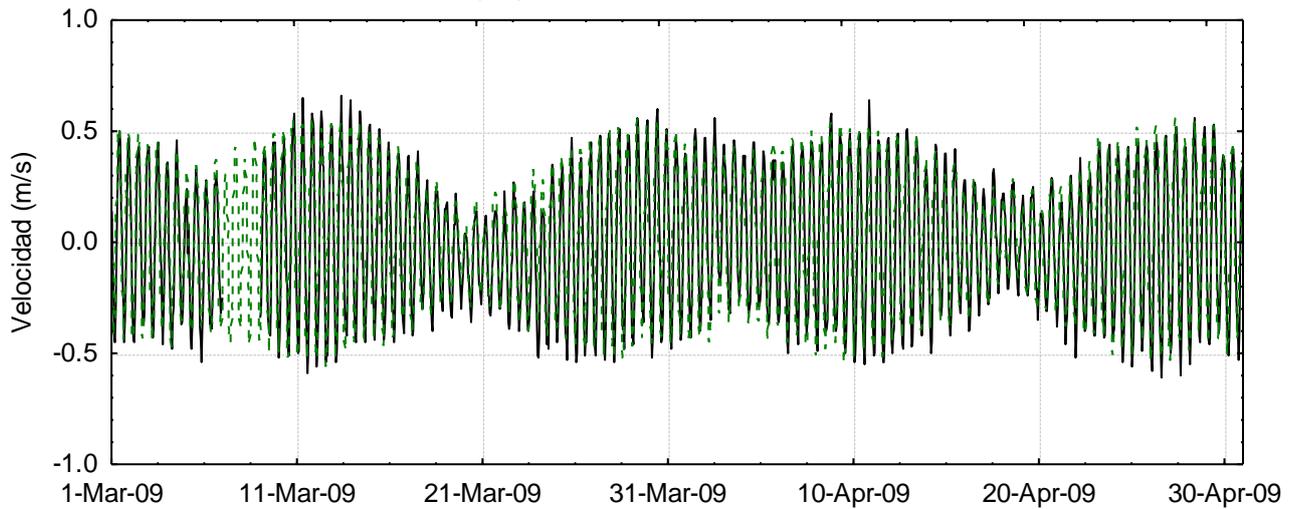
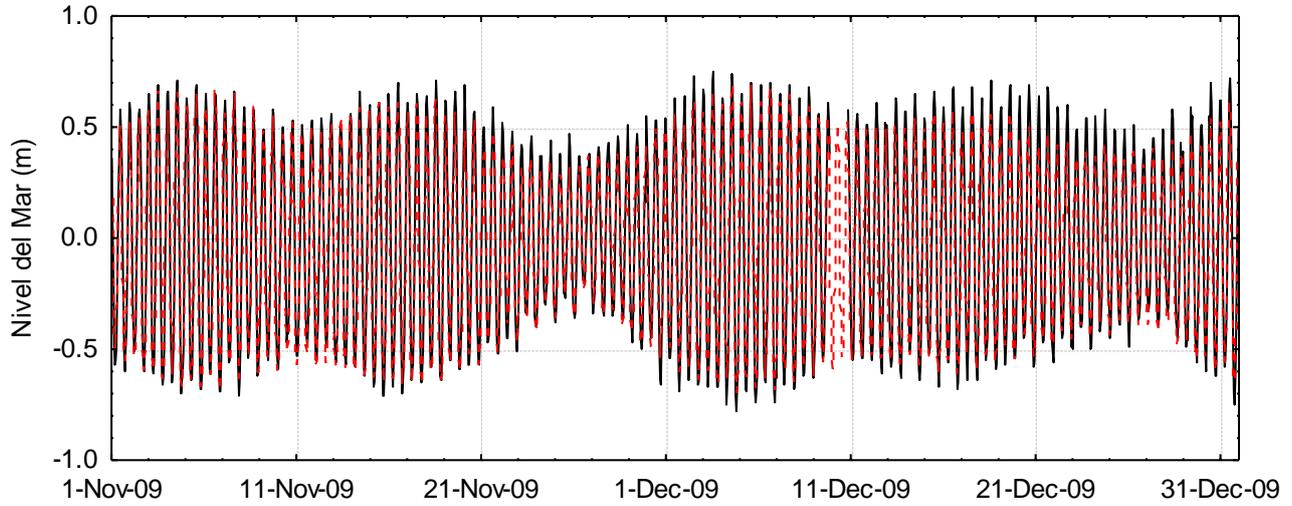


Figura 3.4.15 Calibración para noviembre y diciembre de 2009 en Superficie. Comparación entre mediciones y resultados del modelo usando series de tiempo por componentes de la velocidad.

