



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE FI DE CARRERA

TÍTOL: Diseño de un sistema de control autónomo para un vehículo submarino AUV

AUTOR: Antonio Galo Ruiz Ortega

TITULACIÓ: Ingeniería técnica de telecomunicación especialidad en sistemas electrónicos

DIRECTOR: Spartacus Gomáriz Castro

DEPARTAMENT: Ingeniería electrónica (710)

DATA: 26 de junio de 2009

TÍTOL: Diseño de un sistema de control autónomo para un vehículo submarino AUV

COGNOMS: Ruiz Ortega

NOM: Antonio Galo

TITULACIÓ: Ingeniería técnica de telecomunicación

ESPECIALITAT: Sistemas Electrónicos

PLA: 1995

DIRECTOR: Spartacus Gomáriz Castro

DEPARTAMENT: Ingeniería Electrónica

QUALIFICACIÓ DEL PFC

TRIBUNAL

PRESIDENT

SECRETARI

VOCAL

DATA DE LECTURA

Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals: Sí No

PROJECTE FI DE CARRERA

RESUM (màxim 50 línies)

El presente proyecto nace de la motivación por desarrollar un sistema de navegación autónomo para un vehículo submarino.

Este proyecto da continuidad precede al proyecto Cormorán, donde se desarrolló un prototipo de vehículo submarino, de agua someras, que navega por superficie y realiza inmersiones verticales con el objetivo de obtener datos de temperatura, salinidad y profundidad de una columna de agua. En una primera fase se implementó un control manual a través de una emisora de radiocontrol.

Esta fase permitió evaluar las características de navegación del vehículo. En una segunda fase estaba dispuesto implementar todo el sistema de control electrónico necesario para dotar al vehículo de una autonomía en su navegación, a partir de una ruta pre-establecida. Esta segunda fase es el objetivo de este proyecto.

El sistema electrónico de control ha desarrollar en este proyecto debe gestionar un sistema de navegación, donde existirán instrumentos que determinen la posición y actitud del vehículo así como el sistema de propulsión para poder actuar convenientemente sobre los motores del vehículo. Además deberá permitir una comunicación a través de un radio-modem de toda la telemetría a una estación base. No es objetivo de este proyecto integrar los instrumentos propios de la misión ni desarrollar un sistema de seguridad frente a fallos u obstáculos.

Se puede concluir que el objetivo del presente proyecto consiste en la implementación de la electrónica así como la programación necesaria para la realización del control autónomo de un vehículo autónomo submarino, los cuales son denominados AUV (Autonomous Underwater Vehicle).

Paraules clau (màxim 10):

Control autónomo	PC Embebido	Sistema de Navegación	Receptor GPS
AUV	Propulsion electrica	Radiomodem	Telemetría

INDICE

0. INTRODUCCIÓN	11
1. Visión histórica	13
1.1. Introducción a los AUV	18
1.2. Estado actual de los AUVs	22
1.3. Referencias de algunos AUV comerciales	25
1.4. Referencias de prototipos españoles	27
3. Proyecto Cormoran	31
3.1. Introducción	31
2.1.1. Diseño mecánico	31
2.1.2. Diseño del control manual	34
2.2. Pruebas realizadas sobre el proyecto Cormorán	35
2.3. Realización del control autónomo	37
3. Diseño del sistema de control autónomo	39
3.1. Características de la CPU	42
3.2. Descripción del estándar PC/104	42
3.2.1. Módulo CPU PC/104+ PM-6100	48
3.2.2. Placa de puertos serie MSMX104+	52
3.2.3. CompactFlash TS16GCF133	54
3.3. Sistema de navegación	56
3.3.1. Brújula/inclinómetro TCM2.6	56
3.3.2. Modos de funcionamiento	58
3.3.3. Sintaxis de los comandos	58
3.3.4. Datos de salida del sensor	59
3.3.5. Interpretación de los datos de salida	61
3.3.6. Interconexión	62
3.3.7. Receptor GPS DG14 Board	63
3.3.8. Modos de funcionamiento	67
3.3.9. Sintaxis de los comandos	69
3.3.10. Datos de entrada del sensor	71
3.3.11. Datos de salida del sensor	72
3.3.12. Interpretación de los datos de salida	72

3.3.13.	Interconexión	74
3.3.14.	Antena GPS.....	77
3.3.15.	Antena del receptor	78
3.4.	Sistema de propulsión.....	79
3.4.1.	Motor principal.....	79
3.4.2.	Motores laterales	79
3.4.3.	Motor del pistón de inmersión	80
3.5	Servomotores	82
3.5.1.	Placa de control de servos SSC32-1.06XE	83
3.5.2.	Sintaxis de los comandos	84
3.5.3.	Interconexión	86
3.6	Sistema de comunicaciones	89
3.6.1.	Características de los radio-módems	89
3.6.2.	Bandas de frecuencia	90
3.6.3.	Tolerancia de frecuencia y seguimiento de la portadora.....	91
3.6.4.	Potencia transmitida y margen dinámico	92
3.6.5.	Ecuación	92
3.6.6.	Efecto multicamino	92
3.6.7.	Esquemas de modulación	93
3.6.8.	Radio-módems Farell TMOD C48.....	94
3.6.9.	Interconexión	97
3.7	Sistema eléctrico	100
3.7.1.	Pack de baterías	100
3.7.2.	Cargador de baterías	101
3.7.3.	Drivers de potencia de los motores	102
4.	Implementación del control autónomo	105
4.1.	Estudio del espacio disponible para la instrumentación	105
4.2.	Ubicación del radiomodem	109
4.3.	Requerimientos de la alimentación	109
4.4.	Conexiones con los elementos externos.....	113
4.4.1	Descripción de los conectores de la tapa del módulo estanco	114
4.4.2	Conexión de los elementos internos con la tapa	115
4.4.3	Conexión de la tapa con la caja externa.....	117
5.	Diseño del software del control autónomo	121

5.1.	Introducción	121
5.2.	Entorno de programación seleccionado	121
5.3.	Programa de telemetría	124
5.4.	Estación de seguimiento y control	126
5.5.	Programa Brújula/Inclinómetro	128
5.6.	Programa definitivo.....	131
5.7.	Procesamiento de los datos del receptor GPS	134
5.8.	Datos GPS	135
5.9.	Representación de coordenadas.....	137
5.10.	Generación de históricos.....	139
5.11.	Control de motores	140
5.12.	Algoritmo del programa	142
6.	Pruebas del sistema y manual de usuario.....	143
6.1.	Pruebas de la brújula.....	144
6.2.	Pruebas del GPS	145
6.3.	Pruebas de motores	146
6.4.	Manual de usuario	147
7	Conclusiones.....	149
	Agradecimientos	153
	Referencias.....	155

0. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto nace de la motivación por desarrollar un sistema de navegación autónomo para un vehículo submarino.

Este proyecto da continuidad precede al proyecto Cormorán, donde se desarrolló un prototipo de vehículo submarino, de agua someras, que navega por superficie y realiza inmersiones verticales con el objetivo de obtener datos de temperatura, salinidad y profundidad de una columna de agua. En una primera fase se implementó un control manual a través de una emisora de radiocontrol.

Esta fase permitió evaluar las características de navegación del vehículo. En una segunda fase estaba dispuesto implementar todo el sistema de control electrónico necesario para dotar al vehículo de una autonomía en su navegación, a partir de una ruta pre-establecida. Esta segunda fase es el objetivo de este proyecto.

