

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

INSTITUTO UNIVERSITARIO SIANI

DIVISIÓN DE ROBÓTICA Y OCEANOGRAFÍA COMPUTACIONAL



TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN SISTEMAS INTELIGENTES Y APLICACIONES
NUMÉRICAS EN INGENIERÍA

TRATAMIENTO INTEGRAL DE DATOS EN UNA FLOTA DE
DERIVADORES LAGRANGIANOS

Autor: Ninoska Cabrera Delgado

Tutor: Dr. José Daniel Hernández Sosa

Co-tutores: Dr. Jorge Cabrera Gámez

Dr. Jesús Cisneros Aguirre

Diciembre de 2012

Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano.

Isaac Newton

Estudiar no es un acto de consumir ideas, sino de crearlas y recrearlas.

Paulo Freire

Índice general

Índice de figuras	v
1. Introducción	1
1.1. Origen y justificación del trabajo	1
1.1.1. Variables de interés	2
1.1.2. Medida de la corriente	3
1.2. Motivación y objetivos	5
1.2.1. Situación actual	5
1.2.2. Objetivos	6
1.3. Contenido y estructura de la memoria	6
2. Análisis de requisitos	9
2.1. Requisitos principales	9
2.2. Requisitos para la instrumentación	10
2.3. Requisitos para el software	10
2.3.1. Fase de planificación	10
2.3.2. Fase de muestreo	11
2.3.3. Fase de procesamiento	11
2.4. Caracterización de la región Canaria	12
2.4.1. Clima marítimo de Canarias	12
2.4.2. Posibles estudios en la región Canaria	14
2.4.2.1. Proyectos de ingeniería de puertos y costas	15
2.4.2.2. Proyectos de investigación marina	16
2.5. Consultas con expertos	16
3. Diseño de la herramienta	17
3.1. Solución general adoptada	17
3.2. Diseño de la instrumentación	17
3.2.1. Estado del arte para los derivadores	18
3.2.1.1. Derivador lagrangiano tipo CODE	19
3.2.1.2. Otros tipos de derivadores lagrangianos	22

3.2.2.	Estado del arte para los microcontroladores	23
3.3.	Diseño del software	25
3.3.1.	Modelo de datos	25
3.3.2.	Contextos de operación	26
3.3.2.1.	Contexto offline	26
3.3.2.2.	Contexto online	27
3.3.3.	Procesamiento de los datos	27
3.3.3.1.	Sistemas de coordenadas	27
3.3.3.2.	Dispersión	28
4.	Implementación	29
4.1.	Instrumentación	29
4.1.1.	Módulo microprocesador	29
4.1.1.1.	Estructura interna	30
4.1.2.	Cuerpo del derivador	32
4.1.3.	Contenedor para el dispositivo electrónico	33
4.2.	Software	37
4.2.1.	Interacción con el Waspnote	37
4.2.1.1.	Librerías	37
4.2.2.	Matlab	38
4.2.2.1.	Acerca de GUIDE	38
4.2.2.2.	API de Google Maps	39
4.2.3.	Integración del software	39
4.3.	Procesamiento de los datos	39
4.3.1.	Sistema de referencia	40
4.3.2.	Estimación de las corrientes y dispersión	42
4.4.	Demostrador Matlab	42
4.4.1.	Bases de datos	42
4.4.1.1.	Derivadores	42
4.4.1.2.	Áreas geográficas	43
4.4.1.3.	Tipos de estudios	43
4.4.2.	Gestión de estudios	44
4.4.3.	Gestión de misiones	45
4.4.4.	Simulador	46
5.	Experimentos	49
5.1.	Pruebas de estanqueidad	49
5.1.1.	Estanqueidad del contenedor	49
5.1.2.	Estanqueidad de contenedor modificado	50
5.1.3.	Diseño mejorado	50
5.2.	Pruebas de GPS	52

5.3. Pruebas de comunicación	53
5.3.1. Pruebas en tierra	53
5.3.2. Pruebas en el mar	53
5.4. Pruebas duración baterías	55
5.5. Pruebas del demostrador	55
5.5.1. Creación del estudio	56
5.5.2. Creación de misiones	57
5.5.3. Ejecución de las misiones	59
5.5.4. Procesamiento de los datos	62
6. Conclusiones y líneas futuras	63
6.1. Conclusiones sobre la herramienta y su implementación	63
6.2. Líneas futuras	64
Apéndices	67
A. Fundamentos	69
A.1. Definiciones	69
A.2. Velocidad y aceleración	70
A.3. Dispersión	71
B. Sistema de referencia	73
B.1. Cálculos previos:	73
B.2. Ecuaciones de Cotichia-Surace	75
B.2.1. Cálculo final de coordenadas	76
Bibliografía	77

Índice de figuras

1.1.	Sistemas de vigilancia oceanográfica.(Fuente:atmosferis)	2
1.2.	Derivador lagrangiano.	4
1.3.	Marcado manual de posición del derivador con GPS.	5
2.1.	Calendario del Clima Marítimo de Canarias [1].	12
2.2.	Los vientos alisios y su interacción con las Islas Canarias. Podemos ver en esta imagen como se ha formado una calle de vórtices, tanto tras las Islas Canarias como tras la Isla de Madeira. (Fuente: Eumetsat).	13
2.3.	Resumen del clima marítimo de Canarias [1].	14
3.1.	Diagrama esquemático de la versión modificada del derivador CODE.	19
3.2.	Lanzamiento del derivador CODE modificado en su caja de cartón.	20
3.3.	Configuración de algunos de los modelos basados en el derivador CODE con comunicaciones a través del sistema Argos.	20
3.4.	Configuración de algunos de los modelos basados en el derivador CODE con comunicaciones a través de Iridium.	21
3.5.	Diagrama esquemático del derivador lagrangiano SPV.	22
3.6.	Esquema de un microcontrolador.	24
3.7.	Diseño Modelo Software.	25
3.8.	Esquema general del proyecto.	26
4.1.	Presencia de Waspnote en el mundo.	29
4.2.	Componentes principales en Waspnote: cara inferior.	30
4.3.	Componentes principales en Waspnote: cara superior.	31
4.4.	Módulos disponibles para Waspnote.	31
4.5.	Derivador desplegado tipo CODE utilizado en este proyecto.	32
4.6.	La flotabilidad de la instrumentación es proporcionada por una pareja de boyas como la mostrada en esta imagen.	32
4.7.	Plano del diseño del derivador utilizado en este proyecto.	33
4.8.	Detalles de las modificaciones hechas en la tapa de cierre del contenedor.	34

4.9.	En estas dos imágenes vemos como (a) quedaría el Waspote dentro del contenedor y la visualización de éste (b) a través de la ventana.	35
4.10.	Detalle del complemento roscado en la parte inferior del contenedor que actúa como sistema de anclaje. Se puede apreciar la separación de la base que mantendrá el contenedor estanco por la parte inferior.	35
4.11.	(a) Detalles de la base de PVC antes de ser instalada y de la pestaña de sujeción (b) con el dispositivo Waspote instalado.	36
4.12.	(a) Detalles del contenedor utilizado para las pruebas (b) y mostrándolo anclado en el derivador.	36
4.13.	Localización de las zonas UTM [7].	40
4.14.	Representación gráfica del Geoide y Elipsoide [7].	41
4.15.	Interfaz principal para la gestión de estudios.	44
4.16.	Interfaz de procesamiento para la gestión de estudios.	44
4.17.	Interfaz principal para la gestión de misiones.	45
4.18.	Interfaz de configuración de misiones.	45
4.19.	Interfaz de ejecución de misiones.	46
4.20.	Interfaz de procesamiento de misiones.	47
4.21.	Interfaz del simulador.	47
5.1.	Diseño de un contenedor para el dispositivo electrónico incorporándole una tapa de cierre a presión.	51
5.2.	Perspectiva del contenedor.	52
5.3.	Embarcación para las pruebas de GPS y comunicación.	53
5.4.	Preparación y puesta en marcha de los distintos elementos del sistema.	54
5.5.	Detalles de la estación base y derivador en un contexto online.	54
5.6.	Representación del consumo de batería.	55
5.7.	Inicio (a) y asignación del nombre (b) del estudio.	56
5.8.	Selección del (a) tipo y (b) área de estudio	56
5.9.	Comentarios sobre el estudio.	57
5.10.	Estado del estudio a realizar.	57
5.11.	Inicio (a), creación (b) y elección del nombre (c) para la nueva misión.	58
5.12.	Asignar la misión a un estudio creado.	58
5.13.	Configuración de la misión.	59
5.14.	Creación de las misiones provistas según regímenes de marea (a) o de vientos (b).	59
5.15.	Visualización del estado de las misiones de un estudio.	60
5.16.	Ejecución de las misiones previstas.	60
5.17.	Simulación del contexto online.	61
5.18.	Representación de datos de trayectoria sobre el mapa en un contexto online.	61
5.19.	Procesamiento y ejemplo de representación de resultados de la misión en un contexto offline.	62

Capítulo 1

Introducción

Debido a la gran explosión demográfica de las últimas décadas y teniendo en cuenta que la tierra es un sistema cerrado, los impactos en el equilibrio medioambiental y sobre los ecosistemas se han incrementado notablemente. Para evitar en la medida de lo posible este hecho, los gobiernos de distintos países del mundo han ido desarrollando e implementando normativas, estándares de calidad y leyes para la protección y cuidado del medio marino.

1.1. Origen y justificación del trabajo

Comprender y predecir los procesos de circulación y la dispersión de los flujos costeros es crucial para una serie de aplicaciones importantes en este ámbito. Algunos ejemplos representativos de dichas aplicaciones son el apoyo de las operaciones de seguridad de la navegación, búsqueda y rescate, la predicción de la propagación de los contaminantes, o de sedimentos, o la renovación de agua en zonas parcialmente confinadas.

El estudio de las corrientes marinas presenta similitudes cuando se compara con el de la circulación atmosférica. Este paralelismo se debe al hecho de que ambos medios están constituidos por fluidos, por lo que los procesos que se desarrollan en estos entornos se rigen por ecuaciones análogas. Los métodos de modelado y predicción que se aplican sobre ambos sistemas combinan la toma de medidas en el medio y el empleo de modelos numéricos. Sin embargo, existe un gran desfase entre el conocimiento atmosférico y el oceanográfico debido a las dificultades que se presentan a la hora de medir en el mar, sumado al tamaño de las estructuras físicas de la dinámica marina, muy pequeñas en comparación con las atmosféricas. Todo esto nos deja un panorama en el que se evidencia una necesidad imperiosa de incrementar tanto el volumen como la calidad del muestreo de datos físico químicos del

medio marino para poder alimentar los modelos numéricos y así obtener un mayor conocimiento de dicho medio.

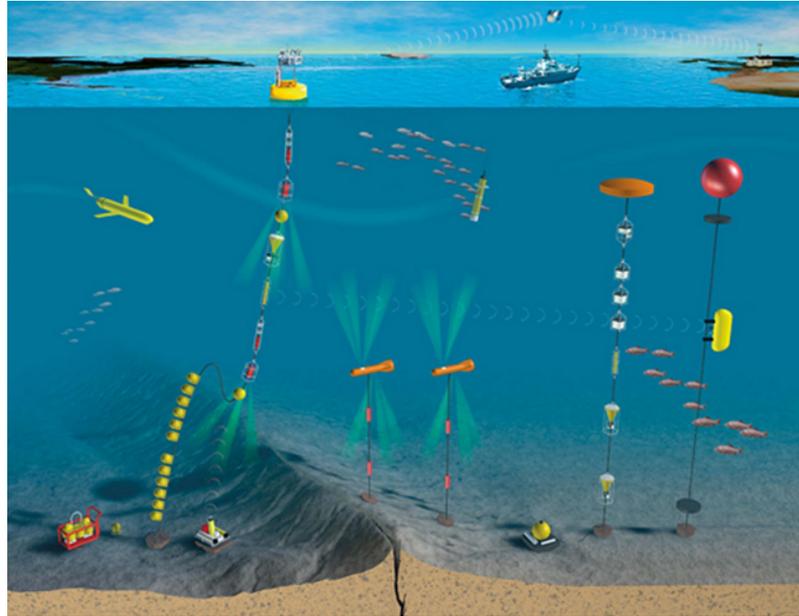


Figura 1.1: Sistemas de vigilancia oceanográfica.(Fuente:atmosferis)

1.1.1. Variables de interés

Las principales variables de interés en ingeniería de costas son la batimetría y naturaleza de los fondos, el nivel del mar (mareas), el oleaje, el viento, el transporte de sedimentos y las corrientes. Para la batimetría y el estudio de los fondos se utilizan cartografías de costas preexistentes, en general de origen militar, apoyadas por datos que resultan de campañas batimétricas tomados por instrumentos como teodolito y mira, DGPS¹, ecosondas multi-haz, láser aéreo, vídeo, etc.

Para los niveles del mar se toman dos componentes, las mareas astronómicas, en general conocidas en todo el tramo de costa a través de sus armónicos y las mareas meteorológicas, asociadas a variaciones de presión y viento, éstas últimas pueden conocerse directamente mediante campañas de campo o a través de los fenómenos que las originan haciendo uso de los modelos matemáticos. Los sensores que normalmente se utilizan para medir la posición instantánea de la superficie del mar, son los sensores de varilla, los de presión

¹Differential Global Positioning System

junto con sensores de conductividad y temperatura, los sensores ultrasónicos, de radiofrecuencia o de flotador.

La instrumentación necesaria para medir los parámetros de oleaje escalar y direccional combina las mediciones de presión con la estimación de las componentes horizontales de velocidad. Para la toma de estos datos se utilizan boyas de superficie, sumergidas o sensores remotos como los del tipo radar, estero-fotografía y vídeos.

La agrupación del oleaje, conocida como onda larga asociada, está formada por la superposición de trenes de onda de diferentes longitudes de onda. Al igual que para el estudio del oleaje direccional y escalar, se utilizan sensores de presión para su análisis.

Para el caso de las variables de viento se utilizan datos de régimen medio y extremal. A efectos de su estudio en ingeniería costera, lo recomendable es la utilización de una estación meteorológica situada fuera de la influencia de afecciones locales.

El transporte de sedimentos constituye un proceso cuya evaluación resulta imprescindible para establecer flujos que afecten a la zona costera y a las estructuras marítimas que pueda haber en ellas, inspeccionándose con mayor detalle tanto las zonas de rompientes como las zonas más profundas. Las estimaciones de transporte se hacen en base a medidas lagrangianas, con la utilización de trazadores (arenas teñidas), así como con medidas eulerianas, utilizando en este caso trampas de arena, sensores ultrasónicos, ópticos o vídeos.

El conocimiento de las corrientes en un área determinada es relevante para el análisis del transporte de contaminantes, sedimentos o renovación de agua, complementando los datos de ondas largas para el estudio de esfuerzos sobre estructuras marinas. La variabilidad estacional y temporal de las corrientes es grande con lo que se recomienda el uso de un modelo numérico calibrado. Los instrumentos de medida para este parámetro pueden dividirse en eulerianos y lagrangianos. En el caso de un estudio de tipo euleriano se utilizan correntímetros de tipo electromagnético y acústicos o perfiladores acústicos (ADCP²), mientras que para el tipo lagrangiano se utilizan derivadores o trazadores.

1.1.2. Medida de la corriente

La utilización de objetos a la deriva para estimar la corriente y su velocidad por parte de la comunidad investigadora es cada vez más frecuente. En un principio, este tipo de seguimientos se llevaban a cabo visualmente desde

²Acoustic Doppler Current Profiler

la costa o desde un barco. Luego se extendió el uso de las comunicaciones por radio para la observación de dichos objetos, permitiendo abarcar áreas de estudio mayores.

Un derivador lagrangiano (Fig.1.2) es un instrumento que permite seguir la evolución de una línea de corriente a partir del análisis de la variación de la posición y velocidad del dispositivo con el fluido en función del tiempo. De esta manera, proporciona datos sobre las trayectorias que pueda seguir una partícula dentro de un área de estudio concreta.



Figura 1.2: Derivador lagrangiano.

En la década de los setenta se hizo posible el seguimiento por satélite, dando opción de un estudio a nivel global de las corrientes marinas. Desde entonces se han ido desarrollando una serie de boyas a la deriva cada vez más optimizadas, ya que los datos arrojados por éstas tienen un gran valor para la investigación oceanográfica, y en consecuencia, para el estudio del clima.

Todo esto ha impulsado la creación de muchas empresas que se dedican a la gestión medioambiental en entornos marítimo-costeros, llevando a cabo proyectos donde el uso de los derivadores se ha generalizado como herramienta para la toma de datos. Gracias a esto es posible caracterizar fenómenos como la dispersión en el agua, los tiempos de residencia de contaminantes o de renovación de aguas entre otros. Con el fin de obtener una visión integral, los datos arrojados por los derivadores se complementan con datos de vientos y de mareas obtenidos a través de estaciones meteorológicas, mareógrafos o boyas que estén próximos al área de estudio.

1.2. Motivación y objetivos

Este proyecto se enmarca en un ámbito local, donde la tipología de estudios realizados incluyen ejemplos tales como la proyección de puertos y emisarios submarinos o el control y vigilancia ambiental de zonas costeras.

1.2.1. Situación actual

Las campañas de muestreo para la realización de estudios costeros a pequeña escala se desarrollan a menudo de una forma rudimentaria empleando derivadores lagrangianos simples. El proceso consiste en desplegar unidades de bajo coste y realizar un seguimiento de su trayectoria desde una pequeña embarcación anotando manualmente las sucesivas posiciones con ayuda de una unidad GPS de marcado (Fig.1.3). La incorporación de microcontroladores y la visualización de los datos en tiempo real supondría una mejora considerable.



Figura 1.3: Marcado manual de posición del derivador con GPS.

El método descrito anteriormente supone una labor pesada y rutinaria, además de ineficiente en términos de los recursos empleados. Asimismo presenta claros inconvenientes como son las imprecisiones en el marcado, el riesgo de la pérdida de datos o el extravío de las unidades sensoras. El proceso descrito es manifiestamente mejorable, y es en esa línea en la que se ha planteado el presente trabajo.

1.2.2. Objetivos

En este trabajo se aborda la necesidad de disponer tanto de una instrumentación adecuada para la realización de estudios costeros como de las herramientas necesarias para el procesamiento y gestión de los datos adquiridos. Estos aspectos se particularizan para el caso de medidores de corrientes de tipo lagrangiano.

El objetivo principal del proyecto es el desarrollo de una aplicación para el tratamiento de datos proporcionados por una red de derivadores, de forma que sean válidos para estudios de ingeniería y oceanografía costera. Este objetivo se complementa con el diseño e implementación de un prototipo de derivador propio.