Componente Este-Oeste **SUPERFICIE** - Noviembre y diciembre 2009

— Medido - - - Simulado con Mike 3



Componente Norte-Sur **SUPERFICIE** - Noviembre y diciembre 2009

— Medido - - - Simulado con Mike 3

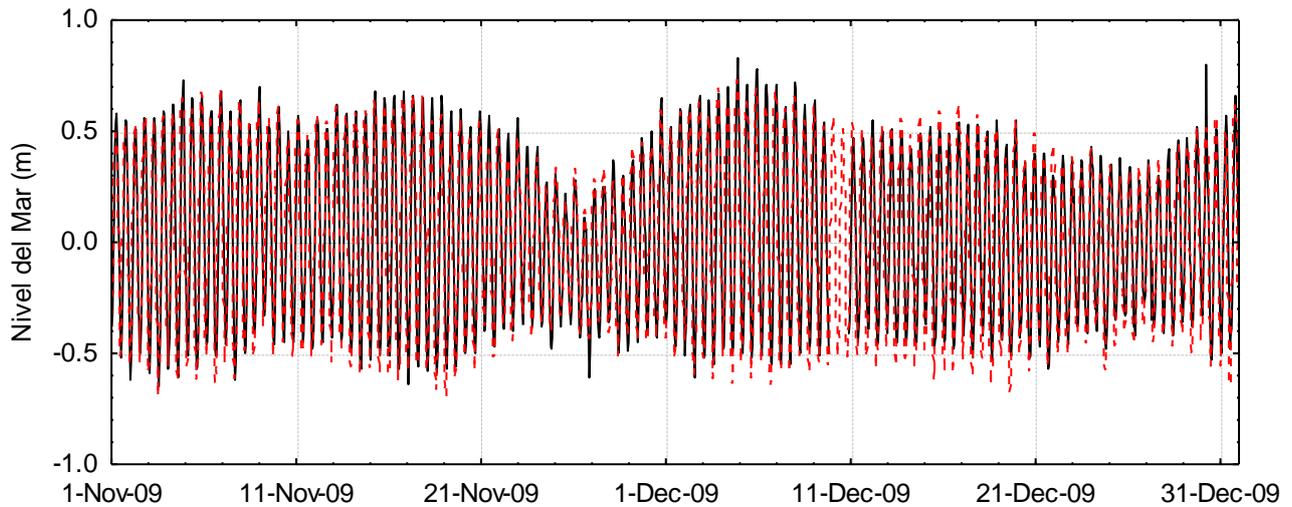
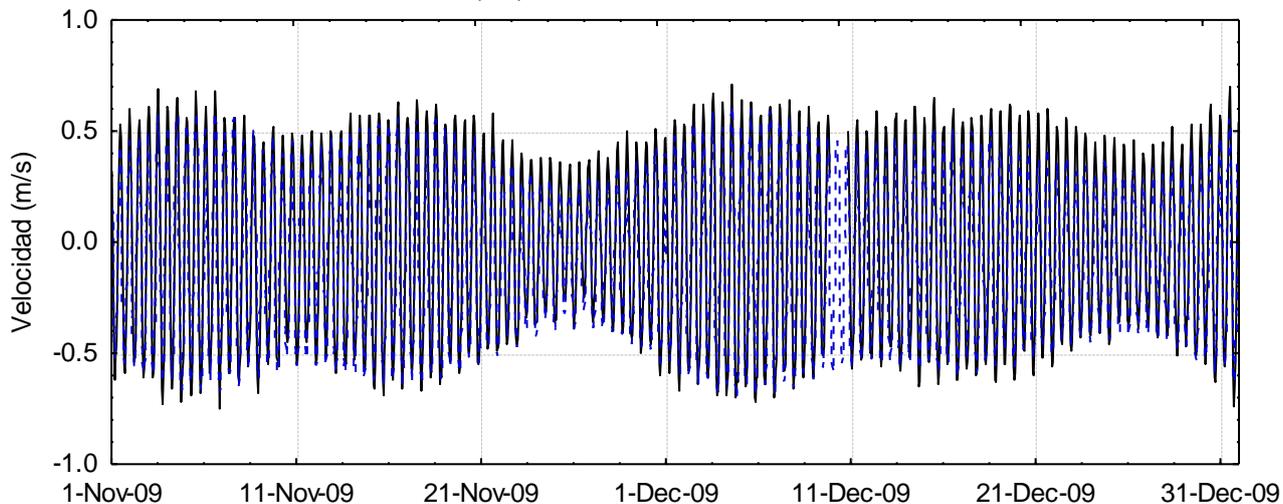