El sistema electrónico de control ha desarrollar en este proyecto debe gestionar un sistema de navegación, donde existirán instrumentos que determinen la posición y actitud del vehículo así como el sistema de propulsión para poder actuar convenientemente sobre los motores del vehículo. Además deberá permitir una comunicación a través de un radio-modem de toda la telemetría a una estación base. No es objetivo de este proyecto integrar los instrumentos propios de la misión ni desarrollar un sistema de seguridad frente a fallos u obstáculos.

Se puede concluir que el objetivo del presente proyecto consiste en la implementación de la electrónica así como la programación necesaria para la realización del control autónomo de un vehículo autónomo submarino, los cuales son denominados AUV (Autonomous Underwater Vehicle). Para ello la memoria del proyecto se ha estructurado en:

7 capítulos distribuidos de la siguiente forma:

1. Primer capítulo: **Introducción a los vehículos autónomos submarinos** (AUVs / ASVs), este capítulo tiene como objeto realizar una visión histórica desde los rudimentarios vehículos submarinos hasta las investigaciones actuales, incluyendo una descripción de algunos prototipos existentes y sus finalidades.
2. Segundo capítulo: **Proyecto Cormorán** Visión general de los elementos a integrar en el vehículo Cormorán, será en esta parte en la que el proyecto precedente será descrito

al detalle y donde serán destacados los cambios necesarios para dotar a este vehículo de la navegación autónoma requerida.

3. Tercer capítulo: **Diseño del control autónomo**, es decir, descripción de todos los elementos necesarios para dotar al vehículo del sistema de navegación autónoma.
4. Cuarto capítulo: **Implementación del control autónomo**, en este capítulo se dará constancia de la ubicación de los elementos, igualmente pasará con el sistema de alimentación, que será descrito y ubicado.
5. Quinto capítulo: **Diseño del software de control autónomo**, en este capítulo se describe la programación realizada dentro y fuera del vehículo por tal de accionar todos los elementos involucrados en el sistema de navegación, mediante un aplicativo de telemetría que enviará los datos de los sistemas de navegación a otro software también programado, al que se llamará estación de seguimiento, que será donde se reflejen los datos enviados.
6. Sexto capítulo: **Manual de usuario y pruebas realizadas**, aquí se encuentra un sencillo manual de usuario para entender el funcionamiento de los aplicativos del vehículo. También se dará constancia de todas las pruebas realizadas durante la ejecución del presente proyecto por tal de demostrar su correcto funcionamiento.
7. Séptimo capítulo: **Conclusiones**, será en éste último punto en el que serán descritos los logros obtenidos durante la realización de este proyecto así como sus avances, posibilidades y limitaciones en un futuro

1. Visión histórica

El concepto de un pequeño vehículo sumergible no es una nueva idea. De hecho, el primer AUV (Autonomous Underwater Vehicle) que en español es Vehículo Submarino Autónomo VSA requería en primer lugar de la miniaturización de los submarinos ya existentes, por tal de ofrecer maniobrabilidad y una mejor mimetización en el ambiente marino, y aunque dista de ser autónomo, la primera aproximación a este tipo de vehículo data del año 1775, que lejos de una finalidad científica e investigadora fue construido y desarrollado en la Universidad de Connetica (Estados Unidos) con la finalidad de poder infiltrar una persona en territorio enemigo de forma casi "invisible", el encargado de ello fue David Bushnell y su hermano Ezra Bushnell [4].

La construcción del prototipo data del comenzar de la Guerra de la Independencia, la marina británica impone un bloqueo a los puertos estadounidenses. Bushnell reflexionó sobre las nuevas armas en el terreno marítimo. Inspirándose en diseños y descripciones anteriores de escaso éxito, incluidas las representaciones de la máquina sumergible de Alejandro Magno descrita por Aristóteles, concibió el primer submarino operable de verdad.

Con la ayuda de su hermano Ezra, fabricó la "Tortuga", un pequeño navío sumergible (2,30 m. de largo y 1,80 m de ancho). Estaba compuesto por dos piezas idénticas de madera de roble de forma cóncava, semejantes a dos caparazones de tortuga (de allí su nombre), unidos y reforzados por barras de hierro. El casco estaba cuidadosamente trabajado y los empalmes eran calafateados antes de cubrirlos con goma. La estabilidad estaba garantizada por un lastre de plomo. Un tanque de lastre que se llenaba abriendo una válvula y que se podía vaciar con dos bombas manuales de latón permitían controlar la flotabilidad.

La máquina estaba prevista para ser maniobrada por un solo piloto sentado en el centro. Disponía delante del piloto de manivelas de propulsión horizontal y vertical por hélices primitivas, así como de un timón. Un pequeño habitáculo equipado de tragaluz y de un panel que se abría superando al conjunto y mediante el accionamiento de un taladro comandado desde el interior permitía fijar la carga explosiva, transportada detrás del habitáculo, sobre el casco del buque enemigo. Bushnell, a pesar de sus limitados medios, llegó a solucionar la mayoría de los problemas técnicos encontrados: estanqueidad y resistencia a la

presión del agua, propulsión, estabilización, dirección, armamento y autonomía, que no superaba los 30 minutos y requería por tanto remolcar la unidad lo máximo posible.

De hecho los problemas mencionados son actualmente también grandes limitaciones a tener en cuenta a la hora del desarrollo de vehículos submarinos.

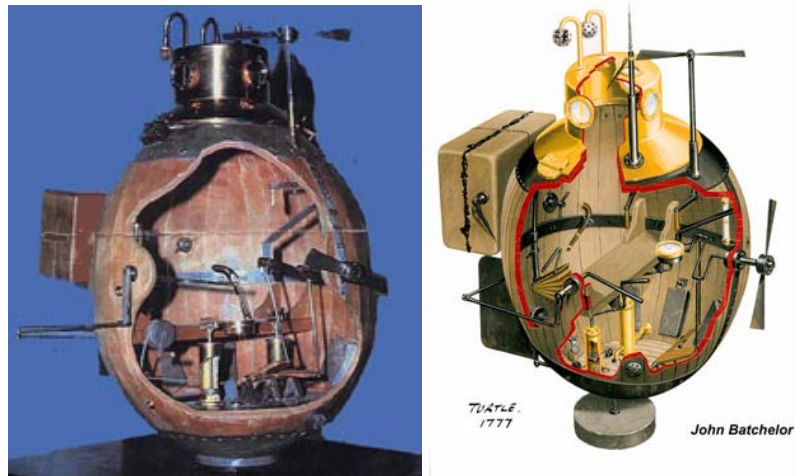


Figura 1.1: La tortuga de D. Brushnell

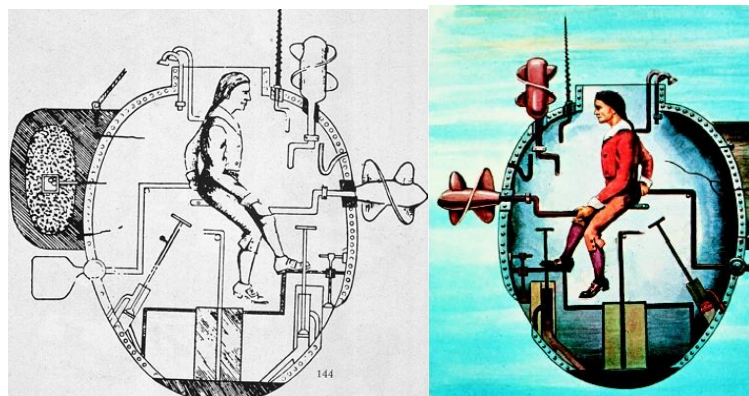


Figura 1.2: Persona operando la Tortuga

Las pruebas llevadas a cabo en el Río Connecticut requerían varias puestas a punto; no obstante la máquina estuvo lista en la primavera de 1776 [5]. Los generales Israel Putnam y George Washington dieron el visto bueno e hicieron transportar en secreto la máquina hasta Nueva York, donde fue colocada bajo la autoridad del General Putnam. Ezra Bushnell comenzó una larga serie de entrenamientos para familiarizarse con las condiciones de corrientes y de mareas de la bahía de Nueva York. Pero a principios de julio de 1776, cuando se presentaron oportunidades de ataque, Ezra Bushnell cayó enfermo y debió ser reemplazado.