En el marco del proyecto se diseñaron e implementaron un conjunto de herramientas para el tratamiento semiautomático de los datos recogidos por la flota de derivadores. El objetivo de estas herramientas es automatizar la obtención de resultados a partir de las observaciones realizadas con los derivadores, tanto del momento del monitoreo *in situ*, como para la presentación de los resultados después de éste.

Durante el trabajo se realizaron pruebas de campo para validar los diferentes subsistemas (localización, comunicación, etc.) que integrarán el sistema global.

1.3. Contenido y estructura de la memoria

El resto del presente documento está estructurado en seis capítulos. En este capítulo pretende realizar una introducción al tema que se desarrolla, comenzando por el origen y justificación del trabajo dónde se exponen una serie de conceptos relacionados con la ingeniería de costas de manera general y particularizando lo relacionado con este proyecto, justificando la motivación por la que se ha desarrollado el presente documento.

En el capítulo 2 se expone el análisis de requisitos que trata de reflejar y describir con detalle los objetivos propuestos. Además se describe el caso particular de la región Canaria como un caso de uso para adaptar la herramienta a desarrollar.

El capítulo 3 recoge el diseño de la herramienta atendiendo a dos partes diferenciadas, el de la instrumentación y el del software que se pretende desarrollar.

Una vez diseñada la herramienta, en el capítulo 4 se describe el proceso de implementación de cada una de los subsistemas que componen la totalidad de la instrumentación.

El capítulo 5 se describen los distintos experimentos realizados a medida que se fueron implementando cada uno de los subsistemas.

El capítulo 6 recoge finalmente una serie de conclusiones y propuestas para posibles líneas futuras de investigación.

Capítulo 2

Análisis de requisitos

En este capítulo se expondrán los requisitos para cada uno de los elementos que conformarán el trabajo propuesto, un análisis que tratará de capturar y describir detalladamente los requisitos de funcionalidad según las necesidades derivadas de los objetivos del proyecto, teniendo en cuenta también las opiniones de expertos en el dominio.

2.1. Requisitos principales

Tal y como se ha indicado en la introducción, el presente trabajo aborda el diseño de un sistema integral de medida que incluye tanto las unidades sensoras como el software de monitorización y procesamiento de datos.

Una herramienta operativa de apoyo como la que se pretende desarrollar tendría que cumplir una serie de requisitos para la ejecución de una campaña de muestreo en el medio marino, debiendo de poseer una serie de características mínimas, tales como:

- Facilidades en el manejo, despliegue y recuperación de la instrumentación en su conjunto.
- Aplicable a procesos dinámicos a escala local.
- Fácil configuración de los estudios y muestreos a realizar.
- Manejo intuitivo de la interfaz por parte del usuario.

Teniendo en cuenta estos requisitos mínimos, se profundiza a continuación en el análisis desde dos puntos de vista, el de la instrumentación de medida y el de las herramientas software.

2.2. Requisitos para la instrumentación

Desde la perspectiva de la fabricación de la instrumentación, los factores relevantes a considerar son la facilidad de la construcción, que los materiales necesarios sean ligeros para facilitar su transporte y despliegue, que se trate de materiales fáciles de conseguir y sobre todo que sean de bajo coste. Por otra parte, y dadas las especiales características del medio marino, debe tenerse en cuenta la resistencia de los materiales a las condiciones ambientales.

Los muestreos que se realizan en el ámbito costero suelen tener una duración variable, ya que dependen del tipo de estudio o de la cantidad de datos requeridos para una mejor caracterización del entorno. Así, se considera adecuado que los sistemas sensores estén adecuadamente dimensionados para afrontar misiones entorno a unas ocho horas.

En lo relativo a la extensión geográfica, los muestreos pueden llegar a cubrir un área de unos treinta kilómetros cuadrados.

2.3. Requisitos para el software

El ciclo de vida de un estudio costero comprende tres fases bien diferenciadas:

- Planificación.
- Muestreo.
- Procesamiento.

En cada una de ellas deben analizarse los diferentes aspectos a desarrollar y el modo en que la herramienta puede ser útil a los diferentes usuarios de la misma.

Una cuestión fundamental y que debe tenerse siempre presente es que la variabilidad de los posibles estudios que se pueden solicitar es muy amplia. Debe evitarse en todo momento el forzar al usuario a seguir de forma obligada una pauta determinada, puesto que puede ser considerada como inadecuada en un momento dado.

2.3.1. Fase de planificación

Esta fase comienza en el momento en que se encarga la realización de un estudio determinado, y tiene por objeto planificar las necesidades de muestreo que se requerirán. Los aspectos a determinar son el número y duración de

las misiones, al fecha estimada de realización, su localización geográfica y los sensores necesarios.

Las necesidades de muestreo vienen condicionadas por el tipo de estudio y la ubicación geográfica. En general, es preciso considerar las características específicas de la zona en términos de las mareas y los regímenes de vientos predominantes. Habitualmente para cada una de las componentes de dicho régimen anual se debería de contemplar la realización de un muestreo con marea llenante, marea vaciante y pleamar, ya que esto influye en la dirección que toman las corrientes. Sin embargo, el espectro es amplio, incluyendo casos simples en los que será suficiente con realizar una misión en un momento dado, mientras que en otros más complejos será necesario realizar varias repeticiones en diferentes periodos del año y escenarios.

Por otra parte, también pueden existir diferentes dispositivos de medida que se ajusten a distintos tipos de muestreo. Se debe ofrecer algún mecanismo cómodo de selección de los mismos para incorporarlos a una determinada misión. Debe garantizarse igualmente que en el momento en que vaya a ejecutarse un muestreo dichos dispositivos estén preparados.

2.3.2. Fase de muestreo

Esta fase incluye la ejecución de las diferentes misiones de muestreo programadas para la realización de un determinado estudio. A su vez, cada misión comprenderá las etapa de preparación, el despliegue, el seguimiento y la recuperación.

En la etapa de preparación deberá verificarse el correcto funcionamiento de las diferentes unidades. El despliegue debe tener en cuenta información relativa al lanzamiento, incluyendo al menos una posición inicial de muestreo para tomarla de referencia a la hora de lanzar los derivadores y la configuración de la malla de muestreo según el tipo de estudio. Durante el seguimiento se deberá informar al usuario del estado actual del muestreo y su evolución. Por último la etapa de recuperación es durante la que tiene lugar la recogida de las unidades desplegadas.

2.3.3. Fase de procesamiento

Una vez han concluido todas las misiones de muestreo previstas para un estudio se puede comenzar con la fase de procesamiento. En ella se partirá de todos los datos disponibles para generar los resultados intermedios que se tomarán como base para la elaboración del informe final.

En el caso de los datos que proceden de muestreos realizados con derivadores para estudios puramente costeros, un informe genérico de resultados

por cada muestreo realizado, debe de presentar como mínimo un mapa con todas las trayectorias de los derivadores utilizados, indicar las velocidad media, máxima y mínima, mapas de corrientes superficiales y la dispersión.

2.4. Caracterización de la región Canaria

En este trabajo se tomará como referencia la región de las Islas Canarias, con el propósito de ilustrar la adaptación de la herramienta a una región concreta, aunque ésta se pueda utilizar para otros entornos marítimo costeros.

2.4.1. Clima marítimo de Canarias

El clima marítimo de una región costera se caracteriza con los regímenes de oleajes y temporales que le afectan. Determinando éstos tanto la dinámica como las formaciones costeras de dicha región. En Canarias, el clima marítimo está condicionado por seis tipos [1] distintos de fenómenos meteorológicos que se desarrollan en el Atlántico Norte.

A lo largo de un año natural (Figura 2.1), de los fenómenos meteorológicos que se desarrollan en el Atlántico Norte que influyen en el Clima Marítimo de Canarias, se describirán sólo aquellos que se consideran como variaciones estacionales habituales de la región.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
			VIENTOS ALISIOS								
									CALMAS		
BORRASCAS FRONTALES									DEL ATLANTICO		
					CICLONES TROPICALES CARIBE						
		BORRASCAS EN AREA CANARIAS (de 4 a 6 al año)									
		BORRASCAS SOBRE AFRICA (de 2 a 4 al año)									
FENÓMENOS METEOROLÓGICOS SINGULARES											

Figura 2.1: Calendario del Clima Marítimo de Canarias [1].

Vientos Alisios Vs. calmas del verano. Calmas de Otoño: Desde la primavera hasta bien entrado el otoño, Canarias queda bajo la influencia de los vientos alisios (Figura 2.2) que soplan del NE, produciendo así mar de viento ¹ permanente del NE que afecta a las costas E y N, y calmas en las costas W, en especial en las islas más montañosas.

Con la llegada del otoño, se presentan las conocidas calmas de Septiembre. La duración de éstas es variable y no siempre continua, ya que se ven interrumpidas esporádicamente por Borrascas Frontales del NW o por las Borrascas del área de Canarias.



Figura 2.2: Los vientos alisios y su interacción con las Islas Canarias. Podemos ver en esta imagen como se ha formado una calle de vórtices, tanto tras las Islas Canarias como tras la Isla de Madeira. (Fuente: Eumetsat).

Las Borrascas Frontales del Atlántico al NW de Canarias: De Octubre a Mayo de cada año natural, el clima está marcado por los temporales del NW y N, generados en torno a la latitud 60° correspondiente a la zona de bajas presiones polares, por las borrascas frontales que se forman al NW de Canarias.

Los frentes que generan las borrascas frontales se desplazan de W a E al encontrarnos en el Atlántico Norte. Su formación en zonas de bajas presiones hace que presente un núcleo con muy bajas presiones, generando temporales lo suficientemente fuertes como para llegar a Canarias en

¹Se define como mar de viento o tipo SEA, el oleaje que resulta de la acción del viento en una extensión sobre la cual sopla.

forma de mar de fondo².

Las Borrascas en el área de Canarias: Este tipo de borrascas se forman cerca del archipiélago, generando vientos de intensidad y dirección variables a lo largo de su trayectoria originando mares de viento. Dependiendo dónde se sitúe el núcleo de la borrasca afecta de manera distinta al archipiélago.

Si la posición del núcleo se sitúa en el océano al W de Canarias se presentan con vientos húmedos, afectando a la región de cuatro a seis veces al año y generalmente en invierno. En cambio, si la posición del núcleo se sitúa sobre África, los vientos generados son secos y traen consigo el fenómeno de la Calima, que se presenta de dos a cuatro veces al año, repartidas a lo largo de un año natural.

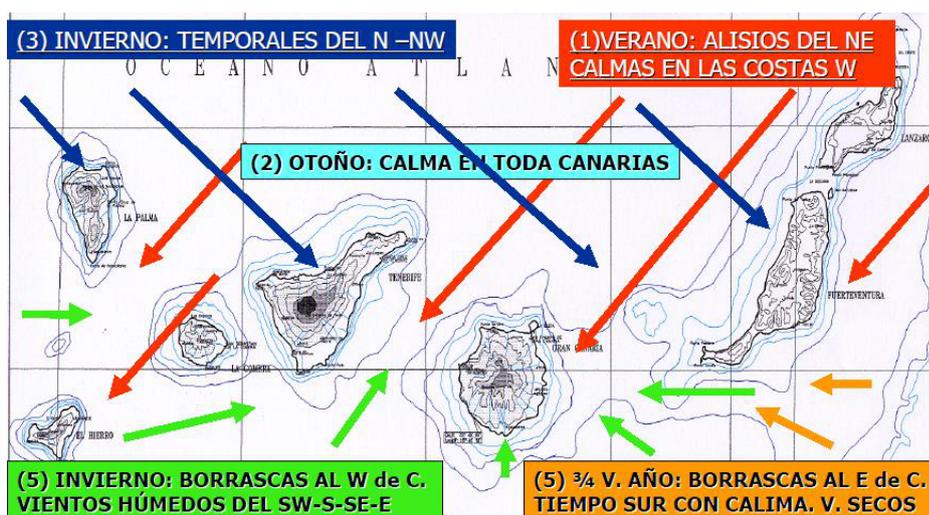


Figura 2.3: Resumen del clima marítimo de Canarias [1].

2.4.2. Posibles estudios en la región Canaria

Dentro del entorno marítimo costero Canario los muestreos podrían realizarse teniendo en cuenta el calendario expuesto en el apartado anterior (Figura 2.1). La fiabilidad de los datos arrojados por la instrumentación como el tratamiento de éstos deben de estar en concordancia con el proyecto o estudios a

²Se define como mar de fondo o de tipo SWELL aquel oleaje que se propaga fuera de la zona donde se ha generado, pudiendo llegar a lugares muy alejados. También recibe el nombre de mar tendida o mar de leva.

realizar. A continuación se expondrán una serie de posibles estudios teniendo en cuenta dicho calendario.

En cualquier caso, la planificación de los muestreos debe de ir acompañada de un control diario de las condiciones meteorológicas durante los meses de mayor probabilidad de ejecución de los mismos y según los datos que se necesiten. Además hay que tener en cuenta que la planificación de muestreos en el medio marítimos no es trivial, ya que en cada uno de ellos intervienen distintos elementos, como puede ser la disponibilidad de vehículos para el transporte del personal y material, disponibilidad de una embarcación, disponibilidad de la instrumentación y de que ésta (baterías, calibración, mantenimiento, ..) esté en condiciones para realizar los muestreos que se requieren.

2.4.2.1. Proyectos de ingeniería de puertos y costas

La actuaciones antropogénicas en la costa supone un impacto notable sobre el ecosistema, por lo que las normativas actuales en materia de medio ambiente contemplan que el impacto durante la realización de cualquier obra marítima debe de ser mínimo. Algunos ejemplos de este tipo de proyectos son la realización de puertos o ampliaciones de puertos existentes [8], diques, playas artificiales o emisarios submarinos [2].

Al hablar sobre impacto, nos referimos a la contaminación desde el punto de vista de que el contaminante es el vertido de cualquier material en el mar que desestabilice la parcela de ecosistema presente en toda la columna de agua sobre el que se ejerce la intervención. Estos contaminantes van desde los vertidos de aguas residuales por medio de emisarios submarinos a los realizados desde tierra con la integración de material de cantera, pasando por los generados por los dragados, siendo éstos dos últimos mas propios de la ejecución de obras marítimas. Esto obliga a estudiar previamente la capacidad del medio receptor para disipar estos contaminantes como la capacidad de regeneración del ecosistema ante cualquier actuación en la costa.

Para la dispersión de los contaminantes siempre se realizarán muestreos teniendo en cuenta el caso más desfavorable, ya que parámetros como la disipación y dilución dependerán de la energía presente en el medio receptor. Así los estudios a realizar tendrán más sentido si se llevan a cabo cuando la energía del medio receptor es mínima, es decir, los estudios deberían de realizarse cuando el mar está en calma.

En caso de que se planificaran muestreo como parte de un proyecto de las características citadas en este apartado, y teniendo en cuenta el calendario del clima marítimo expuesto (Figura 2.1), éstos debieran de planificarse en la época de las calmas de otoño presentes durante los meses de Septiembre a

Diciembre. También es posible que, en función de la zona donde se proyecte la ejecución de una obra marítima los estudios podrían planificarse entre los meses de Mayo y Diciembre, meses en los que la región está bajo la influencia de los vientos alisios y de las ya citadas calmas de otoño.

2.4.2.2. Proyectos de investigación marina

La oceanografía como ciencia experimental necesita de observaciones y mediciones lo más precisas posibles. La utilización de una instrumentación como la que se propone en este trabajo es útil para proyectos en los que se estudie el comportamiento de una zona concreta de la costa. Si tenemos en cuenta el calendario climático que se expone para la región de Canarias, se podrían planificar estudios de lo más diversos. Aunque este tipo de proyectos están más relacionados con la ciencia que con la ingeniería, siempre los datos serán transferibles de un ámbito a otro.

Ejemplos sobre posibles proyectos de investigación marina para un entorno costero, pueden ir desde la dispersión de hidrocarburos a cálculos de tiempos de residencia de cualquier compuesto, o tasas de renovación de aguas dentro de entornos portuarios. Lo que queda de manifiesto que la planificación de los muestreos en este caso queda más sujeto a las preferencias del investigador.

En cualquier caso, en los muestreos a programar siempre es recomendable realizarlos en base a los distintos fenómenos meteorológicos que afectan a una costa concreta para una mejor y más afinada caracterización del entorno, con lo que habría que planificar muestreos a lo largo de un año natural. Si se quisiera llevar más allá la recogida de datos ya se entraría en escalas temporales y espaciales de procesos atmosféricos y/u oceanográficos mayores como pueden ser la NAO³ o ENSO⁴.

2.5. Consultas con expertos

Durante esta fase de análisis de requisitos se han realizado visitas y consultado la opinión de diferentes expertos, a fin de tener en cuenta sus apreciaciones en el desarrollo de este proyecto. De esta manera, se han entrevistado a diferentes personas en el ámbito empresarial y universitario con amplia experiencia en este dominio.

³North Atlantic Oscillation

⁴El Niño Southern Oscillation

Capítulo 3

Diseño de la herramienta

En este capítulo se describirá el diseño de la solución adoptada para resolver el problema que se ha planteado para la realización de este trabajo.

3.1. Solución general adoptada

Una vez concluido el análisis de requisitos, el siguiente paso es la propuesta de un diseño de solución que cumpla con las especificaciones allí recogidas. El esquema general se basa en la utilización de derivadores con microprocesadores/microcontroladores integrados junto con el software necesario para controlar los diferentes modos de funcionamiento.

Esta solución sigue la filosofía de las redes sensoriales inteligentes, una tendencia que ha experimentado un gran auge en los últimos años. A continuación se describen en detalle tanto los aspectos de diseño ligados a la instrumentación como a las herramientas software.

3.2. Diseño de la instrumentación

La solución propuesta desde el punto de vista de la instrumentación consiste en añadir capacidad de procesamiento a los derivadores. La incorporación de un módulo microprocesador añade flexibilidad al sistema global y aporta un conjunto de ventajas importantes.

Las unidades de medida estarán conformadas por la estructura del derivador propiamente dicha y el módulo de procesamiento. Este último estará constituido por los siguientes elementos:

- Microprocesador/microcontrolador
- Módulo sensorial

- Módulo de comunicaciones
- Módulo de almacenamiento
- Módulo de alimentación

Una unidad de este tipo permite ser programada para realizar capturas de datos de los diferentes sensores embarcados a una frecuencia determinada, almacenando la información localmente. Asimismo es posible transmitir regularmente su estado y un subconjunto de los datos capturados a un punto remoto. Con todo ello se consigue una mayor eficiencia y calidad en el muestreo, facilitando asimismo las labores de despliegue y recogida.