Figura 3.4.16 Calibración para noviembre y diciembre de 2009 a Media Agua. Comparación entre mediciones y resultados del modelo usando series de tiempo por componentes de la velocidad.

Componente Este-Oeste **MEDIA AGUA** - Noviembre y diciembre 2009

— Medido - - - Simulado con Mike 3 (HD)



Componente Norte-Sur **MEDIA AGUA** - Noviembre y diciembre 2009

— Medido - - - Simulado con Mike 3 (HD)

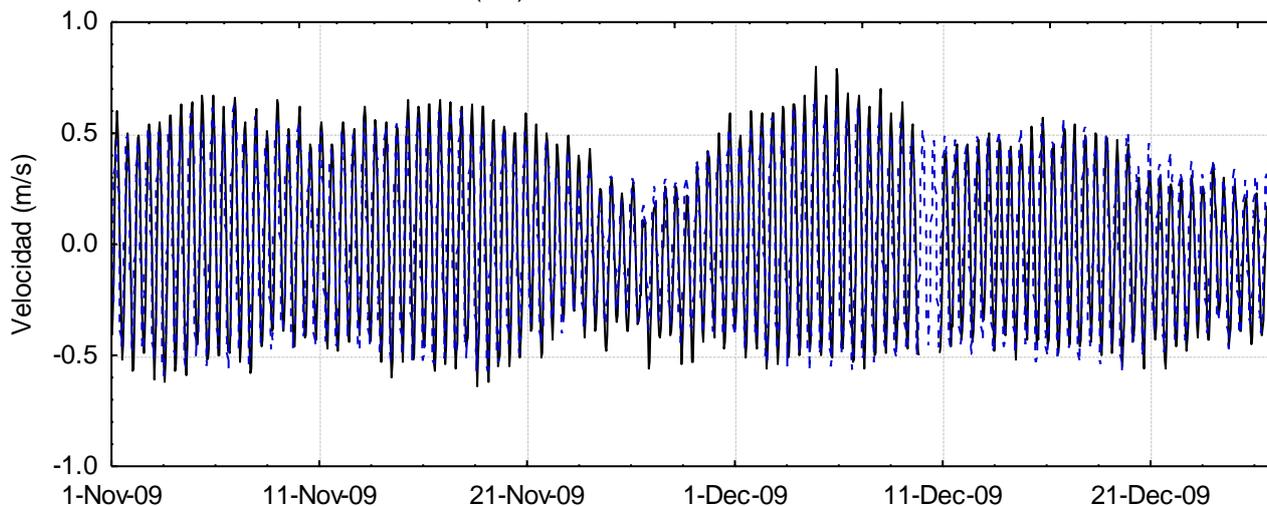
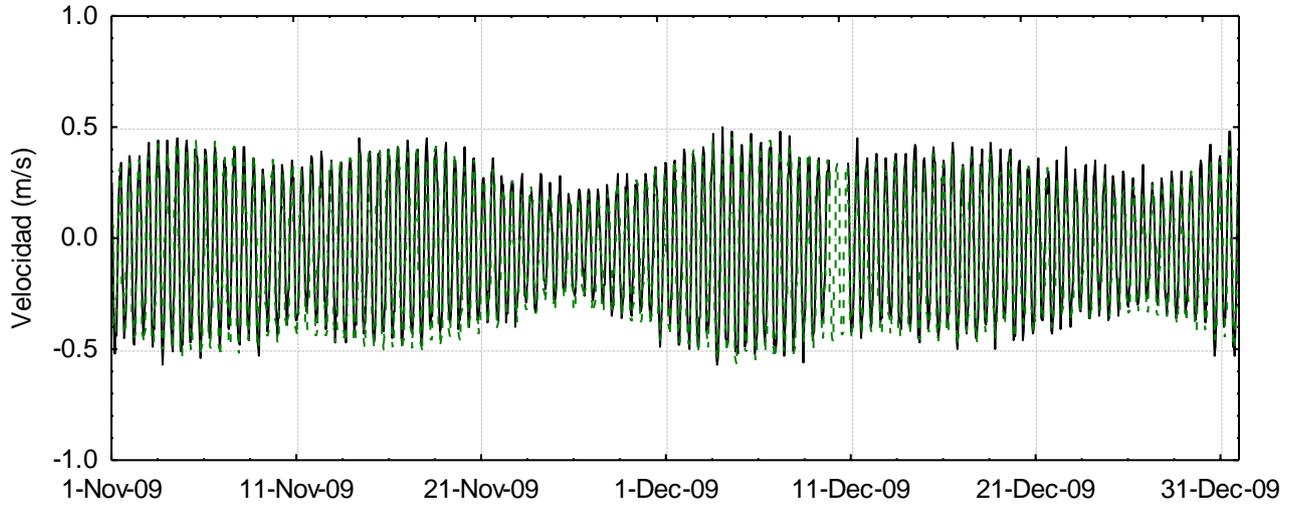