Entre los voluntarios, el sargento Ezra Lee fue designado y debió entrenarse intensivamente durante varias semanas [6].

El ataque se dio el 6 de septiembre de 1776. El HMS Eagle, buque británico de 64 cañones, se hallaba entre Staten Island y Governor's Island (allí donde actualmente se encuentra la Estatua de la Libertad). A media noche, la Tortuga, remolcado por una galera, fue llevado lo más cerca posible del enemigo. El sargento Lee embarcó y continuó solo. Lee se acercó al HMS Eagle e hizo sumergir a la Tortuga con el fin de colocarse debajo del buque. Intentó durante largos minutos perforar el casco para colocar la carga explosiva. El oxígeno comenzó a faltar, y se vio obligado a alejarse y salir a la superficie para renovar el aire. Intentó nuevamente sin éxito colocar la carga, obstruido por el blindaje de cobre que poseen en el casco algunos buques británicos o por una parte metálica de refuerzo. Agotado, Lee debió hacer frente a varios peligros mientras iba amaneciendo. Debió luchar con todas sus fuerzas contra la marea que amenazaba con arrastrarlo a lo largo, y escapar a los soldados británicos que patrullaban. Para aligerarse decidió deshacerse de la carga explosiva. Ésta, al quedar a la deriva, no tardó en estallar del lado de las naves británicas, causando gran pánico. La flota británica levó el ancla para marchar hacia aguas más seguras. El sargento Lee y la Tortuga no consiguieron destruir la nave británica, pero causaron la ruptura del bloqueo a Nueva York.

Otras tentativas terminarían también en fracasos y se destruiría finalmente la Tortuga cuando el velero que la transportaba fue hundido por una fragata británica.

A raíz de sus resultados y al aprecio del General George Washington, Bushnell integró el cuerpo de los ingenieros de la US Army (la Armada de los Estados Unidos), que dirigió a partir de 1783. Continuó sus estudios sobre la concepción de submarinos, pero se consagró también al empleo de minas navales que en esta época se llamaban (y por más de un siglo aún) "torpedos".

Evidentemente la idea de la tortuga es totalmente incompatible con la nomenclatura del AUV, puesto que claramente la autonomía de dicho vehículo dependía directamente de un oficial al mando de dicho elemento.

No fue hasta noviembre de 1879, cuando este método fue mejorado por el reverendo George W. Garrett, quien incremento notablemente la versatilidad de este vehículo dotándolo de un motor "fireless" de combustión innifuga con el que podía navegar unas 10 horas, el Resurgam

Il pero igualmente contaba con el más que notable inconveniente de no disponer de un timón maniobrable, con lo que la idea de autónomo tendría que esperar aun más [7].



Figura 1.3: Resurgam II de Garrett

No fue hasta la década de los 70 que tras estos rudimentarios transportes podemos definir realmente a un AUV (o “torpedo”) como un elemento de observación o realización de tareas diversas ya fueran de índole militar o científica, ya se trate de un elemento unido a una estación base (manned vehicle) o sin ningún tipo de enlace existente (unmanned vehicle).

De hecho tan sólo existen 2 tipos de AUVs, los enlazados o sin enlazar:

1. Manned: Este tipo se caracteriza por disponer de un cordón por el que se unen tanto la estación base y el propio elemento, aunque opera por sí mismo en el momento del comienzo de misión, empíricamente no lo podemos considerar un AUV ya que existe la necesidad de la constante presencia cerca del dispositivo.
2. Unmanned: Podemos definir a este tipo como un AUV propiamente dicho, no le es necesaria la presencia de ninguna estación base cercana que lo gobierne, simplemente seguirá instrucciones preprogramadas o bien un algoritmo de navegación diseñado previamente.

En las siguientes imágenes podemos ver un ejemplo de ambos tipos:



Figura 1.4: Ejemplo de AUV enlazado (MANNED)



Figura 1.5: Ejemplo de AUV sin enlazar (UNMANNED)

También es posible hacer una distinción especial ya se trate de AUV's enlazados o no, en cualquier caso se puede distinguir su finalidad, la cual puede ser científica o militar, en países como Rusia, Estados Unidos, Francia o Japón tan sólo existe dicha diferencia entre todos los AUV.

Los países anteriormente mencionados son los pioneros en la investigación y desarrollo de este tipo de vehículos, ya que la mayor parte de las veces existen serias limitaciones en este ámbito, es requerida una plataforma de navegación, un lugar de pruebas e incluso vehículos para el posible rescate en caso de emergencia, como puede ser desde una embarcación más o menos preparada para este fin hasta un helicóptero totalmente preparado.

Aunque a pesar de lo que pueda parecer, el desarrollo de AUV no es prohibitivo, ni está limitado algunos elegidos, ya que también se puede realizar, como en el caso del presente proyecto, un AUV de bajo coste, que no implica en absoluto una gran infraestructura.

1.1.Introducción a los AUV

Como se mencionó en el subcapítulo anterior, podemos encontrar varias nomenclaturas para los AUV dependiendo de su finalidad:

- AUV Autonomous Underwater Vehicle
- ROV Remote Operated Vehicle
- UUV Unmanned Untethered Vehicle

Pero a pesar de su nomenclatura, todo AUV ha de cumplir unas definiciones comunes, básicamente los podemos caracterizar en vehículos con gran versatilidad y autonomía. Principalmente los puntos a caracterizar en un AUV son los siguientes [8]:

- Autonomía
- Navegación
- Sensores
- Comunicaciones

Autonomía:

Sin duda el punto que por excelencia va a limitar la misión, requiere de una gran estrategia, planificación de la misión, percepción de la situación y la previsión de situaciones difíciles.

El problema de la escasez de autonomía perdura desde los años 70 u 80, y sigue siendo el que más investigación conlleva y que por supuesto sigue en constante investigación, aunque el acoplo de sistemas realmente eficientes no siempre es posible emplazarlos en una máquina de dimensiones reducidas, con lo que podemos concluir el apartado argumentando una aparente falta de desarrollo en lo que estrictamente relaciona la longevidad de la misión planeada con la energía del vehículo.