Dentro del módulo sensorial, los requisitos mínimos se cubren integrando un sensor de posicionamiento GPS¹. Es deseable incorporar además sensores internos de monitorización del estado, incluyendo el nivel de batería o la memoria disponible. No obstante, otra ventaja de los sistemas basados en microprocesador es que se pueden extender fácilmente en función de las necesidades, pudiendo incluir sensores de parámetros físico-químicos como temperatura, conductividad, salinidad, pH, turbidez u oxígeno disuelto. Igualmente es posible integrar sensores inerciales que suministren información adicional sobre la evolución del derivador.

Los módulos de comunicaciones, almacenamiento y alimentación deben ser dimensionados adecuadamente en función de lo indicado en las especificaciones.

Asimismo, es deseable que el derivador se estructure modularmente, de forma que exista un mecanismo cómodo de separación del cuerpo principal y el módulo microprocesador, facilitando el transporte y la manipulación.

Se revisa a continuación el estado del arte tanto para los derivadores en general como para los microcontroladores que pudieran embarcarse en los mismos.

3.2.1. Estado del arte para los derivadores

Existen numerosos diseños de derivadores en el mercado que varían en función de las corrientes se quieren medir y la precisión del seguimiento de las mismas. En su desarrollo se siguen las indicaciones determinadas en el año 1982 desde el WCRP², según las cuales un derivador tiene que ser un instrumento ligero, fácil de transportar y desplegar, además de tener un bajo coste [6].

¹Global Position System

²World Climate Research Program

3.2.1.1. Derivador lagrangiano tipo CODE

La versión modificada del derivador CODE³ (Fig.3.1) es similar al utilizado en el Experimento de Dinámica Costera a principio de los años 80 [4] por el Dr. Russ Davis perteneciente al Scripps Institute of Oceanography.

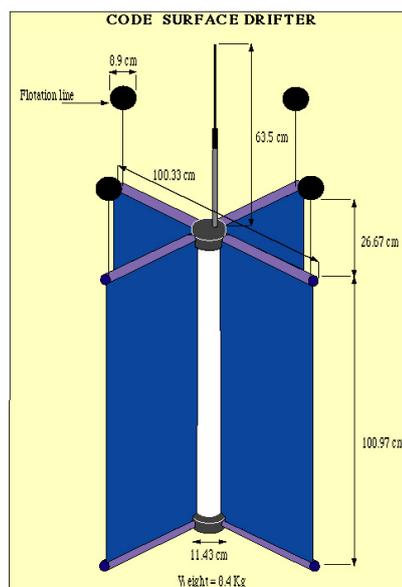


Figura 3.1: Diagrama esquemático de la versión modificada del derivador CODE.

Se compone de un tubo de un metro de largo con velas de arrastre dispuestas ortogonalmente y orientadas verticalmente a lo largo de él. La superficie total del instrumento es de un metro cuadrado. La flotabilidad la proporcionan cuatro boyas esféricas unidas en los extremos superiores de cada vela de arrastre con una cuerda flexible. Consta de una pequeña antena para el seguimiento por satélite y transmisión de los datos, situada en la parte superior del tubo y está provisto de un termistor para medir la temperatura que se sitúa en el tubo por debajo del nivel del mar.

El derivador CODE se modificó para facilitar su despliegue, de forma que se lanza al mar metido en una caja de cartón sellada con una cinta soluble en agua que se rompe después de una hora para que las velas de arrastre se desplieguen (Fig.3.2).

El transmisor se activa mediante la eliminación (manualmente antes de lanzarlo o de manera automática en el agua) de un imán que está sujeto al tubo con cinta hidrosoluble.

³Coastal Dynamics Experiment



Figura 3.2: Lanzamiento del derivador CODE modificado en su caja de cartón.

Las comparaciones efectuadas con las medidas de corrientes obtenidas [4] y con estudios realizados con trazadores (colorantes) para medir el movimiento relativo del agua mostraron que el derivador CODE tiene una precisión de unos 3cm/s, incluso bajo condiciones de fuertes vientos.



(a) ARGODRIFTER.

(b) Modelo 115 low-cost autonomous GPS drifting buoy.

(c) ClearSat-1 Surface Drifter

Figura 3.3: Configuración de algunos de los modelos basados en el derivador CODE con comunicaciones a través del sistema Argos.

En cualquier caso, actualmente encontramos diversas configuraciones para este tipo de derivadores dependiendo de su uso y del fabricante. En un principio este modelo, el derivador CODE modificado, fue fabricado por Technocean, producto que se encuentra bajo el nombre de ARGODRIFTER (Fig.3.3(a)) debido a la incorporación al sistema Argos. Este sistema fue

fundado en 1978 por la CNES ⁴, la NASA ⁵ y la NOAA ⁶, concebido principalmente para la recolección de datos meteorológicos y oceanográficos a nivel global. En 1986 el CNES crea una filial, CLS, para operar, mantener y comercializar el sistema.

Otro de los modelos que más se asemeja al desarrollado por Technocean, es el fabricado por Brightwaters Instrument, denominado Model 115 low-cost autonomous GPS drifting buoy (Fig.3.3(b)).

En el caso de la empresa Clearwater Instrumentation, proporciona los modelos ClearSat-1 Surface Drifter y el ClearSat Littoral Drifter, que mantienen la forma del derivador CODE, y efectuando un cambio en el tipo de boyas que le da la flotabilidad.



(a) ClearSat Littoral Drifter



(b) iSLDMB

Figura 3.4: Configuración de algunos de los modelos basados en el derivador CODE con comunicaciones a través de Iridium.

Una de las principales diferencias entre ambos modelos reside en el sistema de comunicaciones utilizado. En el caso del modelo ClearSat-1 Surface Drifter (Fig.3.3(c)) se realizan a través del sistema Argos, con lo que su utilización es destinada a la recolección de datos a nivel mundial. En cambio, el ClearSat Littoral Drifter (Fig3.4(a)) fue pensado para la utilización en oceanografía o ingeniería costera, utilizando el sistema de comunicaciones Iridium.

Iridium es un sistema compuesto por una constelación de satélites de baja órbita diseñada para permitir que cualquier tipo de transmisión telefónica (voz, datos, fax,...) llegue a su destino en cualquier parte del mundo. Esto es

⁴Agencia Espacial Francesa

⁵National Aeronautics and Space Administration

⁶National Oceanic and Atmospheric Administration

debido a que el sistema rastrea la localización del dispositivo, aún si la localización no es conocida. Por esta razón, otras de las aplicaciones más comunes son para el rescate y para casos de desastres naturales.

La empresa Metocean, fabrica un modelo similar al ClearSat-1 Surface Drifter, al que se le designó el nombre de iSLDMB ⁷(Fig.3.4(b)). Se desarrolló de manera que cumpliera los requisitos para operaciones de salvamento y rescate en mar abierto.

3.2.1.2. Otros tipos de derivadores lagrangianos

El derivador SPV⁸ (Fig.3.5) fue desarrollado en el marco del programa que le da nombre, perteneciente a los experimentos TOGA⁹ y WOCE¹⁰ [21].

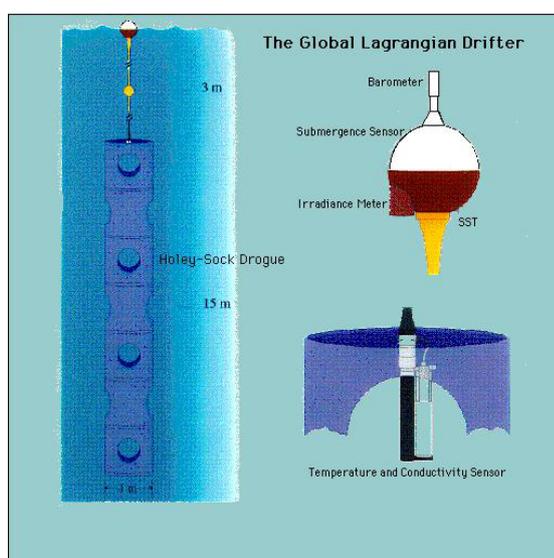


Figura 3.5: Diagrama esquemático del derivador lagrangiano SPV.

Este derivador consiste en una boya de superficie que contiene las baterías, la antena Argos y sensor de temperatura. Una boya a tres metros de profundidad provee de una flotabilidad adicional y disminuye los efectos de movimiento de onda sobre del ancla de deriva, provista de sensores de temperatura y conductividad, y que está perforada para reducir la resistencia al agua [12] [13]. Este tipo de derivador se creó para medir corrientes intermedias, aunque a día de hoy encontramos el modelo SPV mini que se utiliza

⁷Iridium Self Locating Datum Marker Buoy

⁸Surface Velocity Program

⁹Tropical Ocean Global Atmosphere

¹⁰World Ocean Circulation Experiment

para medir corrientes superficiales. Más detalles sobre este tipo de derivadores lagrangianos se pueden encontrar en [17] y [10]. La mayoría de estos derivadores fueron fabricadas por la empresa Clearwater Instrumentation.

A partir del SPV se desarrolla el modelo GDP-MINIMET (WOTAN) al que se le incluye una veleta en la boya superficial. Esta unidad está provista de hidrófonos en la parte superior del ancla de arrastre para medir la dirección del viento y su magnitud respectivamente.

La creación de los derivadores descritos anteriormente, dio paso al desarrollo de múltiples configuraciones fabricadas por las empresas de instrumentación más importantes y que se exponen en el siguiente cuadro.

Fabricante	Modelo	Página Web
MetOcean	iSPHERE/ARGOSPHERE	www.metocean.com/
Clearwater Instrumentation	ClearSat-15 Surface Layer Drifter	www.clearwaterinstrumentation.com/
Clearwater Instrumentation	ClearSat-15 Argos/GPS Drifter	www.clearwaterinstrumentation.com/
Brightwaters	GPS Drifting Buoy	www.brightwaters.com/
Pacific Gyre	Microstar Lagrangian Drifter	www.pacificgyre.com/

Cuadro 3.1: Algunos de los derivadores de los principales fabricantes.

3.2.2. Estado del arte para los microcontroladores

Los productos que para su regulación incorporan un microcontrolador disponen de numerosas ventajas:

- Aumento de prestaciones: un mayor control sobre un determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo.
- Aumento de la fiabilidad: al reemplazar un elevado número de elementos por el microcontrolador disminuye el riesgo de averías y se precisan menos ajustes.
- Reducción del tamaño en el producto acabado: La integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen, la mano de obra y los stocks.
- Mayor flexibilidad: las características de control están programadas por lo que su modificación sólo necesita cambios en el programa de instrucciones.

Hoy en día los microcontroladores están omnipresentes en nuestra vida cotidiana; en los coches (ABS, elevalunas eléctricos), aviones (piloto automático), microondas (controlador del tiempo), neveras (controlador de temperatura), etc. Estos dispositivos aportan comodidad de uso y contribuyen a incrementar la precisión y la fiabilidad del funcionamiento.

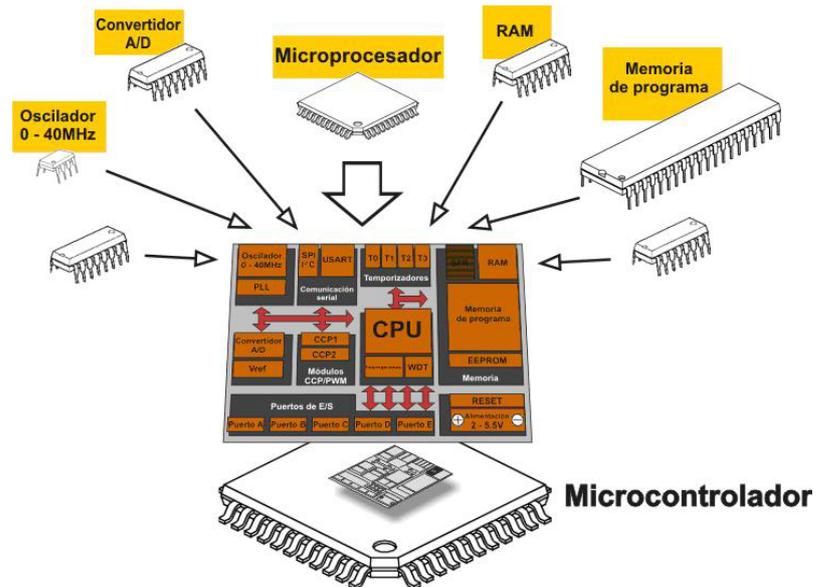


Figura 3.6: Esquema de un microcontrolador.

Son muchas las alternativas disponibles en el mercado para la configuración de redes de sensores inteligentes. Algunos ejemplos significativos son los siguientes:

- Motes
- Arduino
- GumStick
- ARM

La elección de unas u otras alternativas dependen de aspectos como la capacidad de procesamiento necesaria, la autonomía o la facilidad de integración.

3.3. Diseño del software

El diseño del software se fundamenta a partir de las líneas principales derivadas del análisis de requisitos y se articula sobre la base de la instrumentación descrita en el apartado anterior. Los subsistemas principales que lo integran comprenden módulos de gestión, de control y de procesamiento.

3.3.1. Modelo de datos

Las entidades principales que se manejan en el software, de mayor a menor jerarquía son: el estudio, la misión y el derivador. Un estudio requiere para su elaboración la ejecución de un conjunto de misiones de muestreo que a su vez precisan el uso de diferentes derivadores.

Los tipos de datos que se manipulan en tiempo de ejecución son las bases de conocimiento, los ficheros de configuración, los ficheros de datos y los informes. Las bases de conocimiento contienen una descripción de los diferentes elementos que intervienen en la definición de un estudio: tipologías de estudios, áreas y derivadores.

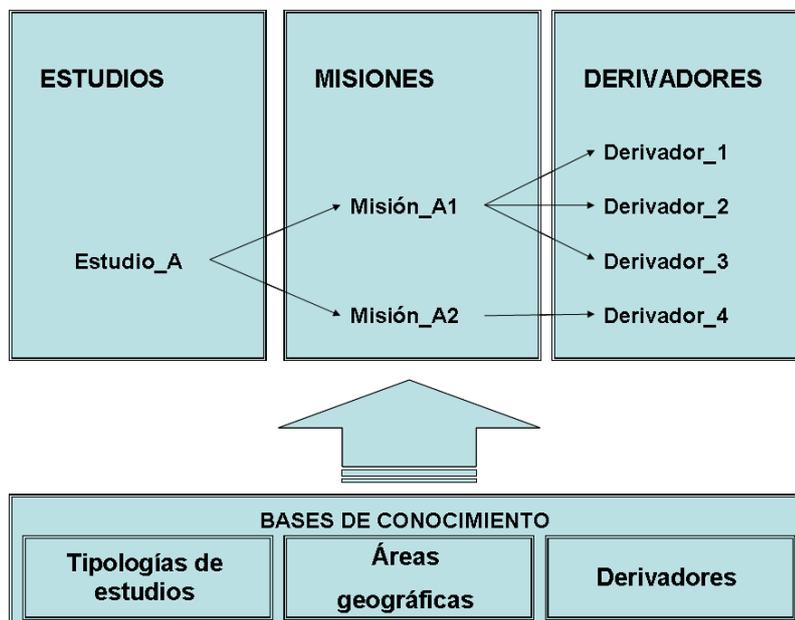


Figura 3.7: Diseño Modelo Software.

3.3.2. Contextos de operación

Se plantean dos contextos de operación para el software, online y offline, dependiendo de que los derivadores estén o no desplegados.

El contexto offline se corresponde con las fases de planificación y procesamiento comentadas en el capítulo de análisis de requisitos, mientras que el contexto online corresponde a la fase de muestreo.

En la figura 3.8 se presenta un esquema que representa la estructura del proyecto.

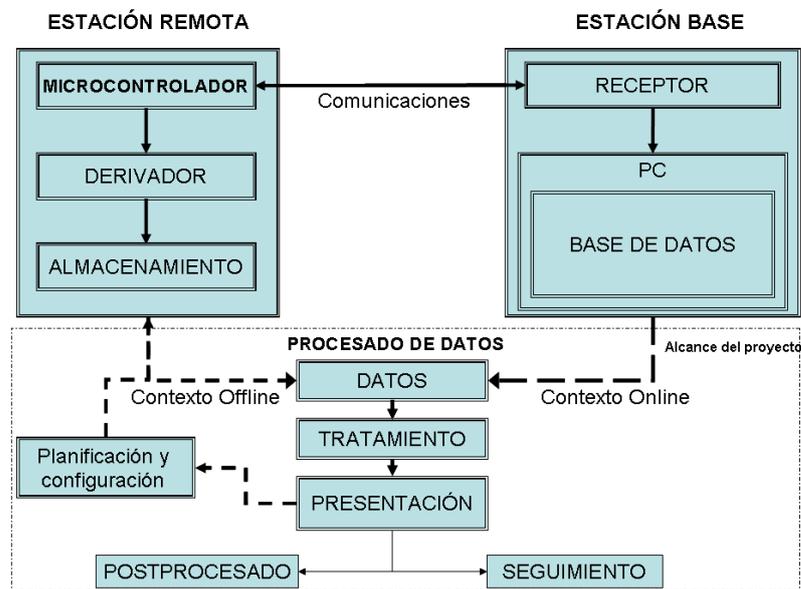


Figura 3.8: Esquema general del proyecto.

3.3.2.1. Contexto offline

El software del modo offline se configura como un asistente que sirve de apoyo para las diferentes labores que deben desarrollarse en las etapas de preparación de los estudios y en la generación de informes; una estructura que sigue la línea de las recomendaciones sugeridas por los expertos consultados. De esta forma, se asesora al usuario y se le guía en función de esquemas de operación estándar predefinidos, pero siempre existe la posibilidad de salirse de la vía recomendada e introducir variantes cuando se estime conveniente.

La arquitectura software está formada por un módulo de gestión y un módulo de procesamiento. El módulo de gestión es el utilizado para definir un estudio, a partir de la información contenida en las bases de conocimiento, y

consultar la evolución del mismo. El módulo de procesamiento es el empleado en la presentación de resultados y generación de informes.

El ciclo normal de operación en este contexto incluye la creación de un nuevo estudio, la definición de los elementos que lo integran, el seguimiento de su estado y el procesamiento de resultados.

3.3.2.2. Contexto online

Dentro del contexto online al sistema opera en base a un esquema de estación base y múltiples estaciones remotas intercomunicadas. El diseño de la arquitectura software prevista comprende módulos de configuración para la preparación de los derivadores, de comunicaciones para permitir el seguimiento en tiempo real del muestreo y de control para supervisar el proceso.

El ciclo normal de operación en este contexto incluye la configuración de los derivadores, el protocolo de lanzamiento, el seguimiento de la evolución, el protocolo de recogida y la descarga de datos.