Figura 3.4.17 Calibración para noviembre y diciembre de 2009 en el Fondo. Comparación entre mediciones y resultados del modelo usando series de tiempo por componentes de la velocidad.

Componente Este-Oeste **FONDO** - Noviembre y diciembre 2009

— Medido - - - Simulado con Mike 3 (HD)



Componente Norte-Sur **FONDO** - Noviembre y diciembre 2009

— Medido - - - Simulado con Mike 3 (HD)

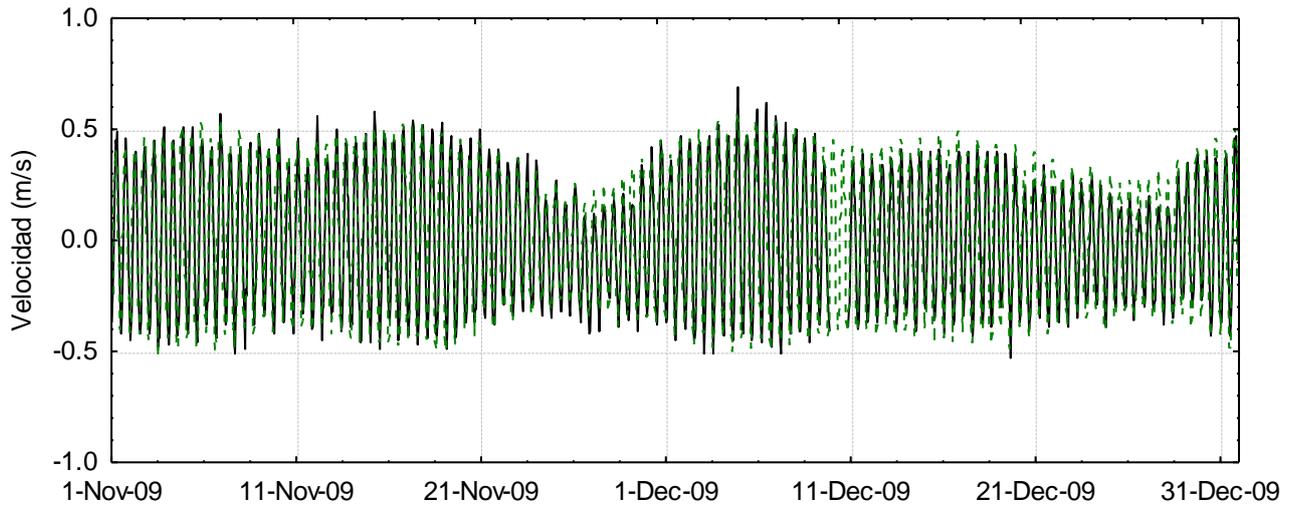


Figura 3.4.18 Calibración para la grilla utilizada para los derrames. Comparación entre los niveles del mar medidos y los simulados con MIKE 3.