La durabilidad en misión de los AUV se ha incrementado desde apenas unas horas, hasta incluso días enteros, lo que puede conllevar un preestudio exhaustivo de la misión. Generalmente la palabra durabilidad está relacionada con una realmente estudiada optimización del sistema de energía, en casos como el del presente proyecto, que consta de baterías de duración limitada y no recargables en misión, el punto de autonomía juega un papel muy importante

Para un AUV de bajo coste podemos pensar en baterías de Niquel, Litio o Zinc, siendo éste último el más caro de todos los sistemas y también el más versátil. Los recientes avances en electricidad nos traen nuevos materiales como el NiMH, el más corriente desde finales de los 80, aunque también existen otras posibles soluciones tecnológicas con aluminio o “células de oxígeno”, el único sistema que aguanta bajas temperaturas, así como las del Ártico.

La investigación y el desarrollo también nos traen las energías renovables a servicio de los AUVs, como la energía solar que puede recargar las baterías directamente desde la superficie, como es el caso del de la siguiente figura.



Figura 1.6: Ejemplo de AUV solar [9]

Navegación:

Desde los inicios de los sistemas AUV han revelado una navegación prácticamente ciega. Es por esto que se han desarrollado sistemas acústicos que dan una grandísima ventaja para evitar posibles golpes o choques contra el fondo o simplemente obstáculos a superar de forma totalmente precisa y de coste asequible.

Actualmente se va un paso más allá y se implantan sistemas de navegación inercial combinados con sonar que ofrecen un sistema de navegación mucho más precisos y rápido que los sistemas acústicos, pero a cambio de una gran precisión también hemos de prever un aumento de coste

A parte de los sistemas de navegación inercial existe desde hace relativamente poco tiempo la navegación basada en GPS ha incrementado realmente la posibilidad de posicionar los AUV así como el control de su trayectoria, aunque este sistema exige la presencia del vehículo en superficie para refrescar datos y actualizar el algoritmo de navegación programado periódicamente [10].

En la siguiente imagen podemos ver el AUV de NOAA [11], que consta del sistema anteriormente descrito, combinando sensores acústicos con el control de trayectoria por GPS.



Figura 1.7: AUV NOAA Fisher con sistema inercial y de muestreo avanzado [12]

Sensores:

Los sensores diseñados para el uso a nivel de tierra, o simplemente de uso general, raramente pueden ser integrados directamente en un AUV ya que no han sido diseñada para su utilización tanto a nivel como bajo el agua, soportando la presión, temperatura y humedades existentes.

Por esta razón empresas de diseño de sensores o bien de integrados, han hecho un especial esfuerzo en adaptar los sensores a las especificaciones exigidas por los AUV como pueden ser: versatilidad, rapidez, bajo consumo, reducción del tamaño, alto rendimiento...

Actualmente el mercado electrónico ofrece sistemas completos de bajo coste en los que se juntan la gran capacidad de operación del sensor junto con una alta resolución en un largo rango (lo que tecnológicamente se conoce como LENS "Longer and Longer Ranges"), características indispensables para este tipo de análisis. Con lo que podemos incluir un sistema realmente potente y eficaz de medida en un AUV de bajo coste.



Figura 1.8: Ejemplo de sensor externo de presión de gran precisión (Giotto)

Comunicaciones:

La comunicación basada en ondas electromagnéticas en el momento que sumergimos el AUV queda de totalmente eliminada, con lo que se han de investigar otros métodos de comunicación estación base – AUV, en medio acuático, la comunicación acústica es probablemente la más eficaz y viable, algunos programas e investigaciones han evaluado otras como las basadas en laser a baja frecuencia que son más limpias y robustas frente a ruido o perturbaciones externas.

Actualmente podemos encontrar sistemas acústicos que ofrecen una comunicación basada en radiofrecuencia con un error relativo bajo. En los últimos 10 años se ha llegado hasta rangos de kM/s (kilomuestras por segundo) a pocos Kbps, a pesar de que este aspecto de los AUVs sigue en constante mejora e investigación.

1.2.Estado actual de los AUVs

Actualmente es relativamente fácil identificar los esfuerzos realizados en el desarrollo tecnológico de los AUVs, ofreciendo más facilidades para el acceso a esta rama de investigación.

Durante los 80 el número de grupos de investigación o empresas del sector se incrementó significativamente, desde entonces el número no ha dejado de subir, de hecho cada vez se encuentran modelos comerciales y empresas del sector [13].

Las actividades actuales se categorizan en 2 subgrupos. El primero es un significativo número de investigadores que se aferran a la posibilidad de desarrollar AUVs de bajo coste, una tarea difícil si tenemos en cuenta el gran esfuerzo que requiere su fabricación y desarrollo hasta dejarlo de forma operativa.

El segundo grupo es también numeroso se centra en el ámbito comercial de tecnologías especializadas en sistemas AUV, es decir, directamente empresas, o bien investigadores, que venden sus propios diseños.

En algunos casos, las subvenciones gubernamentales para estos fines por parte de organismos que en principio no están en esta rama, parece dar su fruto en países como Estados Unidos en el que la aportación del propio gobierno es considerable. En la siguiente figura podemos ver un ejemplo de dicha afirmación, un AUV construido con inversiones 100% capital militar canadiense [14]



Figura 1.9: AUV financiado por la marina canadiense

Aunque no se define claramente el nivel de entusiasmo de un número de individuos y organizaciones sugiere que vamos a ver muchas oportunidades para la comercialización de la tecnología de AUV en los próximos años.

Empresas individuales, así como los equipos de las organizaciones mundiales principales, han hecho esfuerzos conjuntos para hacer AUVs como parte operativa de la industria del petróleo y del gas.

En el ámbito de las ciencias del mar, el potencial de los sistemas de AUV es claramente reconocido por la mayoría de los investigadores. Éxitos de ABE, AUTOSUB y otros vehículos diseñados para la investigación científica han hecho un impacto positivo en la comunidad, investigación de la cual se espera mucho. Es evidente que el éxito y los fracasos de los próximos años contribuirán a ajustar el sistema de las capacidades y expectativas de los usuarios. Esto es signo de que los AUV tendrán un gran papel en lo que se refiere al estudio del mar en los próximos años.

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

En el sector militar también se hacen constantes innovaciones, la Marina de los Estados Unidos apoya un esfuerzo centrado en llevar varios AUVs al mismo tiempo, como si se tratara de una LAN submarina, por tal de incrementar el volumen de datos oceanográficos, información espacial y resolución espacial y temporal. Valores que están hoy en día muy por encima de los que ofrece la modesta investigación civil.

En imagen 10 podemos ver un claro ejemplo de la investigación oceanográfica de fines no militares por parte de la marina de los Estados Unidos, los cuales hacen hincapié en las posibilidades del trabajo con este tipo de instrumental [15].