3.3.3. Procesamiento de los datos

Una descripción completa de un sistema dinámico debe incluir información sobre dos aspectos: su estado y su cinética. La primera parte define su condición o estado en algún instante en el tiempo, pero nada acerca de su movimiento. Este último es el contrario, nos dice cómo el sistema se está desarrollando, pero no indica nada acerca de su estado. Por lo tanto, para una comprensión completa de un sistema dinámico, necesitamos información sobre ambos. Si consideramos el océano como un sistema, su estado se determinaría por la distribución de la masa, mientras que la cinética del sistema vendría dada por la distribución de las corrientes.

El procesamiento se centrará, dada la naturaleza de este proyecto, en la caracterización de las corrientes marinas en un entorno determinado. En un primer nivel, se obtendrán descriptores estadísticos básicos de las medidas obtenidas. A partir de ahí, se obtendrán las estimaciones de valores de corrientes correspondientes y, finalmente, se evaluarán los parámetros característicos de los procesos de transporte asociados.

3.3.3.1. Sistemas de coordenadas

La obtención de las medidas de corrientes a partir de las lecturas de los derivadores requerirá de procesos de transformación de coordenadas desde las lecturas directas de los derivadores, que estarán expresadas en unidades angulares de latitud y longitud, en unidades de distancia métricas más

adecuadas para la estimación de las dinámicas temporales.

3.3.3.2. Dispersión

El empleo de derivadores como una solución para el cálculo de la dispersión horizontal queda expuesto en la Orden del 19 de Julio de 1989 [2], donde se recomienda la utilización de este tipo de instrumentación para estudios destinados a la proyección de emisarios submarinos. No obstante puede tomarse como método de cálculo para la dispersión en este trabajo por cumplir con la normativa estatal.

Capítulo 4

Implementación

En este capítulo se presentan los desarrollos que se han llevado a cabo a lo largo del proyecto, tanto para el hardware como para el software.

4.1. Instrumentación

Siguiendo las pautas expresadas en el diseño, se ha planteado un prototipo de derivador que consta de una estructura principal con un contenedor adosado donde se ubica el módulo microprocesador.

4.1.1. Módulo microprocesador

Para la unidad microprocesadora del derivador se ha seleccionado el dispositivo Waspnote de la empresa ©Libelium, basado en el microcontrolador ATmega modelo 1281. Es un producto de reciente creación que ha tenido una excelente acogida, y son muchas las empresas y universidades distribuidos en más de 40 países los que han hecho uso de este dispositivo [16] [5] [18].

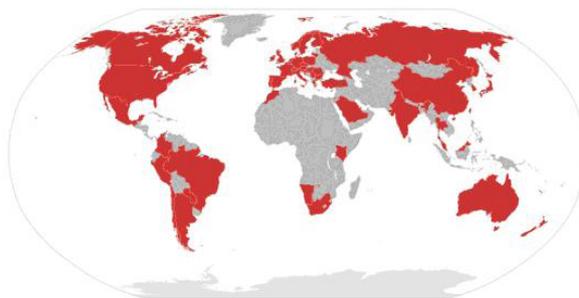


Figura 4.1: Presencia de Waspnote en el mundo.

Las aplicaciones de este dispositivo dejan patente la versatilidad del uso de los microcontroladores. El dispositivo Wasmote se puede aplicar desde un punto de vista de control y monitorización inteligente de muchas actividades tan variadas como la disponibilidad de aparcamiento en una ciudad, uso para prevención en seguridad y emergencias, pasando por la gestión medioambiental. Existen aplicaciones para las actividades primarias de agricultura y ganadería, control de consumo de energía, logística empresarial, control de procesos industriales, domótica y control sanitario tanto de medicamentos como de pacientes.

4.1.1.1. Estructura interna

Wasmote se organiza internamente en una arquitectura modular. Su diseño nos permite incorporar los módulos que se necesiten, además de tener la posibilidad de cambiarlos o ampliarlos según las necesidades del usuario. Los componentes principales del dispositivo Wasmote se muestran en las figuras 4.2 y 4.3.

Los módulos disponibles para integrar en Wasmote se clasifican en:

- Módulos ZigBee/802.15.4
- Módulo GSM/GPRS
- Módulo GPS
- Módulos Sensoriales (Placas de Sensores distribuidas por ©Libelium)
- Módulo de almacenamiento: mini SD Memory Card

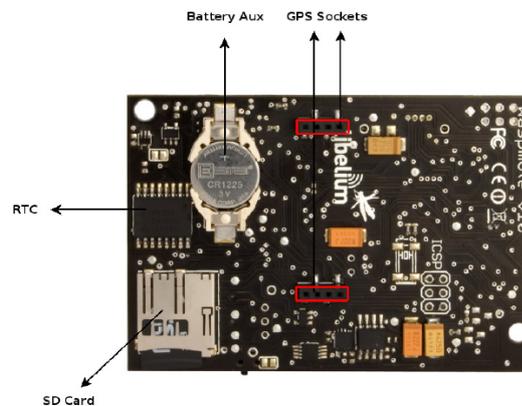


Figura 4.2: Componentes principales en Wasmote: cara inferior.

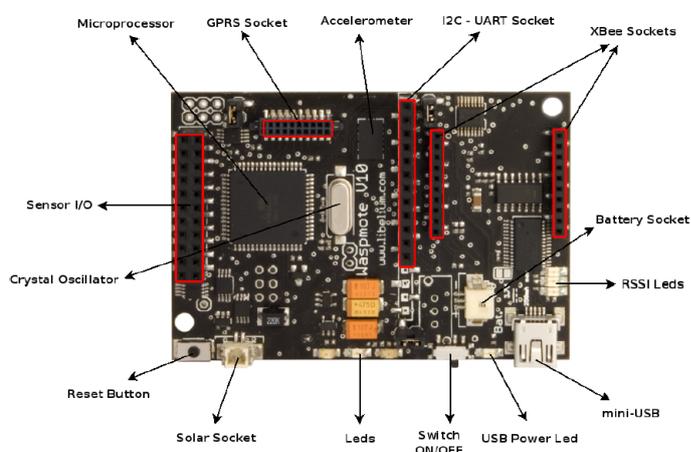


Figura 4.3: Componentes principales en Waspote: cara superior.

Los módulos destinados a las comunicaciones por radio son los XBee de Digi que utiliza bandas de frecuencia libre ISMB ¹. Para este proyecto se ha seleccionado el módulo del tipo XBee 868 Pro por ser el que presenta mayor alcance nominal. Otro módulo disponible es el GSM/GPRS, para poder realizar comunicaciones utilizando la red de operadoras de telefonía móvil (Figuras 4.4a y 4.4b).

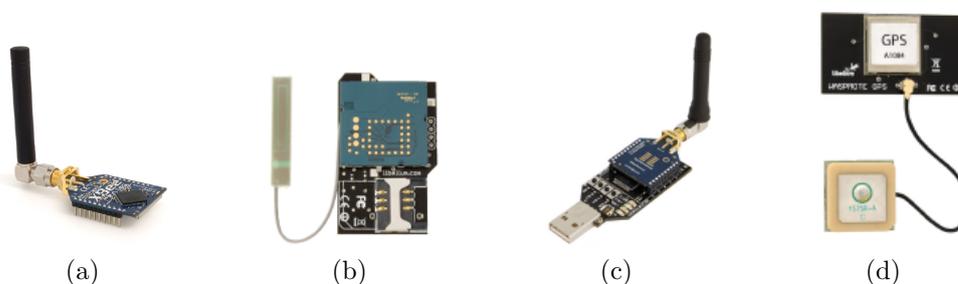


Figura 4.4: Módulos disponibles para Waspote.

Las tramas de datos enviadas por los dispositivos waspmote son recibidas por un Gateway que se conecta por un puerto USB a un PC. El módulo GPS nos permitirá saber la localización exacta del mote en todo momento, de esta forma se podrá obtener la posición e incluso la hora y fecha actual (Figuras 4.4c y 4.4d). El módulo de almacenamiento externo integrado en el Waspote emplea una tarjeta micro-SD reduciendo así el espacio utilizado.

¹Industrial Scientific Medical Band

4.1.2. Cuerpo del derivador

La elección del modelo de derivador para este proyecto, teniendo en cuenta los análisis previos realizados, se decantó por una estructura biplano tipo CODE (Fig.3.1). El utilizado en las pruebas experimentales se presenta en la figura 4.5, junto con un plano donde se detallan las medidas (Fig.4.7). La flotabilidad se consigue gracias a la utilización de dos boyas de dieciocho centímetros de diámetro (Figura 4.6).



Figura 4.5: Derivador desplegado tipo CODE utilizado en este proyecto.



Figura 4.6: La flotabilidad de la instrumentación es proporcionada por una pareja de boyas como la mostrada en esta imagen.

Las velas que componen este derivador se pueden plegar sobre el mástil para su transporte y manejo. El plegado es posible porque las guías de las velas están unidas al mástil mediante cuerdas elásticas que pasan por la sección central de éste.

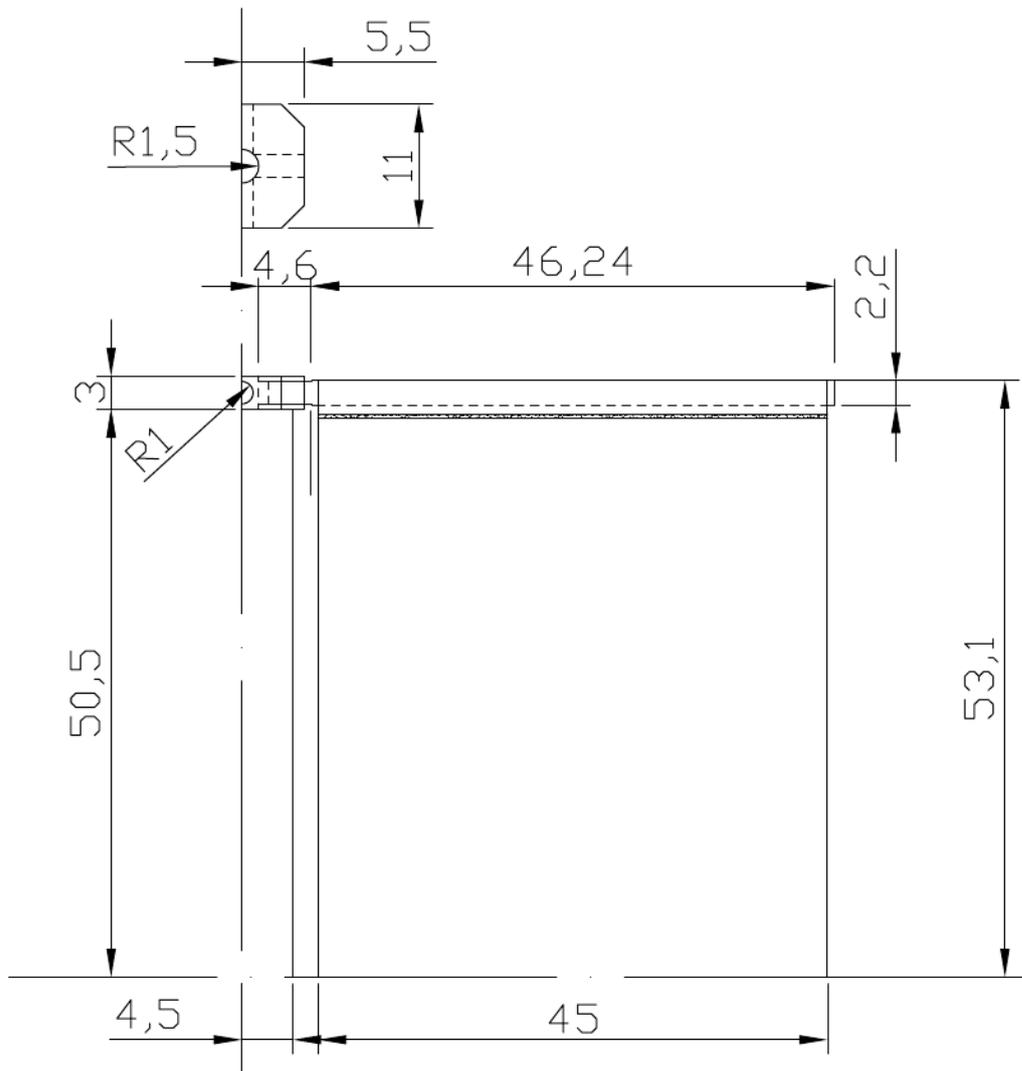


Figura 4.7: Plano del diseño del derivador utilizado en este proyecto.

4.1.3. Contenedor para el dispositivo electrónico

Para la realización del trabajo, se fabricaron dos contenedores, uno que tendría todos los requisitos que se nos planteaban teniendo en cuenta la co-

recta instalación del dispositivo electrónico y la antena, llamado contenedor definitivo, y otro contenedor de pruebas donde el dispositivo electrónico estaría doblemente encapsulado.

En el mercado nos encontramos con una serie tuberías y conectores de PVC destinado al uso sanitario, además de una gran variedad de conectores de tuberías que ofrecen la posibilidad de incorporar elementos roscados a éstas. Para este proyecto se empezó por la adquisición de varios conectores cilíndricos a los que se les dotaron de partes roscadas con sus tapas correspondientes por ambos lados; una de ellas actuará como sistema de anclaje al mástil del derivador y otra para el cierre del contenedor.

El motivo por el que se decide poner una tapa roscada como sistema de anclaje al derivador, es para que la parte que contiene el dispositivo electrónico fuera removible y así facilitar su manejo y transporte. Esta tapa roscada se fijó al derivador mediante tirafondos de acero.

Para el cierre de la parte superior del contenedor definitivo, se realizaron una serie de adaptaciones ya que debe de habilitar la salida de la antena y además hay que hacer visible el interior del contenedor para poder verificar el estado en el que se encuentra el Waspmote mediante los indicadores led que éste incorpora. Se procedió a la instalación de una ventana de sección circular de metacrilato y de un racor de PVC para la salida del cable de la antena que se fija mediante una tuerca en parte interior de la tapa, todos estos detalles se pueden ver en la Figura 4.8.



Figura 4.8: Detalles de las modificaciones hechas en la tapa de cierre del contenedor.

A continuación se muestra en la figura 4.9, cómo quedaría el dispositivo dentro del contenedor, donde se puede apreciar que en la colocación de éste se ha tenido en cuenta dejar el espacio necesario para acoplar el módulo de la antena XBee 868 PRO. Puede comprobarse la correcta visualización del

Wasp mote a través de la ventana instalada en la tapa de cierre del contenedor.

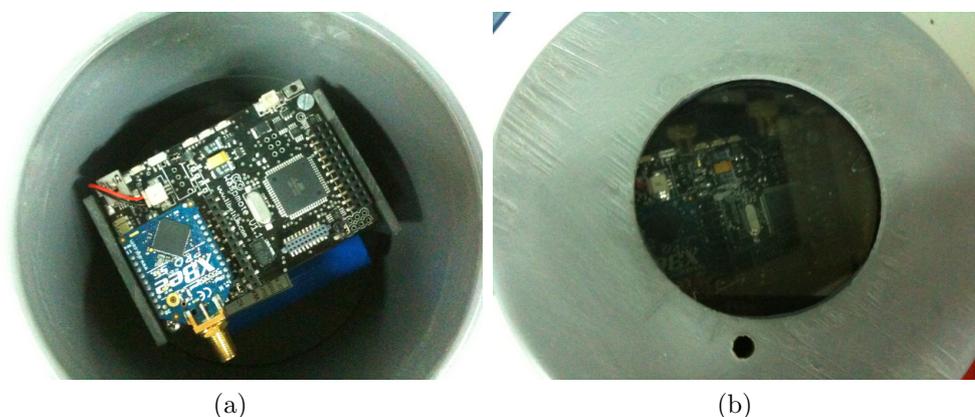


Figura 4.9: En estas dos imágenes vemos como (a) quedaría el Wasp mote dentro del contenedor y la visualización de éste (b) a través de la ventana.

Para este contenedor se instaló una base de PVC donde iría apoyado el dispositivo electrónico, con cuatro centímetros de separación de la parte roscada con la que se ancla al derivador con el fin de mantener la estanqueidad (Figura 4.10) por la parte inferior y teniendo en cuenta que es la parte que estará siempre semi sumergida. Además se le incorporó a esta base de PVC, y con el mismo material, una pestaña de sujeción con la que se asegura que el dispositivo electrónico y la batería no se movieran (Figura 4.11).



Figura 4.10: Detalle del complemento roscado en la parte inferior del contenedor que actúa como sistema de anclaje. Se puede apreciar la separación de la base que mantendrá el contenedor estanco por la parte inferior.

Durante las pruebas de estanqueidad del primer contenedor diseñado se optó por un contenedor de pruebas (Figura 4.12) para los diferentes experimentos de campo realizados. Éste fue diseñado con un mayor tamaño para

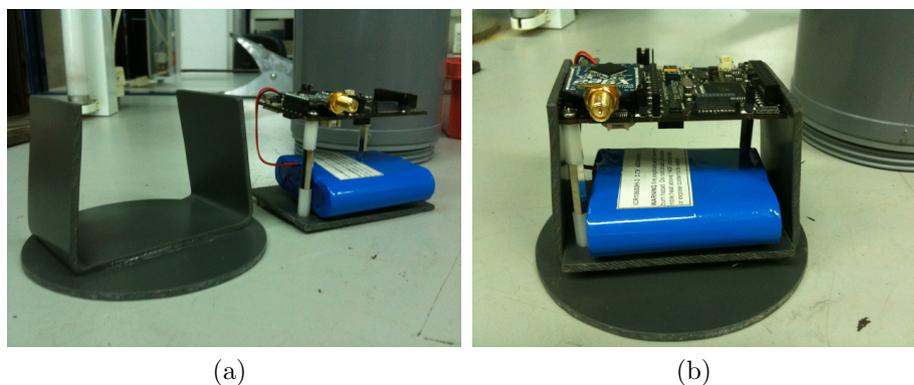


Figura 4.11: (a) Detalles de la base de PVC antes de ser instalada y de la pestaña de sujeción (b) con el dispositivo Waspote instalado.

que el dispositivo electrónico estuviera protegido de las posibles entradas de agua, ya que estaba colocado a su vez en otro contenedor de PVC más pequeño, estando así doblemente encapsulado. Para este diseño no se realizó una apertura en la parte superior para la salida de la antena ni se le instaló una ventana de metacrilato, tampoco se le colocó la base que separaría el dispositivo electrónico de la zona de anclaje al derivador. Cada vez que se utilizó este contenedor de pruebas, se hizo uso de cinta de teflón y cinta americana para minimizar las posibilidades de que el agua entrara en el contenedor durante los diferentes experimentos de campo.