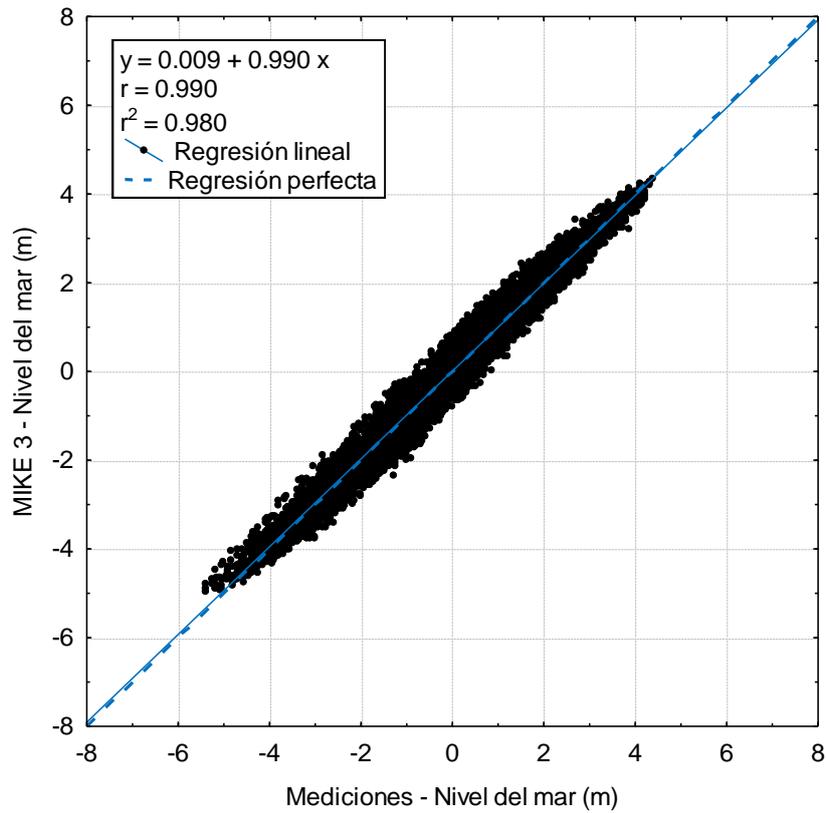


Figura 3.4.19 Comparación del MIKE 3D (HD) con mediciones de corrientes en Superficie. Componente Este-Oeste de la velocidad (arriba) y Componente Norte-Sur de la velocidad (abajo).