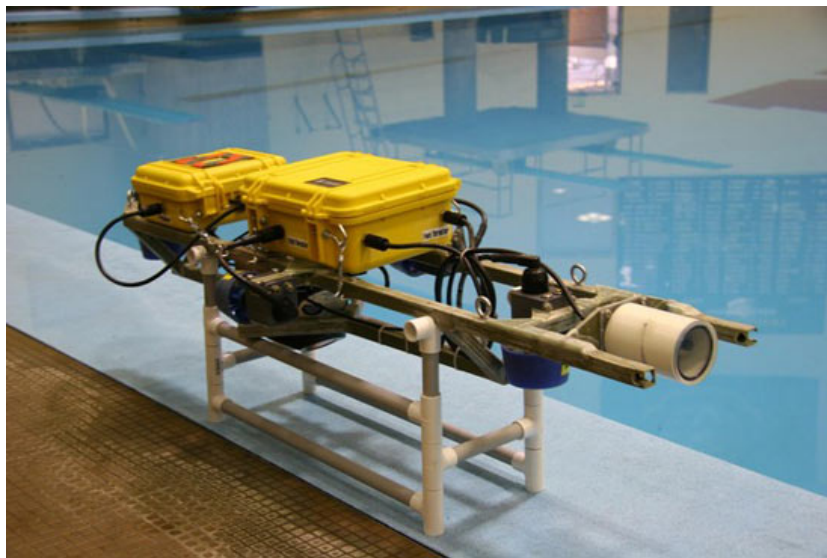


Figura 1.10: AUV financiado por la marina Estadounidense

1.3.Referencias de algunos AUV comerciales

A continuación se hace referencia a algunos AUV comerciales, de los que se destacarán algunas de sus principales características.

En primer lugar se describe el Remus 100 de Hydroid, el cual ofrece amplias posibilidades en el terreno de la exploración autónoma submarina.

HYDROID Remus 100



Figura 1.11: Remus 100 [16]

Características principales

- **Compacto y ligero** (menos de 50kg)
- **Eficacia comprobada** (más de 10 años de investigación)
- **Facilidad de uso** (software intuitivo y gráfico)
- **Selección especial por la armada de EE.UU** (U.S. Navy)
- **250.000 €**

MANTRA / SEASCOUT

El diseñador Adam Scott, en este caso un particular, junto al creador del robot Seascout de la mano de Carbon Made [17] acaba de presentar “Mantra AUV” un robot socorrista. De momento Mantra es solo un prototipo, pero es un claro ejemplo de lo versátiles que pueden llegar a ser este tipo de vehículos, no siempre relacionados con investigación.

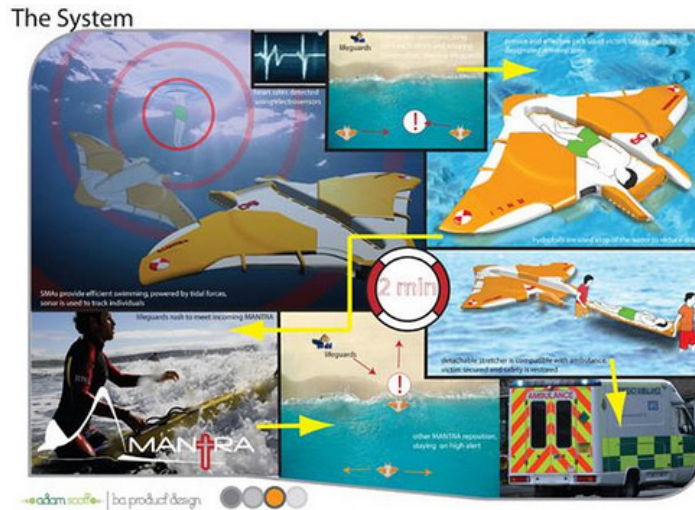


Figura 1.12: Prototipo Mantra



Figura 1.13: Prototipo Sea Scout

Mantra y Sea Scout son mucho más ágiles que un humano en el agua y tendrán la capacidad de aguantar corrientes marinas, el único contra es que el accidentado tendrá que introducirse por sus propios medios en el robot.

1.4.Referencias de prototipos españoles

Concretamente se puede hacer referencia al proyecto AIRSUB (Aplicaciones Industriales de Robots SUBmarinos) [18]. Dicho proyecto se desarrolla íntegramente en España, con las ayudas del Ministerio de Educación y Ciencia con la participación de las universidades UPC (Universitat Politècnica de Catalunya), UdG (Universitat de Girona) y UIB (Universitat de les Illes Balears).



Figura 1.14: Nomenclatura del proyecto AIRSUB

Aunque el proyecto es común, los prototipos diseñados por las universidades tienen una finalidad claramente distinta.

En el caso de la UdG, se centra en el desarrollo de un AUV para la inspección de presas, posibles obstrucciones, acumulación de lodo, arcilla o bien algún tipo de especie vegetal que deje inutilizada alguna reja de filtrado, entre otras muchas finalidades [19].

Al detalle el prototipo de la UdG, el GARBI:



Figura 1.15: AUV GARBI de la UdG



Figura 1.16: Vista superior del AUV GARBI

Como resumen de sus características físicas principales se adjunta la siguiente tabla:

Dimensiones	35 cm de diámetro
Peso neto	35 Kg
Comunicación	Basada en radiomodems
Grados de libertad	Inclinación, Balanceo y Rumbo
Hardware	PC104 486+ 300MHz, 32MB Ram, 1GB Flash
Sistema operativo utilizado	Linux RTAI
Sensores	Presión
	2 Video cámaras
	GPS
	Altímetro por sonar
	Sonar de avances

Tabla 1.1: Resumen características del GARBI

En el caso de la siguiente universidad participante en el proyecto, la UIB, se centra en la el posicionamiento de un AUV para la visualización de cableado submarino. A continuación se puede comprobar la calidad de las fotografías tomadas por el AUV llamado RAU 2 [20].



Figura 1.17: Fotografías tomadas por el RAU2

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

La construcción del RAU2 vino motivada por la gran dificultad que suponía la comprobación del estado de los cables eléctricos y gasoductos submarinos procedentes de la península hasta Baleares.

El trabajo más costoso de este prototipo fue el posicionamiento, tarea difícil teniendo en cuenta que existen todo tipo de contratiempos que pueden llevar a este vehículo incluso a 100 metros de donde estaba previsto, es por esto que el grupo de investigadores que lleva a cabo dicho proyecto, se centran en optimizar los algoritmos de navegación del RAU2, con una tasa de aciertos de más de un 95%.



Figura 1.18: AUV RAU2

Dimensiones (alto/ancho/longitud) en cm.	38/55/116
Peso neto	57 Kg
Comunicación	Basada en radiomodems / umbilical
Grados de libertad	Inclinación, Balanceo y Rumbo
Hardware	Microcontrolador MCS-51
Sistema operativo utilizado	Preprogramado en el Microcontrolador
Sensores	Cámara tipo DOMO a proa y popa
	Sónar
	Brújula

Tabla 1.2: Características principales del RAU2

Como característica más sorprendente, es la no inclusión de un PC central, simplemente un microcontrolador, con lo que a grandes dotes se puede concluir argumentando que lo que la UIB ha diseñado es un versátil vehículo de radiocontrol que es capaz también de dirigirse al lugar preprogramado.

Finalmente el vehículo correspondiente a la UPC, es un ROV, que no cumple la condición de autónomo ya que se alimenta directamente del barco nodriza mediante un cable umbilical, pero es conveniente también hacer referencia a este último proyecto del AIRSUB, el cual se centró en la verificación de un estado óptimo en las instalaciones portuarias.

Un proyecto de innovación constante firmado por la Facultad de Náutica de Barcelona (FNB), la cual consta incluso de un canal de pruebas, barcos nodriza y algunas infraestructuras importantes para llevar a cabo experimentos como el descrito [21].



Figura 1.19: Barco nodriza recogiendo el AUV



Figura 1.20: El AUV de la FNB

Las principales dificultades encontradas son la iluminación, la variación de visibilidad y la maniobrabilidad, ya que los muelles suelen estar concurridos.