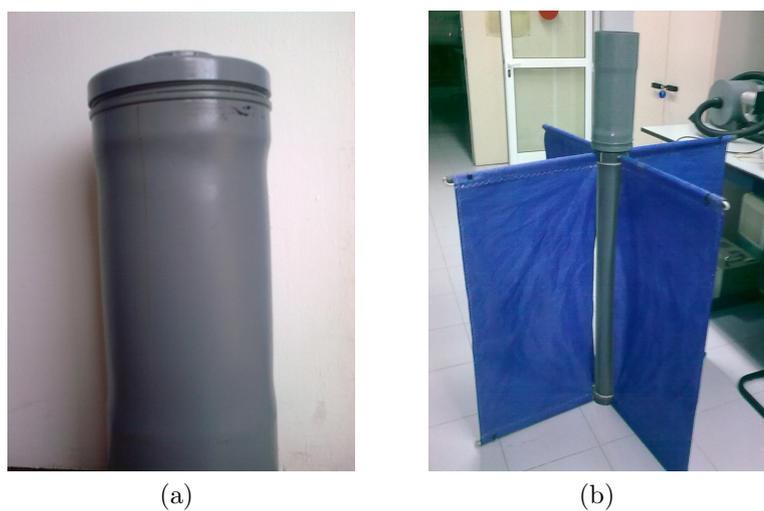


Figura 4.12: (a) Detalles del contenedor utilizado para las pruebas (b) y mostrándolo anclado en el derivador.

4.2. Software

De cara a la implementación de los prototipos y demostradores se ha seleccionado un entorno híbrido que combina aplicaciones y librerías en C y en Matlab. Las primeras son las responsables de la interacción con el derivador, mientras que las segundas se encargan de la interfaz de usuario y el procesamiento.

4.2.1. Interacción con el Waspote

En este proyecto el modo de transferencia de datos y el sistema de ahorro de energía utilizados han sido diseñados en proyectos anteriores en los cuales la configuración de este dispositivo se realizó teniendo en cuenta que formarían parte en el desarrollo de instrumentación marina [19] [15]. Se trata de aplicaciones y librerías en C que garantizan el control del enlace y la adecuada transmisión de los datos.

En el presente proyecto se recurrirá a dichas aplicaciones para resolver la interacción directa con los sistemas embarcados. Este código permite tanto la configuración del módulo microprocesador en la preparación de las misiones como la comunicación en tiempo real durante los muestreos.

4.2.1.1. Librerías

A continuación se describen los recursos software necesarios para la implementación de estos módulos.

Libxbee Esta librería escrita en C se utiliza para la gestión del trasiego de tramas enviadas por ondas de radio mediante las antenas Xbee. Ésta incluye funciones tanto para enviar como para recibir datos y permite el seguimiento de las estructuras de las tramas a manipular. Se ha utilizado esta librería como capa de abstracción de alto nivel para capturar los paquetes enviados desde el Waspote.

SQLite Esta librería permite utilizar sentencias SQL desde el lenguaje de programación C. No se conecta a una base de datos externa, crea la suya propia y trabaja sobre ella.

Otras librerías La programación del dispositivo Waspote se llevó a cabo utilizando un conjunto de librerías de código abierto que ©Libelium ofrece, éstas permiten la configuración y utilización de los diferentes sensores del dispositivo.

4.2.2. Matlab

©Matlab es un software de cálculo técnico de altas prestaciones para cálculo numérico y visualización. Es un entorno fácil de usar, donde los problemas y las soluciones son expresados de una manera más próxima a su formulación matemática en comparación con otros lenguajes de programación tradicionales.

El nombre proviene de “MATrix LABoratory” (Laboratorio de Matrices). Fue escrito originalmente para proporcionar un acceso sencillo al software matricial desarrollado por los proyectos LINPACK y EISPACK, que representaban en su día lo más avanzado en programas de cálculo matricial.

Matlab es un sistema basado en un lenguaje interpretado cuyo elemento básico de datos es una matriz que no requiere dimensionamiento. Esto permite desarrollar prototipos para resolver muchos problemas numéricos de forma más rápida que con los lenguajes de programación tradicionales, como C, C++ y Fortran.

En los últimos años Matlab ha evolucionado a partir de la colaboración de muchos usuarios. En entornos universitarios se ha convertido en la herramienta de enseñanza estándar para cursos de introducción en álgebra lineal aplicada, así como cursos avanzados en otras áreas. En la industria, se utiliza para investigación y para resolver problemas prácticos de ingeniería y matemáticas, con un gran énfasis en aplicaciones de control y procesamiento de señales.

Matlab también proporciona una serie de soluciones específicas denominadas *toolboxes*, que no son más que conjuntos de funciones que extienden el entorno para resolver clases particulares de problemas.

Todas estas características han impulsado la elección de Matlab y su lenguaje de programación (lenguaje M) en la implementación del proyecto.

4.2.2.1. Acerca de GUIDE

Las interfaces gráficas de usuario, GUI, es la forma en la que el usuario interactúa con el programa o el sistema operativo de un PC. Una GUI contiene diferentes elementos gráficos tales como: botones, campos de texto, menús, gráficos, etc.

Existen diferentes lenguajes de programación que permiten crear una GUI; como podrían ser el lenguaje C, Visual Basic, TK, etc. por mencionar algunos. Todos ellos permiten utilizar los diferentes controles y maneras de programarlos. Matlab nos permite la creación de GUIs de una manera sencilla e intuitiva utilizando GUIDE².

²Graphical User Interface Development Environment

Una interfaz gráfica de usuario en Matlab está constituida por dos archivos:

- Un archivo FIG; que contiene la descripción de los componentes que contiene la interfaz.
- Un archivo M; que contiene las funciones y los controles del GUI así como los callbacks.

Un callback se define como la acción que llevará a cabo un objeto de la GUI cuando el usuario lo active.

4.2.2.2. API de Google Maps

Google ofrece una API ³ para su famosa aplicación Maps, que nos permite incorporar mapas a las distintas interfaces que se desarrollan en este trabajo con Matlab. Esta API nos proporciona diversas utilidades para manipular mapas añadiéndoles contenidos.

La utilización de esta API será útil para registrar el movimiento de los derivadores, pudiendo representar sus trayectorias a medida que se van desplazando por el área de muestreo. Con ello será posible que el usuario tenga una realimentación visual de la evolución de la misión en tiempo de ejecución. También será de gran utilidad para presentar los resultados de los estudios realizados a partir de los datos muestreados.

4.2.3. Integración del software

Para la comunicación de las aplicaciones en C y en Matlab están disponibles dos mecanismos: una base de datos compartida y un enlace vía sockets. Se han desarrollado prototipos para probar ambas alternativas.

4.3. Procesamiento de los datos

Se han desarrollado una serie de funciones en Matlab para permitir el procesamiento de los datos de las misiones. Las características del entorno han facilitado enormemente esta parte del trabajo, puesto que existen numerosos recursos útiles disponibles en diferentes toolboxes.

El cómputo de estos resultados no puede realizarse directamente a partir de los datos en bruto, bien sea por lo ruidoso de las medidas, o por la necesidad de realizar transformaciones en los mismos.

³Application Programming Interface

4.3.1. Sistema de referencia

Teniendo en cuenta la utilización de un dispositivo Wasmote para este trabajo, el Datum o sistema de referencia, con el que se realizará la transformación de coordenadas geográficas a coordenadas UTM ⁴, es el WGS84 ⁵ por ser el sistema de referencia utilizado por la tecnología GPS, que es la que integra dicho dispositivo.

Un sistema de coordenadas geográficas es un sistema de referencia que utiliza las coordenadas angulares, Latitud (Norte y Sur) y Longitud (Este y Oeste) y se suelen expresar en grados sexagesimales. Para la descripción del movimiento de los derivadores, se toma un sistema de referencia geodésico expresado en grados, minutos y segundos. El dispositivo Wasmote utilizado integra un receptor GPS que nos proporciona estos datos.

Por una cuestión de practicidad, proyectamos este sistema de coordenadas geodésicas a un sistema de coordenadas cartesiano (pasar de un modelo 3D a uno 2D) llamados sistema de proyección UTM, que se expresan en metros que facilita los cálculos de distancia y superficie (Fig.4.13).

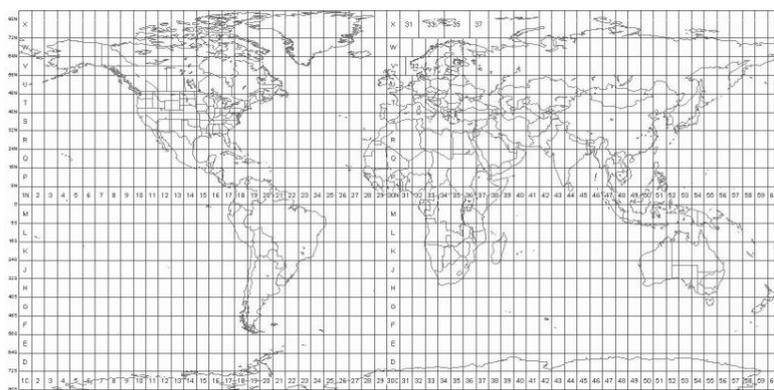


Figura 4.13: Localización de las zonas UTM [7].

Para este trabajo se ha optado por una proyección cilíndrica transversa de Gauss, más concretamente por la proyección transversa de Mercator, ya que constituye la base para el sistema UTM.

La designación UTM con resolución de un metro es la indicada debido a que las áreas de estudio son relativamente pequeñas, con lo que la coordenadas X (Easting) e Y (Northing) deben de tener 6 y 7 dígitos respectivamente.

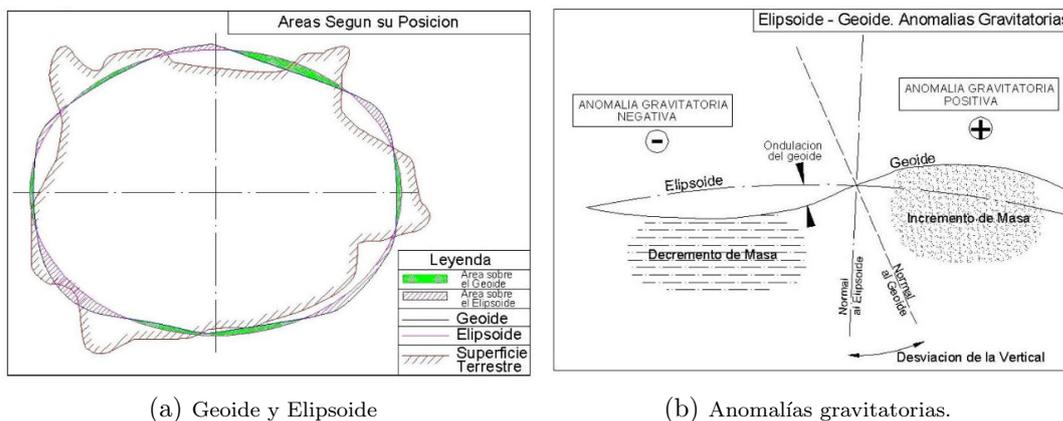
El empleo de técnicas de posicionamiento a partir de la constelación GPS hizo que necesariamente se creara un Datum con cobertura en toda la super-

⁴Universal Transverse Merator

⁵World Geodetic System 1984

ficie terrestre, para ello fue creado el WGS, con la definición de un primer sistema denominado WGS74, que fue revisado y modificado, estando actualmente vigente y en uso el sistema WGS84.

El geoide es la superficie teórica de la tierra que une los puntos con igual gravedad y sin tener en cuenta las perturbaciones exteriores; las ocasionadas por la atracción lunar (mareas) y las interacciones con el sistema solar. Dicha superficie no es uniforme, presentando una serie de irregularidades causadas por la composición mineral de la tierra y sus distintas densidades, esto implica que para cada punto de la superficie terrestre exista una distancia distinta desde el centro de la tierra al punto del geoide. El elipsoide es un elemento de representación de la forma terrestre como resultado de revolucionar una elipse sobre su eje (Fig.4.14 a).



(a) Geoide y Elipsoide

(b) Anomalías gravitatorias.

Figura 4.14: Representación gráfica del Geoide y Elipsoide [7].

La desigualdad en la distribución de la gravedad superficial, y la localización de las perturbaciones, hace que existan zonas de la tierra por encima del geoide y por debajo de éste (Fig.4.14 b). Estas diferencias gravitatorias son causadas por la composición terrestre y por la presencia de una gran masa de agua en los océanos que causa una menor atracción, y esto hace que, generalmente, el geoide quede por encima del elipsoide en la zona continental y por debajo en la zona oceánica.

Para este trabajo la transformación de las coordenadas de geográficas a UTM se realiza utilizando las fórmulas de Cotichia-Surace [3] y teniendo en cuenta los parámetros del elipsoide de referencia WGS84. Se han combinado los recursos existentes en Matlab para realizar estas transformaciones con algunas funciones propias. En los anexos pueden encontrarse los detalles relativos a estos cálculos.

4.3.2. Estimación de las corrientes y dispersión

Se han programado funciones para la estimación de las corrientes a partir de los datos de los derivadores. Una vez transformados a coordenadas métricas, la mayoría de los cálculos son fácilmente implementables con Matlab. Particularmente, la caracterización estadística de las corrientes en módulo y dirección o la obtención de los parámetros de dispersión puede condensarse en muy pocas líneas de código.

Para la estimación de los mapas de corrientes se ha hecho uso de las funciones de interpolación que incorpora Matlab para trabajar con datos dispersos. De esta forma es posible generar una matriz bidimensional de valores a partir de las trayectorias registradas para cada derivador.

En el caso de la dispersión los cálculos se realizarán teniendo en cuenta la fórmula propuesta en la Orden del 19 de Julio de 1989 [2], la cual se nutre expresamente de datos generados por observaciones con derivadores.

En los anexos se incluyen más detalles sobre los cálculos realizados.

4.4. Demostrador Matlab

El software desarrollado como demostrador para este proyecto consta de tres módulos y tres bases de datos. Los módulos implementados son los de gestión de estudios, gestión de misiones y el simulador. Las bases de datos contienen la información relativa a la flota de derivadores, los tipos de estudios habituales y las áreas geográficas en que se desarrollan.

Al tratarse de una herramienta de apoyo el software se ha diseñado como un asistente. El usuario recibe avisos y sugerencias que intentan facilitar sus tareas, pero no se obliga a seguir un protocolo estricto.

Este prototipo pretende simplemente ilustrar algunas de las capacidades diseñadas para el software, por lo que no presenta una funcionalidad completa. Sin embargo, su estructura modular permite ir incorporando nuevos elementos de una forma clara y ordenada.

4.4.1. Bases de datos

A continuación se exponen las bases de datos utilizadas para el demostrador.

4.4.1.1. Derivadores

La base de datos de derivadores almacena las características de los diferentes tipos de derivadores que están disponibles para la ejecución de las

misiones. Para cada uno de ellos se incluye información relativa a los siguientes parámetros:

Identificador Identificador único de derivador.

Descripción Texto descriptivo.

Autonomía Duración estimada de la batería.

Dirección Dirección MAC de red.

Rango de frecuencias Frecuencias máximas de muestreo disponibles.

Sensores Sensores embarcados.

4.4.1.2. Áreas geográficas

La base de tipos de áreas geográficas contiene las características de las distintas regiones en las que se realizan los estudios. Los campos que describen cada área son los que siguen:

Identificador Identificador único de área.

Descripción Texto descriptivo.

Límites Extensión del área.

Mareas Regímenes mareales.

Vientos Regímenes de vientos predominantes.

4.4.1.3. Tipos de estudios

Por último, la base de datos para las tipologías de estudios contiene los detalles relevantes para la realización de los diferentes tipos de estudios genéricos. Aquí se incluyen los siguientes aspectos:

Identificador Identificador único de tipo de estudio.

Descripción Texto descriptivo.

Regímenes mareales Regímenes mareales que deben ser muestreados.

Regímenes de vientos Regímenes de vientos predominantes que deben ser muestreados.

Misiones Número mínimo de misiones recomendadas para la realización del estudio.

4.4.2. Gestión de estudios

El módulo Gestión de Estudios es el encargado de la gestión a nivel de estudios costeros. Consta de dos aplicaciones: la principal y la de procesamiento. La aplicación principal, una de cuyas interfaces se muestra en la figura 4.15, permite crear un nuevo estudio o bien acceder a uno ya existente.

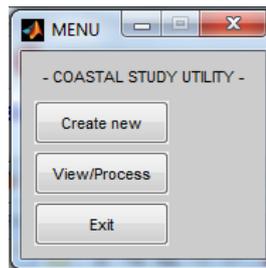


Figura 4.15: Interfaz principal para la gestión de estudios.

La aplicación de procesamiento permite consultar el estado actual de un estudio determinado y las misiones que la integran. Es posible ir incluyendo comentarios a lo largo del desarrollo del mismo y, en su caso, procesar los resultados obtenidos. Un ejemplo de su interfaz se muestra en la figura 4.16.

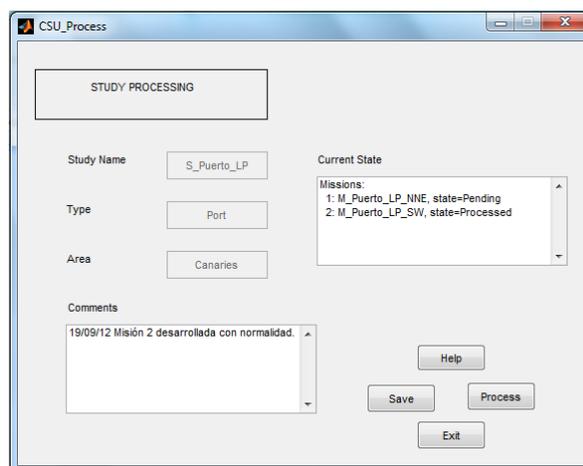


Figura 4.16: Interfaz de procesamiento para la gestión de estudios.

4.4.3. Gestión de misiones

El módulo Gestión de Misiones es el encargado de la gestión a nivel de misiones de la instrumentación. El módulo está integrado por una aplicación principal y aplicaciones para la configuración, ejecución y procesamiento de la misión. La interfaz principal (Fig.4.17) permite acceder a las diferentes aplicaciones secundarias.

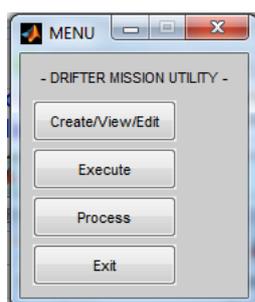


Figura 4.17: Interfaz principal para la gestión de misiones.

La aplicación de configuración de misiones (ver ejemplo de interfaz en Fig. 4.18) permite tanto configurar una misión como consultar el estado de la misma. Se contemplan tres posibles estados para una misión: pendiente, ejecutada y procesada. Las opciones de configuración estarán habilitadas hasta que la misión se ejecute.