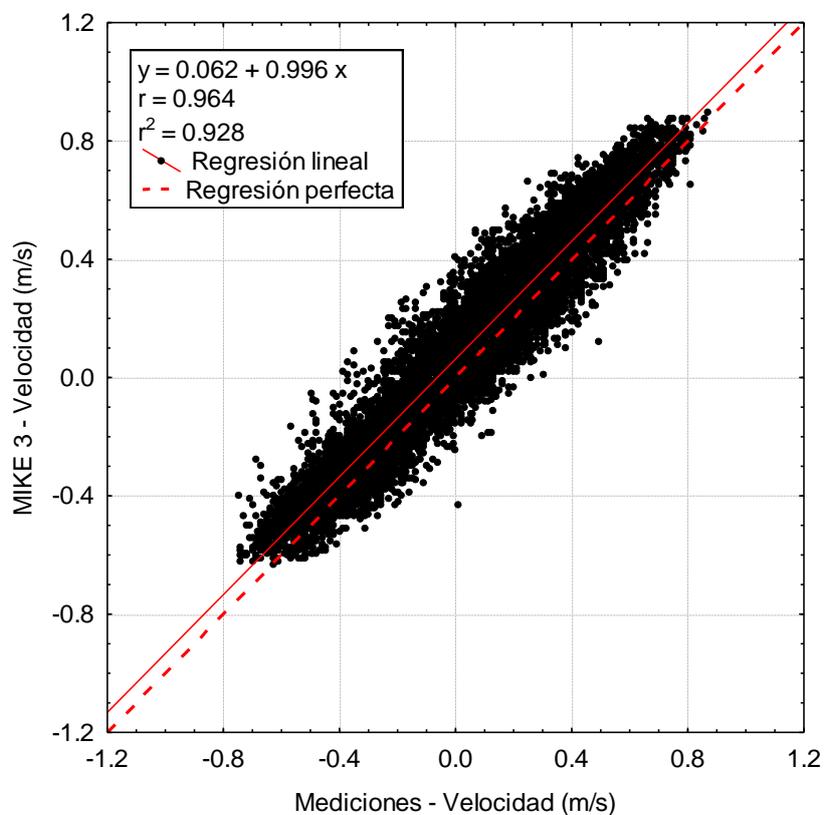
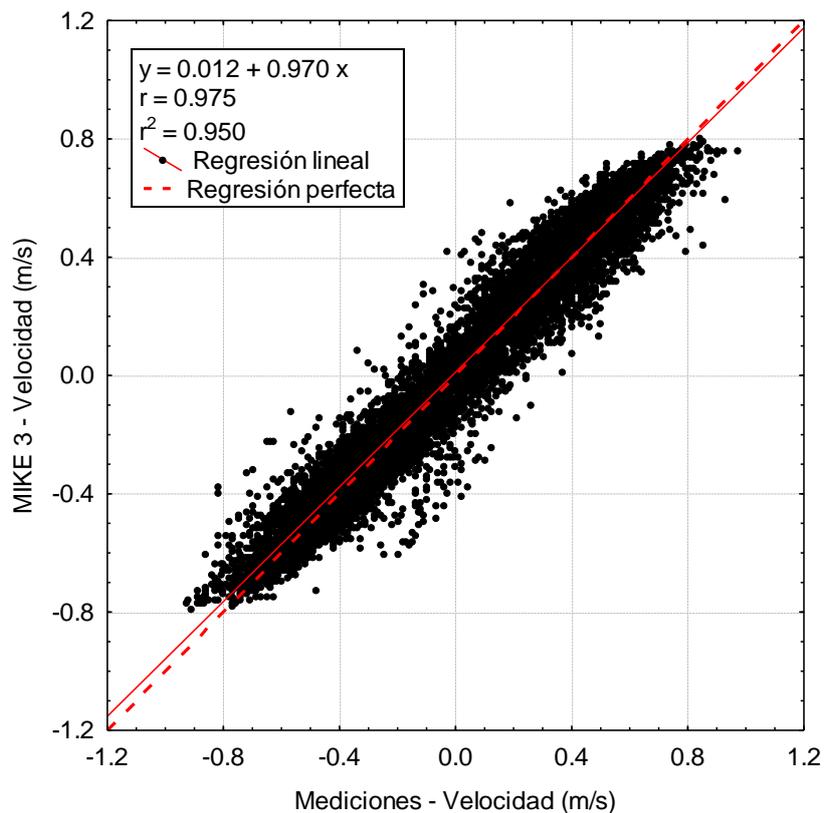


Figura 3.4.20 Comparación del MIKE 3D (HD) con mediciones de corrientes a Media agua. Componente Este-Oeste de la velocidad (arriba) y Componente Norte-Sur de la velocidad (abajo).