3. Proyecto Cormoran

3.1. Introducción

El proyecto Cormoran propuso en su momento el desarrollo de una plataforma de observación oceánica de bajo coste, híbrida entre los AUVs i ASVs, esto quiere decir, que el vehículo se trasladará por la superficie del mar y puntualmente realice inmersiones verticales para la obtención de perfiles de la columna de agua siguiendo órdenes premeditadas.

Estas dos características de la plataforma de observación propuesta, abarataría los costes de producción e incrementaría su eficiencia. Se propone además el desarrollo de la tecnología requerida para optimizar su permanencia y autonomía en el mar, así como para la transmisión en tiempo de operación de las observaciones realizadas i diagnósticos realizados por la propia plataforma.

Finalmente, se considerará la asimilación de los datos obtenidos por la plataforma en un modelo de simulación costera para la construcción en conjunto de un sistema predictivo costero que ayude a la gestión del medio ambiente marino del litoral.

2.1.1. Diseño mecánico

Teniendo en cuenta que el diseño actual corresponde al AUV Cormoran, un primer prototipo sobre el que, necesariamente, deberán realizarse sucesivas modificaciones, se propone un diseño mecánico constituido por una estructura de soporte sobre la que se acoplarán los motores de dirección y propulsión. Esta estructura no es estanca, lo cual va a permitir realizar cualquier tipo de mecanizado.

En el interior de la estructura de soporte se acopla un módulo cilíndrico estanco que contiene el actuador de inmersión y la electrónica de control, así como las baterías de alimentación.

Tal como muestra la figura 2.1, la estructura de soporte se compone de un cilindro de PVC de 1.2 metros de longitud i 32 cm de diámetro exterior. Sobre esta estructura se acopla un motor de propulsión con un empuje de 110 N a una potencia máxima de 250 W. En los laterales del

cilindro se acoplan sendos motores con un empuje de 24 N a una potencia máxima de 80 W. La proa se remata con una semiesfera de fibra de carbono.

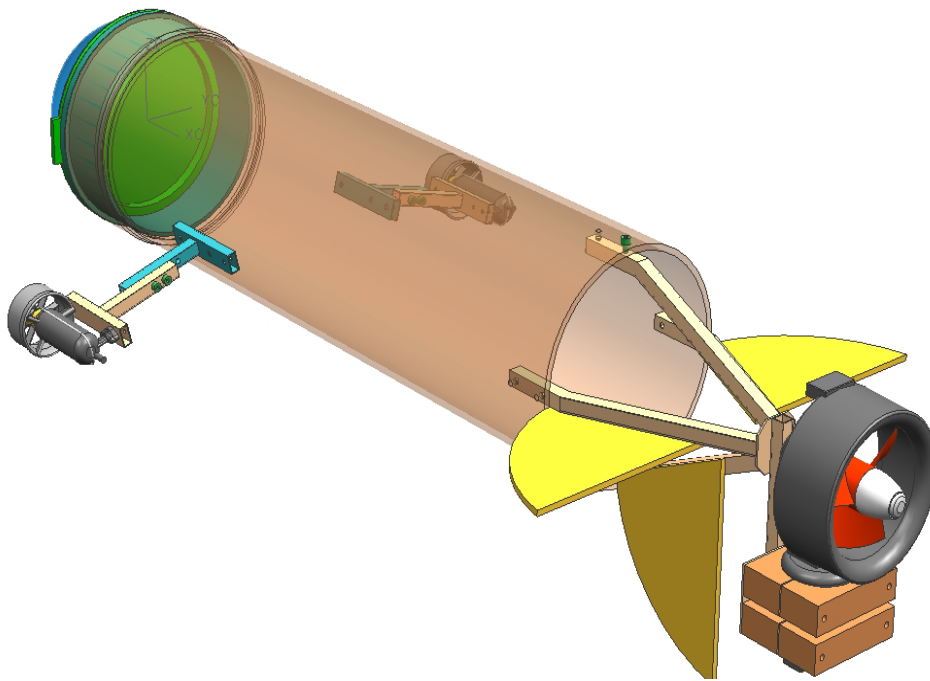


Figura 2.1. Estructura de soporte.

Descripción del módulo estanco.

Tal como muestra la figura 2, el módulo estanco contiene el grupo de inmersión y emersión, los módulos electrónicos de recepción de señal y control de motores, y las baterías de alimentación. Todo el conjunto se acopla al cilindro estanco de PVC mediante una estructura metálica.

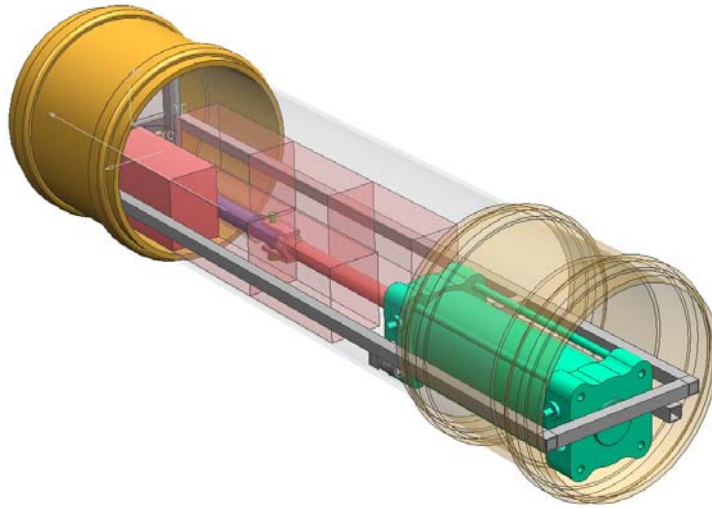


Figura 2.2. Módulo estanco.

El grupo de inmersión y emersión se ha diseñado a partir de un cilindro neumático comercial de acero inoxidable con desplazamiento de 1500 cm³ y un actuador eléctrico lineal con una carrera de 200 mm y un empuje de 300 kg de fuerza. Ver figura 2.3.

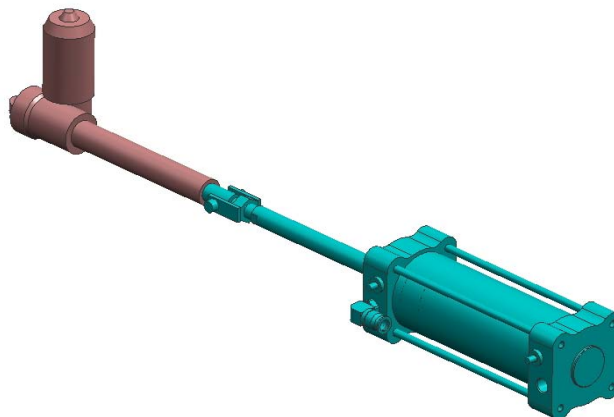


Figura 2.3. Actuador de inmersión y emersión.

2.1.2. Diseño del control manual

En esta fase, el control se realiza de forma manual, mediante el envío de las órdenes de propulsión, dirección e inmersión desde una estación terrestre hasta el vehículo a través de un equipo de radio control.

El objetivo es el estudio y caracterización del comportamiento dinámico del vehículo en el medio acuático, con el fin de obtener los parámetros necesarios para el posterior desarrollo del control autónomo.