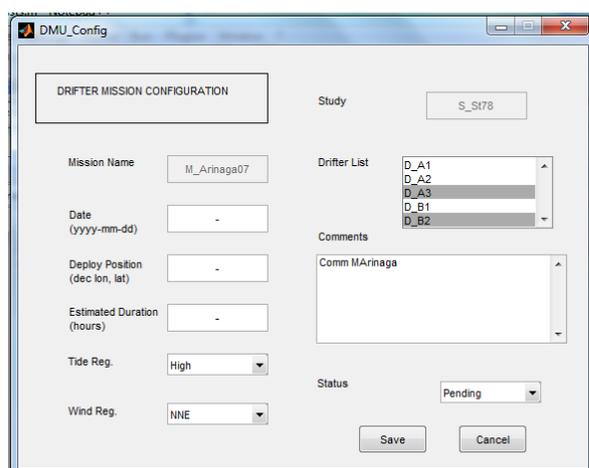


Figura 4.18: Interfaz de configuración de misiones.

Desde la interfaz de configuración de misiones es posible definir la lista de

derivadores que se van a desplegar en la misión, así como la fecha estimada de ejecución y la posición prevista para el lanzamiento y la duración. Igualmente pueden irse incorporando comentarios a lo largo de la vida de la misión.

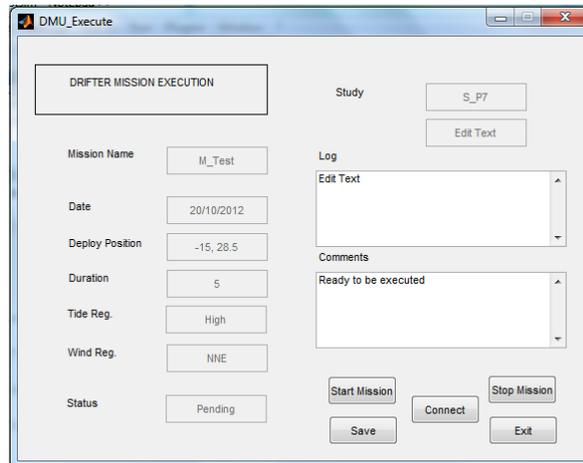


Figura 4.19: Interfaz de ejecución de misiones.

La aplicación de ejecución permite asistir al usuario durante las diferentes fases de ejecución de las misiones. A partir de su interfaz (Fig. 4.19) es posible solicitar la conexión, bien sea a los derivadores reales o al simulador, iniciar y finalizar la misión.

Una ventana muestra los mensajes recibidos y las comprobaciones realizadas por la aplicación. Por ejemplo, los datos de configuración son comparados con los datos recibidos para verificar diferentes aspectos tales como si las comunicaciones están funcionando correctamente o el punto de lanzamiento es el esperado.

Tras un ciclo de ejecución exitoso habrán quedado actualizados los datos correspondientes al inicio y duración de la misión, así como la posición real de lanzamiento.

Finalmente, la aplicación de procesamiento de misiones permite completar el ciclo de vida de las misiones y obtener resultados útiles para la realización de los informes en los estudios. Desde su interfaz (Fig. 4.20) es posible gestionar la recuperación de datos de los derivadores y solicitar la aplicación de los diferentes tipos de procesamiento disponibles.

4.4.4. Simulador

El módulo Simulador es el encargado de implementar el simulador desarrollado para permitir la evaluación del software sin necesidad de estar eje-

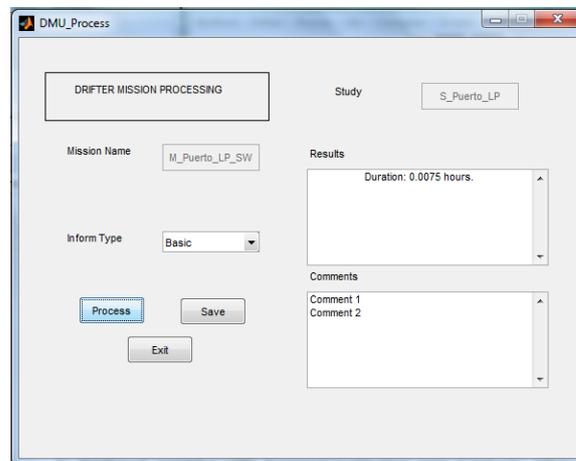


Figura 4.20: Interfaz de procesamiento de misiones.

cutando una misión real. Su interfaz, mostrada en la figura 4.21, permite simular errores en las comunicaciones por parte de los drifter incluidos en la misión. Es posible configurar el periodo de envío de la información y el fichero desde el que se recogen los datos. Todos los mensajes enviados se reflejan en un campo de registro.

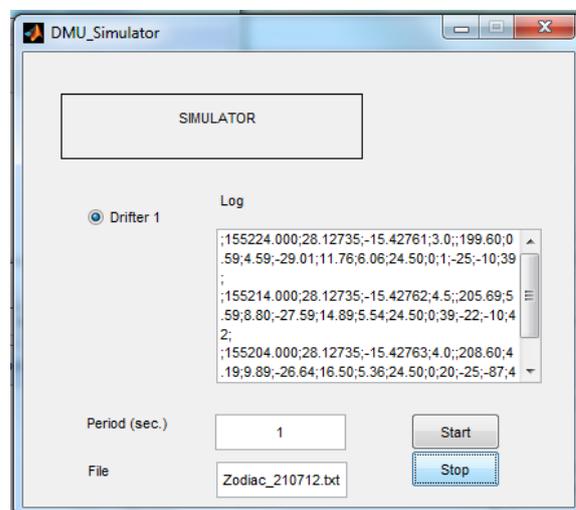


Figura 4.21: Interfaz del simulador.

Capítulo 5

Experimentos

En este capítulo se describirán los distintos experimentos realizados de algunos de los subsistemas de los que se compone el dispositivo derivador.

5.1. Pruebas de estanqueidad

En el transcurso de la realización y fabricación del contenedor que debe de alojar el dispositivo electrónico se realizaron una serie de pruebas de estanqueidad a medida que se iban incorporando los distintos elementos al contenedor para así asegurar que cada uno de éstos cumple la función de aislar el dispositivo electrónico del agua.

Todas estas pruebas se ejecutaron sumergiendo el contenedor completamente en agua, llevándolo así al peor y más extremos de los casos, ya que el contenedor durante una campaña real realizada en el mar, realmente no estará sumergido del todo. Por la parte donde se realiza el anclaje del contenedor al derivador, estaría semisumergida y la parte superior solo le afectarían las salpicaduras del agua.

En primer lugar se comenzó con la realización del contenedor definitivo, después de incorporarle la base donde iría apoyado el dispositivo electrónico, tal y como se mostró en las figuras 4.10 y 4.11, se realizaron las pruebas de estanqueidad cerrando el contenedor por ambos lados.

5.1.1. Estanqueidad del contenedor

En esta primera prueba se quiso comprobar que por la parte inferior del contenedor no entraba agua. Para esto se procedió a sumergir en agua durante treinta minutos incorporando al contenedor tanto la tapa roscada que actúa como sistema de anclaje al mástil del derivador como una tapa roscada de

cierre por la parte superior asegurada con teflón y juntas tóricas.

También se realizó una segunda prueba para este mismo elemento incorporado, donde se relleno el interior del contenedor con agua para dejarlo durante unos días. Estas dos primeras pruebas concluyeron de manera exitosa porque no hubo transferencia de agua en ninguna de las dos direcciones.

5.1.2. Estanqueidad de contenedor modificado

Se realizaron pruebas de estanquidad cuando se instaló el metraquilato (Figura 4.8) para probar que éste se encontraba perfectamente sellado sumergiéndolo en agua durante treinta minutos y asegurándolo con juntas tóricas y teflón, donde se observó que no había entrada alguna de agua en el contenedor.

Una vez instalado el racor de PVC fijado con una tuerca en la parte interior del contenedor, y asegurando el cierre de rosca de la misma manera que en las pruebas anteriores, se instaló una manguera de PVC transparente en la salida del racor, sujeta a éste mediante una serie de abrazaderas. Sumergiéndolo durante treinta minutos, se pudo apreciar que el agua se introducía a través del racor de PVC debido a que el apoyo de éste contra la tapa no era uniforme, con lo que se optó por instalarle una junta tórica plana por la parte exterior, entre el racor y la tapa.

Después de esta última modificación, se volvió a hacer las pruebas, repitiendo los mismos pasos descritos anteriormente, pero aún así la entrada de agua no se solventó. Después de esta última prueba y desalojando la junta tórica plana instalada, se hizo uso de una masilla adhesiva monocomponente a base de poliuretano como sustitutivo de la junta y se volvieron a repetir las pruebas en las mismas condiciones. Se dedujo que este nuevo elemento incorporado a la tapa ya cumplía con las condiciones de estanquidad deseadas.

Una vez comprobada la estanquidad después de la incorporación de los nuevos elementos a la tapa de cierre, se comenzaron a realizar pruebas para comprobar que la tapa de cierre roscada, y sin presencia de ningún elemento de apoyo para asegurar su estanqueidad, como por ejemplo el teflón, no era un elemento seguro para encerrar el dispositivo electrónico.

5.1.3. Diseño mejorado

La decisión a la que se llegó después de las diferentes pruebas, fue la modificación del sistema de cierre del contenedor, que después de la experiencia adquirida se diseñó incorporando un sistema más seguro, si bien no fue posible completar su fabricación a tiempo para incluirla en este proyecto.

Este nuevo sistema prescinde de la tapa roscada para el cierre sustituyéndola por una tapa que se cerraría a presión, con una serie de juntas tóricas. Esta posible modificación se puede apreciar en la figura 5.1, y donde además se pueden observar los distintos elementos incorporados a éste.

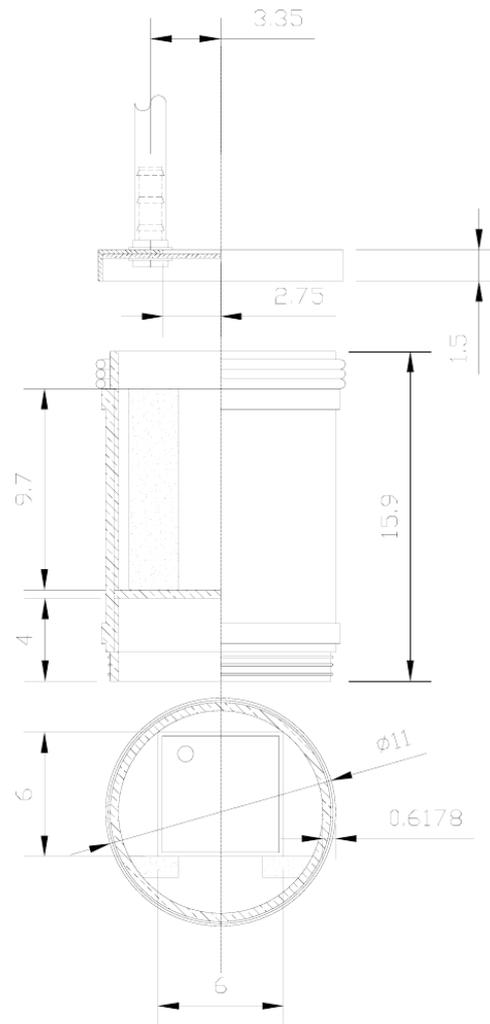


Figura 5.1: Diseño de un contenedor para el dispositivo electrónico incorporándole una tapa de cierre a presión.

En un intento por mejorar el encapsulado del dispositivo electrónico en el contenedor, se incorporaría en el contenedor unos raíles donde se insertaría un recipiente de metraquilato para alojar el dispositivo (Figura 5.2) y así asegurar más aún la estanqueidad de éste. Para esto habría que fabricar un contenedor que no tenga la pestaña de sujeción comentada anteriormente

(figura 4.11a) , sino un recipiente de metraquilato a medida para introducir el dispositivo y los raíles actuaría como elemento de sujeción. Además este recipiente deberá de tener una salida para la antena.

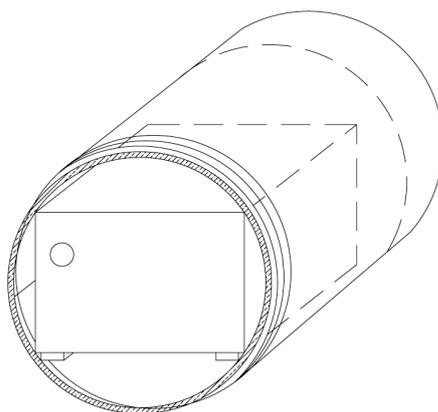


Figura 5.2: Perspectiva del contenedor.

5.2. Pruebas de GPS

La realización de pruebas para la recepción de los datos del GPS se realizaron fuera y dentro del entorno marítimo, ya que con este tipo de pruebas se intentó demostrar que el sistema Wasmote recibía correctamente los datos de posicionamiento.

En primer lugar se realizó una prueba de recepción de datos instalando el dispositivo en una embarcación (Figura 5.3) durante dos horas y almacenando datos de GPS cada diez segundos. Durante la prueba se mantuvieron activos además del módulo GPS y los distintos sensores embarcados pero sin tener activo el módulo XBee.

En otra ocasión, y fuera del entorno marítimo, se realizaron pruebas de recepción de datos del GPS, en ambos casos se concluyeron las pruebas con éxito, ya que el módulo GPS funciona a la perfección, conecta con la constelación de satélites y recibe los paquetes de datos correctamente.



Figura 5.3: Embarcación para las pruebas de GPS y comunicación.

5.3. Pruebas de comunicación

Se realizaron pruebas de comunicación utilizando el módulo XBee, y al igual que con el módulo GPS, éstas se realizaron dentro y fuera de un entorno marítimo.

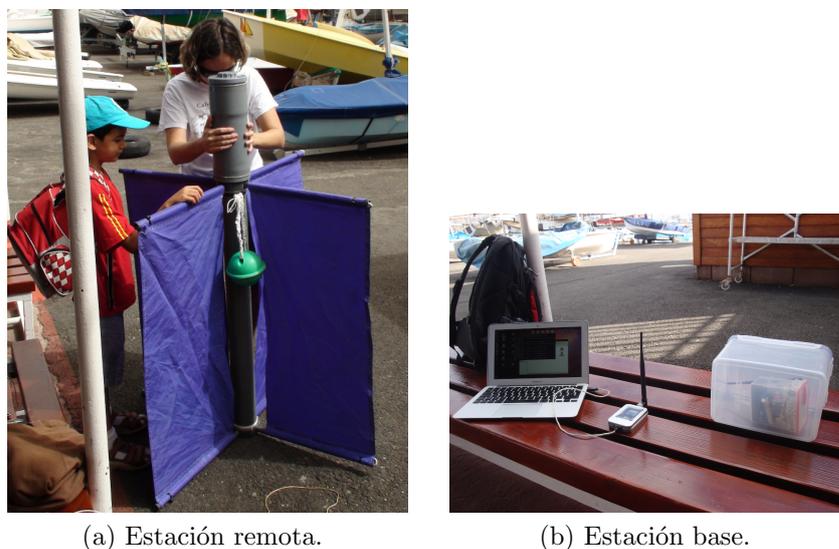
5.3.1. Pruebas en tierra

Primeramente se realizó una prueba en tierra para observar la respuesta en la recepción de datos ante obstáculos. Ésta se ejecutó instalando el dispositivo en el contenedor de pruebas mostrado en la figura 4.12a con el fin de homogeneizar los distintos experimentos utilizando los mismos elementos, ya que con este contenedor se realizarían todas las pruebas en un entorno marítimo.

Las pruebas se realizaron mientras la estación base se encontraba dentro de un edificio y llevando el dispositivo Waspote hacia el exterior de éste. Debido al éxito de esta prueba se concluyó que la presencia de obstáculos no evitaba en ningún momento la recepción de los datos en la estación base.

5.3.2. Pruebas en el mar

Las pruebas realizadas en un entorno real utilizaron el derivador con el dispositivo instalado en el contenedor de pruebas (Figura 5.4a). En este tipo de pruebas se comenzaba energizando todo el sistema para comprobar que el dispositivo funcionaba correctamente en cuanto a la recepción de los datos



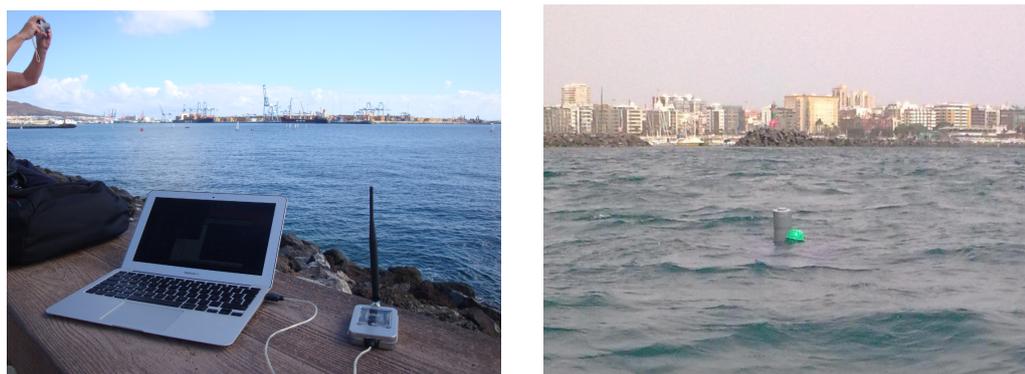
(a) Estación remota.

(b) Estación base.

Figura 5.4: Preparación y puesta en marcha de los distintos elementos del sistema.

(Figura 5.4b), tanto del módulo GPS como del módulo XBee, y todo esto antes de ubicar el Wasp mote en el interior del contenedor habilitado para las pruebas.

En todos los experimentos realizados en campo se pudo comprobar que el módulo XBee funcionaba según lo esperado, no obstante, no se descartarían una serie de mejoras en la antena para multiplicar sus propiedades y evitar los cortes en las emisiones de los datos a la estación base.



(a) Detalle de la estación base compuesta por el PC y el Gateway.

(b) Vista del derivador en el mar con el contenedor de pruebas anclado a éste.

Figura 5.5: Detalles de la estación base y derivador en un contexto online.

5.4. Pruebas duración baterías

Durante la realización de las distintas pruebas en las que formaba parte el dispositivo Waspnote, fue posible monitorizar el consumo de las baterías por parte de éste. Se pudo observar en los archivos generados por el dispositivo la medida del nivel de batería presentaba bastante ruido, pero aún así la tendencia del consumo es la esperada. Aquí se muestra una gráfica (Figura 5.6) realizada a partir de los datos de una de las pruebas realizadas.