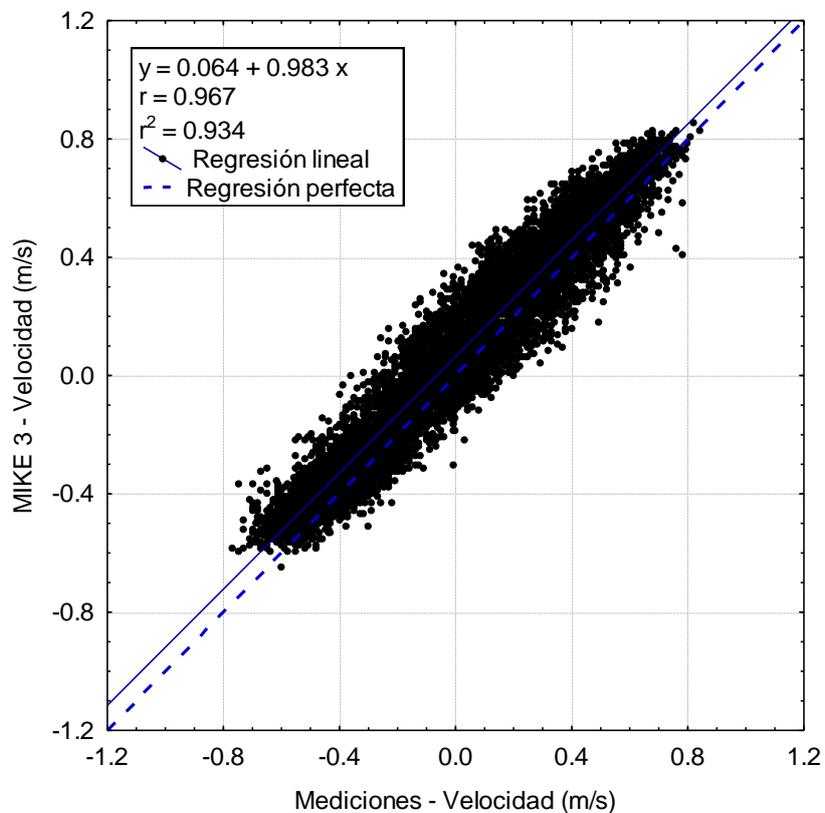
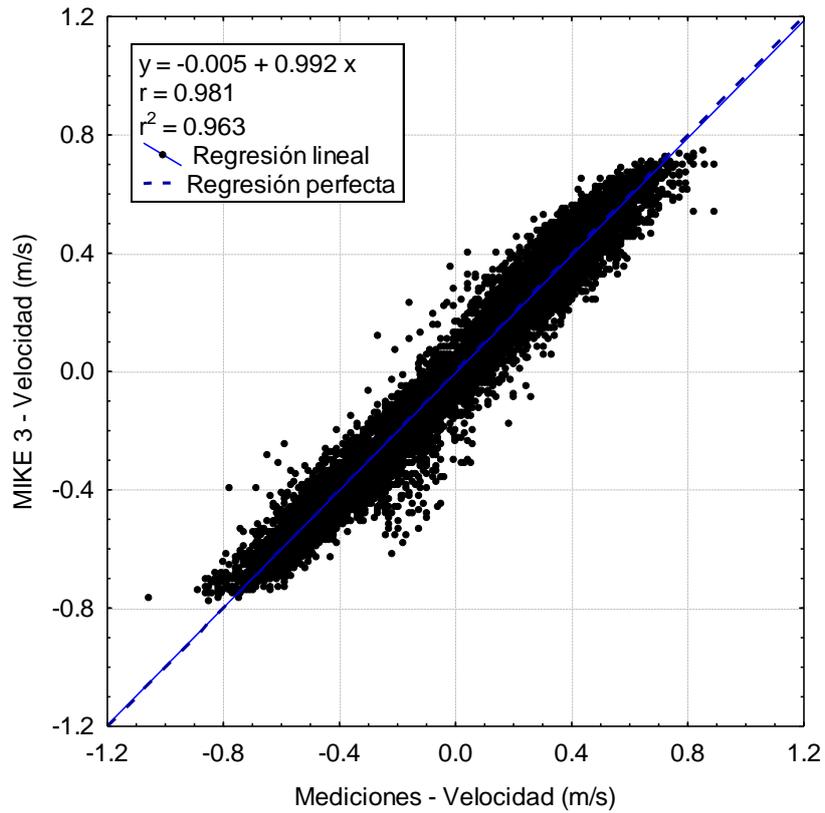


Figura 3.4.21 Comparación del MIKE 3D (HD) con mediciones de corrientes en el Fondo. Componente Este-Oeste de la velocidad (arriba) y Componente Norte-Sur de la velocidad (abajo).