Tal como se describe en la figura 2.4, las órdenes de dirección (#1, #2) se convierten en señales PWM que controlan los dos motores de dirección. Las órdenes de inmersión/emersión (#4) se aplican a un circuito de control que actúa sobre el grupo motor-cilindro. Finalmente, las órdenes de impulsión (#3) se procesan en una placa controladora basada en un micro-controlador PIC 16F873, que proporciona la señal de control vía RS485 al motor de impulsión [22].

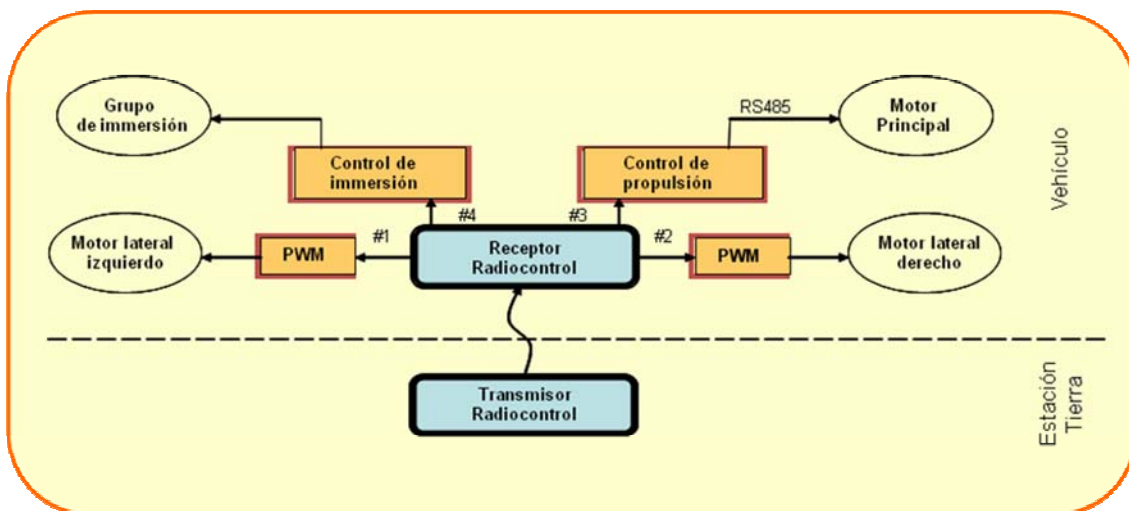


Figura 2.4. Esquema de control manual

2.2. Pruebas realizadas sobre el proyecto Cormorán

En el proyecto Cormorán se probaron de forma satisfactoria todos los sistemas figurantes en la figura 2.4, es decir, el control directo sobre el vehículo mediante radiocontrol, los motores laterales y el motor de empuje principal, así como la inmersión controlada.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento de todos los sistemas del vehículo, mostrados en la figura 2.4, se procedió a realizar el trabajo de campo. Las pruebas se realizaron en una piscina de 25m de longitud, 15m de anchura y 2 metros de profundidad.

La primera vez que se introdujo el vehículo en el agua, ver figura 2.5, se procedió a ajustar su perfecto equilibrado. Se consiguió incorporando un lastre en proa de 3.6kg y un empuje en popa de 1.5kg. Esta situación permitió el inicio de las pruebas de navegación, de direccionamiento y de inmersión.



Figura 2.5. Cormorán

En la prueba de navegación se obtuvo una velocidad aproximada de 1,5m/s con el control del motor de propulsión al 80%. La variación de rumbo se consigue con gran facilidad utilizando los motores laterales a plena potencia y decrementando la potencia del motor de propulsión.

La operación de inmersión/emersión se realizó con toda normalidad actuando sobre el grupo motor-cilindro. La navegación en profundidad resultó igualmente exitosa, manteniéndose el rumbo del vehículo con buena estabilidad de dirección y de profundidad.

Pero no es posible calificar de autónomo un vehículo, que se tenga que controlar de forma directa mediante un mando que implique que el 100% del tiempo de misión tenga que estar alguien pendiente de lo que está sucediendo y accionando in situ los sistemas de movimiento e inmersión, de hecho la motivación del presente proyecto es el primer paso hacia la inclusión de un sistema totalmente autónomo al Cormorán

2.3. Realización del control autónomo

En la segunda fase del proyecto Cormorán, la que está actualmente en ejecución, se desarrollará un sistema de control de navegación, y se incorporarán los elementos necesarios para la adquisición de datos de la columna de agua durante las inmersiones (temperatura, profundidad y conductividad) y los elementos de seguridad del vehículo como podrían ser la supervisión del estado de las baterías, sistemas anticolidión, temperatura y humedad en el interior.

En la figura 2.6 se describe el diagrama previsto para el control autónomo del vehículo. La comunicación entre el vehículo y la estación terrestre es bidireccional y se realizará a través de un radio módem. El control central del vehículo se encarga a un ordenador embebido (PC104), cuyas funciones fundamentales son:

- Adquisición de datos
- Generación de las señales de control de los motores
- Gestión de la seguridad del vehículo
- Realización de la telemetría del vehículo
- Gestión de órdenes de forma directa

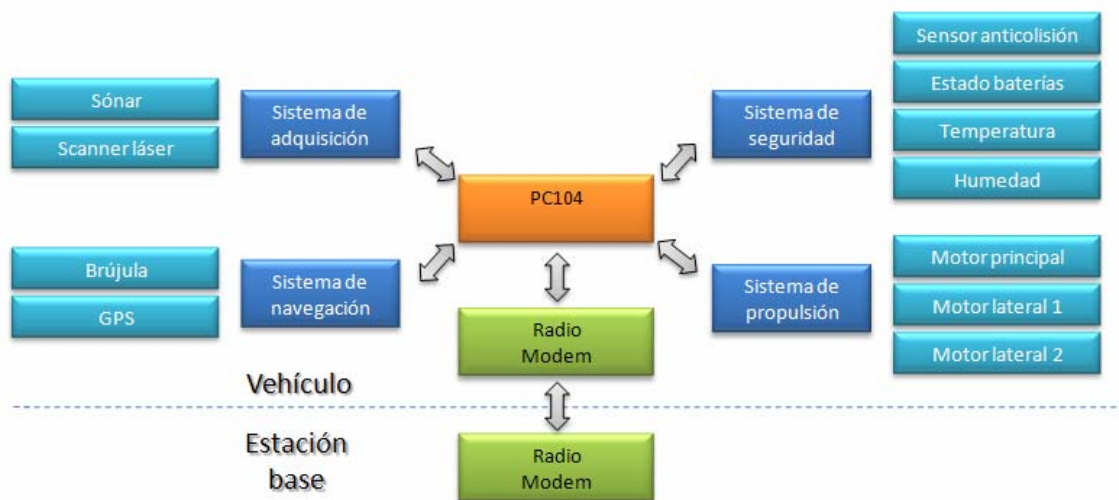


Figura 2.6. Diagrama de bloques de control autónomo

Se concluye el presente capítulo argumentando que en el presente proyecto se tiene previsto realizar, tanto electrónicamente como mecánicamente, el Sistema de navegación y el Sistema de propulsión del sistema de control autónomo global, que sería el diagrama de la figura anterior propiamente dicho.

3. Diseño del sistema de control autónomo

En este tema se realizará una descripción más específica de todos los componentes que forman el sistema completo del control autónomo en esta fase.