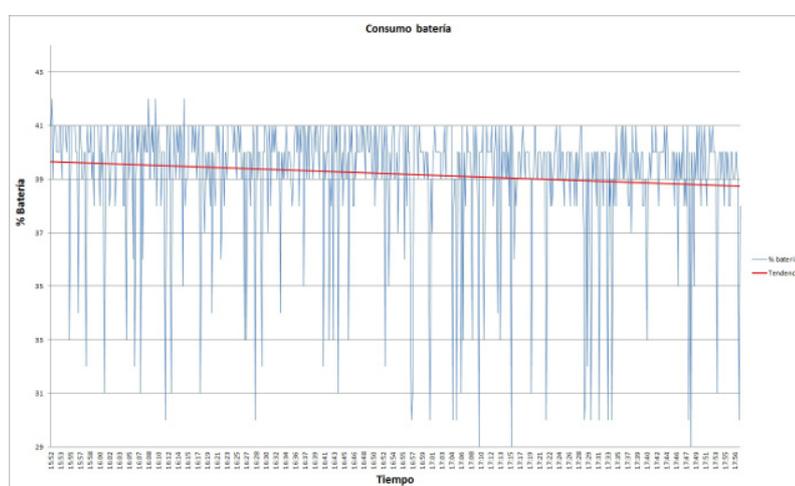


Figura 5.6: Representación del consumo de batería.

5.5. Pruebas del demostrador

Se han llevado a cabo diferentes prueba funcionales para cada uno de los módulos que integran el demostrador desarrollado en este proyecto. Como resumen de las mismas, se incluye a continuación un ejemplo de uso que abarca diferentes etapas del ciclo de vida de un determinado estudio. El objetivo es realizar una simple ilustración de las capacidades que se han implementado, por lo que la información y resultados que se muestran son meramente orientativos.

Todo el proceso comienza cuando un cliente encarga la realización de un estudio específico en una zona determinada. En este ejemplo supondremos que se trata de un análisis de corrientes en la zona del puerto de Las Palmas de Gran Canaria.

5.5.1. Creación del estudio

El primer paso será acceder al menú principal (Figura 5.7a) para proceder a la creación de un nuevo estudio. Se solicitará la introducción de nombre (Figura 5.7b) y se comprobará que es un nombre válido.

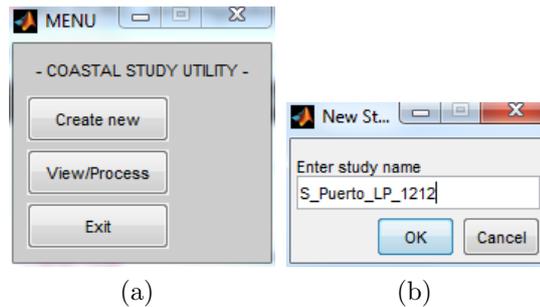


Figura 5.7: Inicio (a) y asignación del nombre (b) del estudio.

A continuación se ofrecerá la posibilidad de seleccionar el tipo genérico de estudio al que pertenece el encargo (Figura 5.8a) y el área geográfica en el que se va a desarrollar (Figura 5.8b). Como ya se ha indicado anteriormente, siempre existe la opción de no realizar ninguna vinculación específica en el caso en que no se considere adecuado.

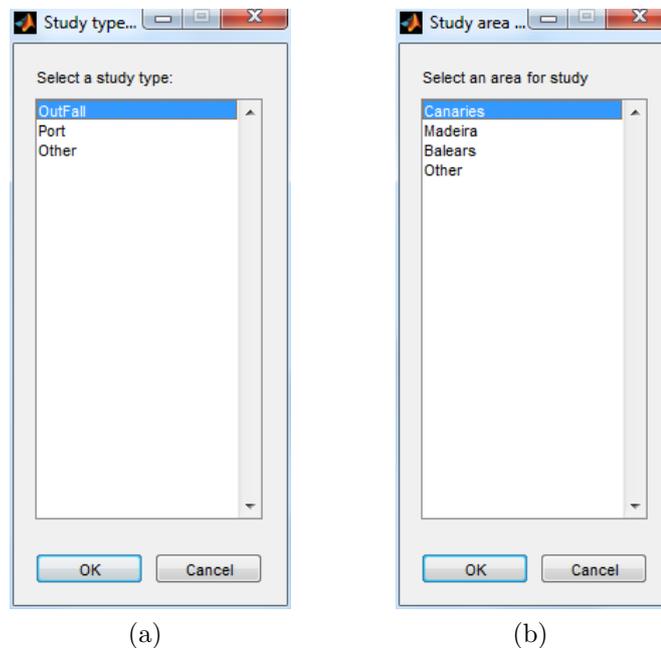


Figura 5.8: Selección del (a) tipo y (b) área de estudio .

Por último es posible incluir comentarios relativos al estudio por medio de una ventana de edición (Figura 5.9). La figura 5.10 muestra el estado del proyecto tras los pasos indicados anteriormente. A posteriori se podrá consultar y modificar la información introducida accediendo través de la opción de Visualización/Edición del menú principal.

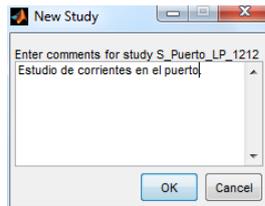


Figura 5.9: Comentarios sobre el estudio.

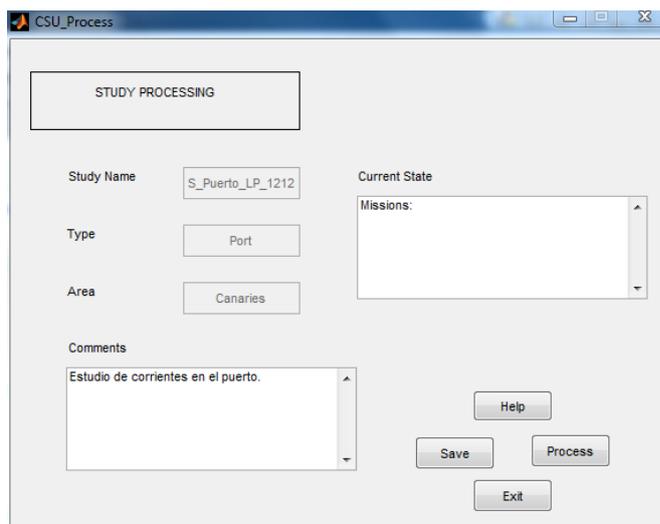


Figura 5.10: Estado del estudio a realizar.

5.5.2. Creación de misiones

Una vez definido el estudio, deberán introducirse las misiones necesarias para completar el mismo. Si se ha asignado un tipo genérico de estudio, la opción de ayuda servirá de guía en este proceso. Partiendo del menú principal de misiones (Figura 5.11a) se accederá a la opción de crear una misión nueva (Figura 5.11b), para lo que se solicitará la introducción de un nombre válido de misión (Figura 5.11c).

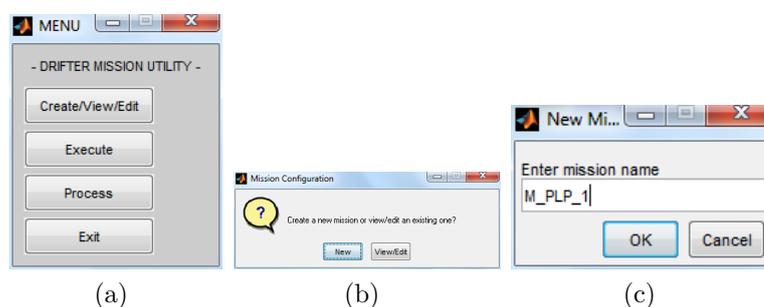


Figura 5.11: Inicio (a), creación (b) y elección del nombre (c) para la nueva misión.

A continuación deberá seleccionarse el estudio para el cual se está definiendo la misión (Figura 5.12), tras lo cual se accederá a la interfaz de configuración de misiones (Figura 5.13) para la introducción de los datos correspondientes. Se deberá especificar entonces la configuración de derivadores que se van a utilizar en la misión, seleccionándolos de la lista de dispositivos disponibles. Aunque no es obligatorio, deberían señalarse además datos como la fecha estimada de realización, la posición aproximada de lanzamiento y la duración prevista, así como el régimen mareal y de vientos, en su caso.

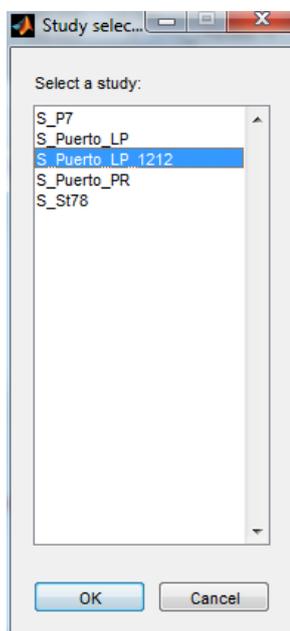


Figura 5.12: Asignar la misión a un estudio creado.

La operación anterior deberá repetirse hasta completar la introducción de todas las misiones previstas para el estudio (Figuras 5.14a y 5.14b), y que

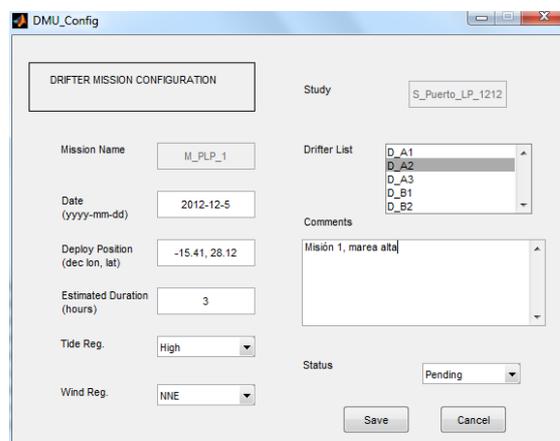
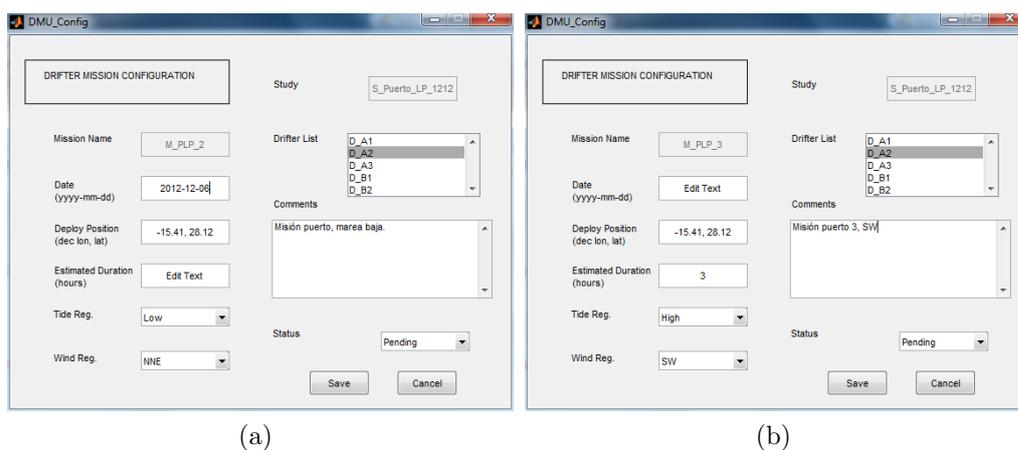


Figura 5.13: Configuración de la misión.

posiblemente variarán en los regímenes y fechas de realización.



(a)

(b)

Figura 5.14: Creación de las misiones provistas según regímenes de marea (a) o de vientos (b).

En cualquier momento podrá actualizarse la configuración de las misiones accediendo a través de la opción de Visualización/Edición del menú de misiones. También es posible ver el estado del estudio al que pertenecen y en el que se irán reflejando los cambios introducidos (Figura 5.15).

5.5.3. Ejecución de las misiones

Llegado el momento, se podrá proceder a la ejecución de las misiones previamente configuradas. Para ello se accederá a través del menú a la interfaz

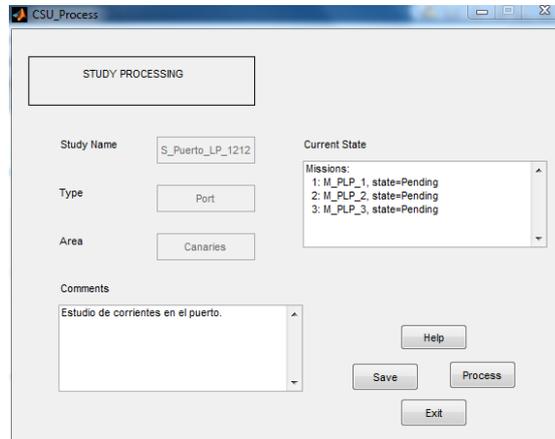


Figura 5.15: Visualización del estado de las misiones de un estudio.

de ejecución de misiones (Figura 5.16).

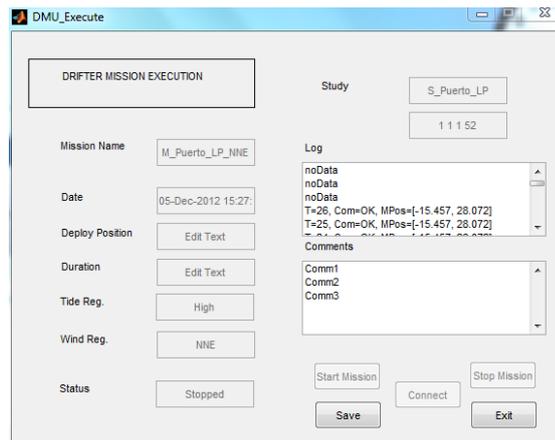


Figura 5.16: Ejecución de las misiones previstas.

El primer paso será solicitar la conexión con los dispositivos derivados. Esto se traducirá en la apertura de un canal de comunicación con las aplicaciones de enlace con los motes, en el caso de una misión real, o con el simulador, en un caso simulado. Asimismo se lanzará una ventana con el mapa de la zona donde se va a desarrollar la misión.

A efectos ilustrativos, se muestra a continuación un ejemplo de simulación a partir de los datos recogidos durante una de las pruebas de GPS que se realizaron en el Campus de Tafira, y que representa un muestreo hipotético realizado con tres derivadores. El simulador (Figura 5.17) permite la introducción del periodo de funcionamiento y la activación/desactivación del envío de datos de cada derivador.

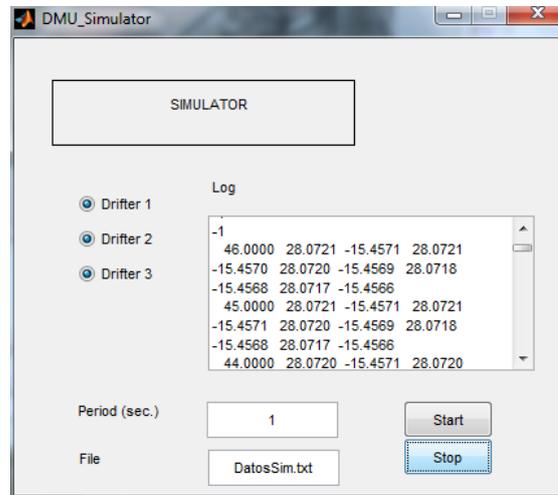


Figura 5.17: Simulación del contexto online.

Una vez activado el simulador, los datos se irán recibiendo en la interfaz de ejecución de la misión, donde se comprueba la compatibilidad de las comunicaciones con la configuración de derivadores esperada y de la posición actual con la posición prevista de lanzamiento. Los datos de las posiciones se van reflejando asimismo en el mapa mediante una trayectoria de puntos (Figura 5.18). Cuando se considere oportuno, podrá activarse el inicio de la misión, que quedará registrado en los datos almacenados y se reflejará igualmente en la ventana del mapa mediante cambios de color en los datos representados.

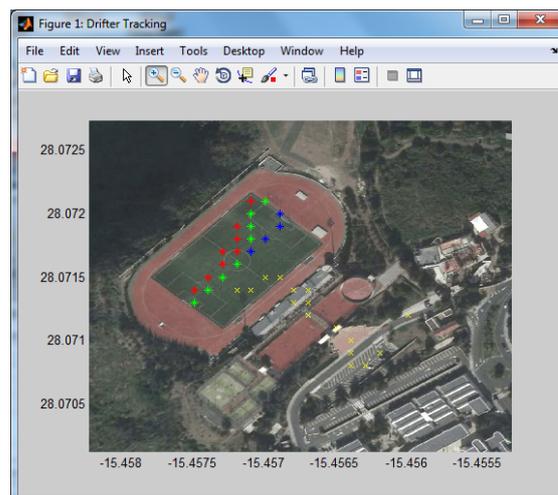


Figura 5.18: Representación de datos de trayectoria sobre el mapa en un contexto online.

5.5.4. Procesamiento de los datos

Finalmente, una vez ejecutadas las misiones podrá solicitarse el procesamiento de los datos recopilados con vistas a la realización de los informes pertinentes. Para el caso de este demostrador, lo que se hace realmente es una llamada para el procesamiento de los datos de cada misión y una presentación conjunta de los resultados.

La interfaz de procesamiento de las misiones (Figura 5.19a) detecta en primer lugar si los datos han sido descargados o no de los derivadores y, en caso de que no sea así, solicita al usuario la carga de los ficheros correspondientes. A continuación se podrán lanzar los diferentes tipos de procesamientos disponibles en función del informe a generar.

En este demostrador se ha implementado un nivel básico de análisis estadístico de las corrientes estimadas y una generación de campos mediante interpolación (Figura 5.19b).

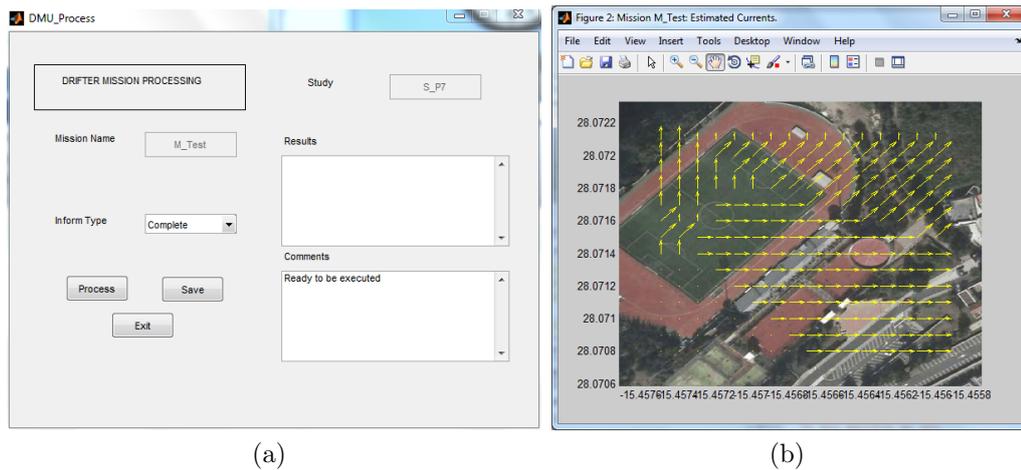


Figura 5.19: Procesamiento y ejemplo de representación de resultados de la misión en un contexto offline.

Capítulo 6

Conclusiones y líneas futuras

Este último Capítulo pretende presentar de forma breve los puntos fundamentales del trabajo desarrollado, exponer las principales conclusiones obtenidas y discutir las líneas de investigación que quedan abiertas.

6.1. Conclusiones sobre la herramienta y su implementación

Con este trabajo se ha pretendido resolver un problema real en la toma de datos oceanográficos. El problema planteado resume la necesidad de mejorar la calidad de un tipo de instrumentación muy utilizada por empresas e investigadores en general, intentando maximizar la funcionalidad de ésta.

- En lo que respecta al tipo de configuración elegida para la fabricación del derivador, ha sido acertada debido a su fácil construcción con elementos de bajo coste y muy fáciles de conseguir. Además, el derivador elegido cumple con los requisitos de portabilidad y manejo deseados. Aportando el esquema del diseño del derivador, se da opción a la futura fabricación de más unidades sensoras garantizando su funcionalidad.
- Teniendo en cuenta la información recogida sobre empresas y/o instituciones que utilizan este tipo de derivador como unidad sensora para la recogida de datos, éste cumple totalmente los requisitos que se piden para estudios de las características expuestas en este trabajo.
- En cuanto al contenedor que debiera de alojar el dispositivo electrónico, se ha propuesto en este trabajo un diseño que cumple los requisitos de estanqueidad.

- Haciendo referencia al dispositivo electrónico elegido, Waspote de ©Libelium, cuenta con las propiedades deseadas para la mejora de la instrumentación y, en consecuencia, a su funcionalidad.
- Durante las pruebas de comunicación haciendo uso del módulo de radio XBee que ofrece el dispositivo electrónico utilizado, y a pesar de las dudas en cuanto a su utilización dentro de un entorno tan hostil como el mar, se ha concluido que es válida su utilización tanto para su incorporación al derivador como para el envío de tramas de datos en el momento del muestreo.

6.2. Líneas futuras

Después de haber fabricado, configurado, ensayado y verificado cada uno de los subsistemas de los que consta el proyecto, se resumen a continuación una serie de posibles mejoras que se podrían añadir al presente trabajo.

- En lo relativo a las características de estanqueidad del contenedor que debe de alojar el dispositivo electrónico, deberían de llevarse a cabo más experimentos sobre el diseño propuesto en este trabajo, del que se deja la información detallada para facilitar su reproducción y así poder analizar sus capacidades.
- Para asegurar una máxima cobertura y mejorar el alcance de las comunicaciones se podría añadir al código que configura el Waspote que el envío de las tramas de datos se realicen teniendo en cuenta el medio dinámico donde se encuentra el derivador. Es decir, se podría optimizar el envío de los datos haciendo uso del acelerómetro que tiene integrado el dispositivo para que identifique que se encuentra en la cresta de una onda. Además de esto, se pueden introducir mejoras en cuanto a la colocación de la antena en la estación remota, así como optimizar la altura máxima que ésta debiera de tomar, la incorporación de elementos como amplificadores o que adquiriera un carácter direccional podrían ser estudiados para su mejora.
- En este trabajo se han realizado las pruebas de campo con un solo derivador con lo que quedaría pendiente la integración de dispositivos en más derivadores y realizar más pruebas de comunicación de varias unidades sensoras con el gateway en la estación base.
- La utilización de varias vías de comunicación también queda contemplado como una futura línea de trabajo, ya que para el proyecto se ha

tomado más en cuenta las comunicaciones por vía radio haciendo uso de bandas de frecuencia libre. Sin embargo, el dispositivo utilizado da opción de comunicaciones mediante el módulo GSM/GPRS y modems satelitales (IRIDIUM), con lo que se aumentaría notablemente su radio de autonomía.

- La versatilidad del dispositivo utilizado en este proyecto permite la incorporación de mas sensores de medida de parámetros físico químicos y así obtener una instrumentación del que se obtengan más datos útiles para la caracterización del entorno.

Por lo expuesto anteriormente, considero que el trabajo ha cubierto los objetivos que se plantearon inicialmente para el mismo.

Apéndices

Apéndice A

Fundamentos

A continuación se describen algunos conceptos o variables físicas que se utilizarán en este trabajo. Las magnitudes físicas que trataremos son vectoriales por lo que es necesario especificar no solo su módulo sino también la dirección y el sentido.

A.1. Definiciones

Módulo de un vector: El módulo de un vector representa su longitud. Se calcula como la raíz cuadrada de la suma de sus componentes elevadas al cuadrado.

$$|V| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (\text{A.1})$$

Posición: es la ubicación de un objeto (partícula) en el espacio, relativa a un sistema de referencia. Es un vector y se denota por:

$$\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k} \quad (\text{A.2})$$

; donde x , y y z son los valores de la posición en cada dirección, e \hat{i} , \hat{j} y \hat{k} , son los vectores unitarios en la dirección de cada eje x , y y z , respectivamente. Es una de las variables básicas del movimiento, junto con el tiempo, en el SI se mide en metros.

Desplazamiento: el desplazamiento se define como el cambio de posición de una partícula en el espacio (para indicar cambios o diferencias finitas de cualquier variable en física se usa el símbolo delta, Δ). Es independiente de la trayectoria que se siga para cambiar de posición. Para determinarlo se debe conocer la posición inicial r_i y final r_f de la partícula en movimiento:

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_f - \vec{r}_i = (x_f - x_i)\hat{i} \quad (\text{A.3})$$

El desplazamiento es un vector, que puede ser positivo, negativo o cero, en el SI se mide en metros.

Trayectoria: es la curva geométrica que describe una partícula en movimiento en el espacio, y se representa por una ecuación de la trayectoria. En una dimensión es una recta $y = cte$, paralela al eje x ; en dos dimensiones puede ser una parábola $y = a + bx^2$ o una circunferencia $x^2 + y^2 = r^2$ u otra curva.

A.2. Velocidad y aceleración

La velocidad de una partícula indica cuan rápidamente se mueve y en que dirección lo hace respecto al sistema de referencia. Para definir la velocidad, primero se define la velocidad media, que es la de la partícula durante un intervalo de tiempo desde el tiempo inicial t_i y final t_f :

$$\bar{V} = \frac{r_f - r_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad (\text{A.4})$$

donde r_f y r_i son los vectores de posición que sitúan a la partícula en los tiempos t_f y t_i respectivamente. Cuando el movimiento es en una dimensión la velocidad media sólo tiene una componente:

$$\bar{V} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} \hat{i} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \hat{i} = \bar{v}_x \hat{i} \quad (\text{A.5})$$

A partir de la expresión anterior puede observar que el módulo de la velocidad media viene dad por:

$$\bar{v} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (\text{A.6})$$

La aceleración de una partícula caracteriza la variación de la velocidad en el transcurso del tiempo. Al igual que para definir la velocidad usamos la velocidad media, se usará la aceleración media para definir la aceleración.

$$\hat{a}_x = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (\text{A.7})$$

Donde v_f y v_i son las velocidades en los tiempos t_f y t_i . En una dimensión la aceleración media sólo tiene una componente, ya que $v_f - v_i = v_{xj}\hat{i} - v_{xi}\hat{i}$ las componentes de la velocidad en los tiempos t_f y t_i . La cantidad \hat{a}_x es la componente de la aceleración media:

$$\hat{a}_x = \frac{v_{xf} - v_{xi}}{t_f - t_i} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} \quad (\text{A.8})$$

A.3. Dispersión

La tasa a la cual un contaminante se esparce, la disminución del pico de concentración y el patrón de concentración resultante a lo largo de la corriente son de gran importancia en el control de la contaminación.

Llamando I_{ik} es la distancia inicial entre cada pareja de flotadores y I_{fk} la distancia final entre éstos después de transcurrir un tiempo t , los coeficientes de dispersión se pueden estimar sabiendo que:

$$K_x + K_y = \frac{\sum_{k=1}^N (I_{fk} - I_{ik})^2}{2N_t} \quad (\text{A.9})$$

y suponiendo que $K_x = 10K_y$. En la fórmula anterior N representa el número de parejas de derivadores.

Apéndice B

Sistema de referencia

A continuación se detallan los cálculos a realizar para el cambio de coordenadas teniendo en cuenta el elipsoide de referencia con el que trabaja el módulo GPS integrado en el dispositivo Waspnote.

B.1. Cálculos previos:

Parámetros del elipsoide de referencia: El elipsoide WGS-84 define los parámetros para la Tierra indicados a continuación:

- Semieje mayor de la elipse $a = 6378137m$
- Semieje menor de la elipse $b = 6356752,314245m$

Sobre la geometría del elipsoide: Se calcula la excentricidad B.1 y la segunda excentricidad B.2.

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \quad (\text{B.1})$$

$$e' = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b} \quad (\text{B.2})$$

Se calcula también la segunda excentricidad al cuadrado e'^2 ya que es un parámetro que se utiliza en las fórmulas de Coticchia-Surace.

El radio polar de curvatura B.3 , el achatamiento B.4 y su inversa ($1/\alpha$).

$$c = \frac{a^2}{b} \quad (\text{B.3})$$

$$\alpha = \frac{a - b}{a} \quad (\text{B.4})$$

Longitud y la latitud: Lo primero que hacemos es convertir los grados sexagesimales (grados, minutos y segundos) a grados sexagesimales expresados en notación decimal (lo que se suele denominar normalmente "grados decimales"). Para ello operamos de la siguiente forma:

$$\text{Grados decimales} = \text{grados} + \text{minutos}/60 + \text{segundos}/60/60 \quad (\text{B.5})$$

Una vez que tenemos la longitud y la latitud en grados decimales, procedemos a su paso a radianes, pues la mayor parte de los pasos posteriores se realizarán con entrada de datos en radianes. Operamos para ello de la forma:

$$\text{Radianes} = \frac{\text{Grados decimales} \cdot \pi}{180} \quad (\text{B.6})$$

El siguiente paso es calcular el signo de la longitud mediante un proceso lógico muy sencillo. Si la longitud está referida al Oeste del meridiano de Greenwich, entonces la longitud es negativa (−) y si está referida al Este del meridiano de Greenwich, entonces la longitud es positiva (+).

El Huso: Una vez tenemos preparados los datos de longitud y latitud, podemos calcular el huso o zona UTM (UTM Zone) donde caen las coordenadas a convertir, con operaciones muy sencillas y truncando la parte entera del resultado:

$$\text{Huso} = \text{entero de} \left[\frac{\text{Grados decimales}}{6} + 31 \right] \quad (\text{B.7})$$

Con el huso ya conocido, el siguiente paso es obtener el meridiano central del huso en el que caen las coordenadas geodésicas sobre las que operamos. La operación es muy sencilla:

$$\lambda_0 = (Huso \cdot 6) - 183 \quad (\text{B.8})$$

Se calcula la distancia angular que existe entre la longitud del punto con el que operamos y el meridiano central del huso. Es muy importante señalar que ambos datos tienen que ser introducidos en radianes:

$$\Delta\lambda = \lambda - (\lambda_0 \cdot (\pi/180)) \quad (\text{B.9})$$

B.2. Ecuaciones de Coticchia-Surace

A continuación debemos calcular una serie de parámetros que van encadenados unos a otros y que son el núcleo de las ecuaciones de Coticchia-Surace. La elección de estas ecuaciones para el paso de coordenadas geográficas a UTM es por su fácil implementación.

$$A = \cos \varphi \cdot \sin \Delta\lambda \quad (\text{B.10})$$

$$\xi = \frac{1}{2} \cdot \ln \left[\frac{1 + A}{1 - A} \right] \quad (\text{B.11})$$

$$\eta = \arctan \left(\frac{\tan \varphi}{\cos \Delta\lambda} \right) \quad (\text{B.12})$$

$$\nu = \frac{c}{(1 + e'^2 \cos^2 \varphi)^{\frac{1}{2}}} \cdot 0,9996 \quad (\text{B.13})$$

$$\zeta = \frac{e'^2}{2} \cdot \xi^2 \cdot \cos^2 \varphi \quad (\text{B.14})$$

$$A_1 = \text{sen}(2 \cdot \varphi) \quad (\text{B.15})$$

$$A_2 = A_1 \cdot \cos^2 \varphi \quad (\text{B.16})$$

$$J_2 = \varphi + \frac{A_1}{2} \quad (\text{B.17})$$

$$J_4 = \frac{3 \cdot J_2 + A_2}{4} \quad (\text{B.18})$$

$$J_6 = \frac{5 \cdot J_4 + A_2 \cdot \cos^2 \varphi}{3} \quad (\text{B.19})$$

$$\alpha = \frac{3}{4} \cdot e'^2 \quad (\text{B.20})$$

$$\beta = \frac{5}{3} \cdot \alpha^2 \quad (\text{B.21})$$

$$\gamma = \frac{35}{27} \cdot \alpha^3 \quad (\text{B.22})$$

$$B_\phi = 0,9996 \cdot c \cdot (\varphi - \alpha J_2 + \beta \cdot J_4 - \gamma \cdot J_6) \quad (\text{B.23})$$

B.2.1. Cálculo final de coordenadas

Una vez disponemos de todos los parámetros anteriores calculados, procedemos a la solución de las coordenadas UTM finales, de la forma:

$$X = \xi \cdot \eta \cdot \left(1 + \frac{\zeta}{3}\right) + 500000 \quad (\text{B.24})$$

Para el caso de la solución de Y es muy importante recordar que si la latitud de las coordenadas geodésicas con las que operamos pertenece al hemisferio sur deberemos sumar el valor 10000000 al resultado obtenido.

$$Y = \eta \cdot \nu \cdot (1 + \zeta) + B_\phi \quad (\text{B.25})$$

Bibliografía

- [1] Juan Antonio Afonso-Monsegue. El clima marítimo de canarias. In *III Curso de Experto en Ingeniería de Puertos y Costas. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*, 2010.
- [2] BOE. Orden de 13 de julio de 1993 (mopt), por la que se aprueba la instrucción técnica para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar (boe n°178, de 27-7-93). *Boletín Oficial del Estado*.
- [3] A. Coticchia and L. Surace. Risoluzione di problemi geodetici con minicalcolatrici elettroniche problemi. *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, 37(1), 1978.
- [4] R. E. Davis. Drifter observations of coastal currents during code. the method and descriptive view. *Journal of Geophysical Research*, 90:4741–4755, 1985.
- [5] Alberto Tena del Pozo. A viability plan of a unit of research in applications of new telecommunications technologies. Master’s thesis, Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Politècnica Superior de Castelldefels, 2009.
- [6] World Ocean Circulation Experiment and World Climate Research Programme. *WCRP global surface velocity programme (SVP): workshop report of WOCE/SVP Planning Committee and TOGA Pan-Pacific Surface Current Study, 25 and 26 April, 1988, Miami, Florida*. WMO/TD. Joint Planning Staff for the WCRP, World Meteorological Organization, 1988.
- [7] Ignacio Alonso Fernández-Coppel. *Localizaciones Geográficas. Las Coordenadas Geográficas y la Proyección UTM*. Universidad de Valladolid. Área de ingeniería cartográfica, geodesia y fotogrametría. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, 2001.

-
- [8] Sergi Ametller Malfaz José Llorca-Ortega, José Manuel González-Ferrero. *ROM 2.0-11: Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre*, volume I y II. Ministerio de Obras Publicas, 2012.
- [9] W. Krauss, J. Dengg, and H.-H. Hinrichsen. The response of drifting buoys to currents and wind. *Journal of Geophysical Research*, 94(C3):3201–3210, 1989.
- [10] Rick Lumpkin and Mayra Pazos. Chapter 2 measuring surface currents with surface velocity program drifters: the instrument, its data, and some recent results. In *Lagrangian Analysis and Prediction of Coastal and Ocean Dynamics*. Cambridge University Press, 2007.
- [11] Robert L. Molinari. Observations of near-surface currents and temperature in the central and western tropical atlantic ocean. *Journal of Geophysical Research*, 88(C7):4433–4438, 1983.
- [12] Pearn P. Niiler, Russ E. Davis, and Henry J. White. Water-following characteristics of a mixed layer drifter. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 34(11):1867 – 1881, 1987.
- [13] Pearn P. Niiler and Jeffrey D. Paduan. Wind-driven motions in the northeast pacific as measured by lagrangian drifters. *Journal of Physical Oceanography*, 25(11):2819–2830, November 1995.
- [14] Peter Niiler. Chapter 4.1 the world ocean surface circulation. In John Church Gerold Siedler and John Gould, editors, *Ocean Circulation and Climate Observing and Modelling the Global Ocean*, volume 77 of *International Geophysics*, pages 193 – 204. Academic Press, 2001.
- [15] Antonio Jonay Pérez-Navarro. Servidor web para la comunicación con redes de sensores. Trabajo Fin de Grado.Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.Escuela de Ingeniería Informática.2011.
- [16] Jorge Portilla-Berrueco. Plataforma modular e interfaces genéricas de transductores para redes de sensores inalámbricas. Tesis Doctoral.Universidad Politécnica de Madrid.Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Departamento de Automática, IngenieríaElectrónica e Informática Industrial.2010.
- [17] P.-M. Poulain, A. Warn-Varnas, and P. P. Niiler. Near-surface circulation of the nordic seas as measured by lagrangian drifters. *Journal of Geophysical Research*, 101(C8):18237–18258, 1996.

-
- [18] Fabio Rentero-Delgado. Calificación energética de edificios: Gestión y planificación del proyecto. Proyecto Fin de Carrera.Universidad Rey Juan Carlos. Escuela Técnica Superior De Ingeniería de Telecomunicación.2011.
- [19] Joel Rodríguez-Alemán. Servidor web para la comunicación con redes de sensores. Trabajo Fin de Grado.Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.Escuela de Ingeniería Informática.2011.
- [20] Tom Rosby. Chapter 1 evolution of lagrangian methods in oceanography. In *Lagrangian Analysis and Prediction of Coastal and Ocean Dynamics*. Cambridge University Press, 2007.
- [21] A.L. Sybrandy, P.P. Niiler, Scripps Institution of Oceanography, World Ocean Circulation Experiment, and Tropical Ocean/Global Atmosphere Program. *The WOCE/TOGA SVP Lagrangian Drifter Construction Manual*. SIO reference. University of California, San Diego, Scripps Institution of Oceanography, 1991.