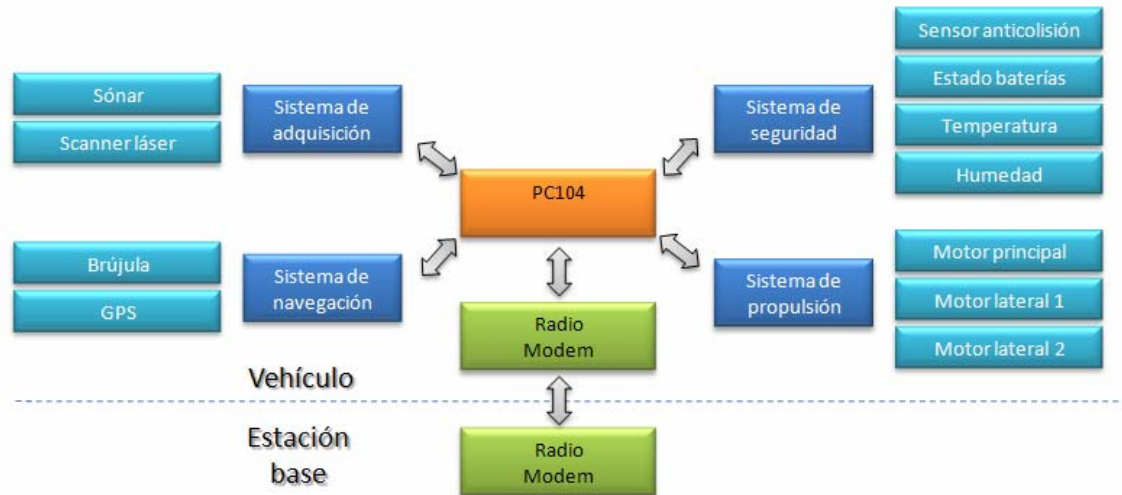


Figura 3.1 Diagrama de bloques del control autónomo final

El sistema de control propuesto se compone de 4 partes claramente diferenciadas:

- Sistema de navegación
- Sistema de propulsión
- Sistema de seguridad
- Sistema de adquisición

El primer punto, **Sistema de navegación**, se incluye la brújula (o inclinómetro) y el GPS, que serán las partes vitales de dicho punto, a partir de este par de elementos, junto con el PC embebido central PC104, se obtendrá con total precisión la ubicación, rumbo, inclinación y balanceo del AUV.

El siguiente punto, **sistema de propulsión**, incluye los motores laterales y el motor de empuje principal así como los sistemas auxiliares para su funcionamiento llamados drivers. Posteriormente todos estos elementos serán descritos y analizados con detalle.

Los últimos dos puntos restantes no forman parte de la realización del presente proyecto, **Sistema de adquisición**, encargado de suministrar los datos necesarios para tener una completa información de la posición del AUV y el **sistema de seguridad**, parte importante para profundidades grandes y con el que se evitarán golpes o simplemente daños en el casco y chasis del vehículo.

Para el control del vehículo e interpretación de la información recibida, en primer lugar necesitaremos una unidad de proceso central, que sea capaz de analizar órdenes externas o accionar elementos interiores dadas las circunstancias, el elemento en cuestión es un PC embebido, que a pesar del sufijo, no deja de tener, aunque limitadas, las mismas prestaciones que una CPU normal a nivel de usuario.

Recordemos que el PC será descrito con detalle en el punto 3.1 de la presente memoria.

Como puente entre ambas partes existe la necesidad de establecer un vínculo entre el control y la actuación, algo que sirva para transmitir las órdenes de actuación, para este fin el vehículo incluye un hardware que interpretará comandos ofrecidos desde la CPU y que accionará de una manera u otra, dependiendo de sus limitaciones, los sistemas mecánicos. El sistema en concreto es una placa de control de servos, que no es más que un continuo control de señales procedentes desde el exterior.

Posteriormente se procede a comentar el segundo gran bloque, el sistema de actuación, dentro del cual tenemos los drivers de control de los sistemas mecánicos del AUV. Dichos elementos son los que transformarán las señales procedentes del nexo de unión entre ambos sistemas, la recién descrita placa de servos, en mayor o menor cantidad de corriente que irá a parar directamente a la parte mecánica del vehículo.

A parte de los sistemas mencionados, existe también el nexo de unión entre la nave y el exterior, es decir, emisor-receptor de todo el sistema. Un elemento más añadir por tal de establecer un punto de control y de recogida de datos, que después se mencionará, con el que poder actuar directamente sobre el vehículo si fuera necesario, una alarma, o un funcionamiento erróneo a simple vista.

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

Se estaría hablando de un sistema formado por 2 antenas y 2 traductores, o lo que es lo mismo, 2 antenas y 2 radiomodem, siendo éste último el que convierta las señales del espectro radioeléctrico a señales que comprendan tanto la CPU interior como la CPU exterior de control. La limitación más evidente de este tipo de sistema en vehículos submarinos es la pérdida total de la noción de su posición bajo el agua, que aunque el AUV siga interpretando las órdenes internas programadas exteriormente no existe forma alguna de recibir ningún dato hasta que vuelva a emerger.

Concluyendo la presente descripción se incluye la figura 3.1 modificada para adaptarla a los objetivos propuestos:

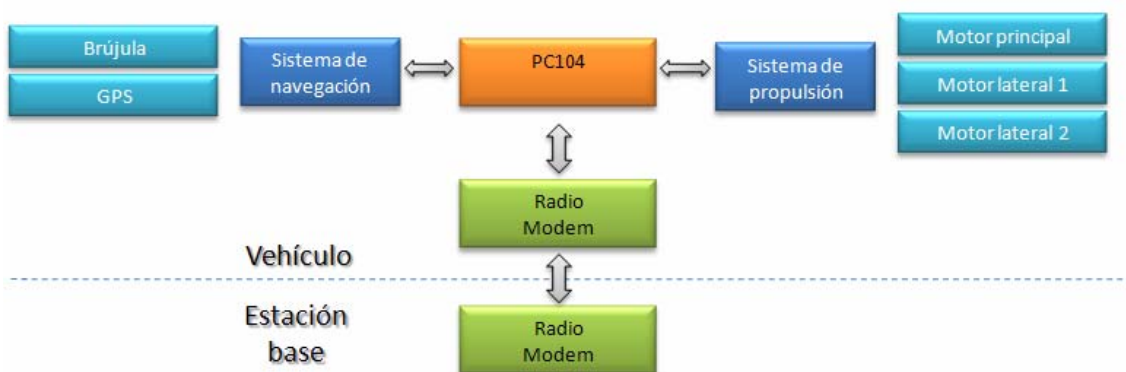


Figura 3.1b Diagrama de bloques del control autónomo propuesto

3.1. Características de la CPU

La CPU ubicada en el interior de la nave, el AUV, es un ordenador de dimensiones totalmente optimizadas, o lo que es lo mismo, un PC embebido. Concretamente a este tipo de PC's se les conoce como PC104 y que han de ser diseñados según las estrictas reglas del consorcio PC104.

Dentro de la CPU, como en cualquier otra, se destaca, el procesador (de la firma AMD), la memoria RAM (de la firma Kingston) y la memoria de uso común, formada por una tarjeta compact flash de 16GB que será donde esté almacenado el software de control del AUV

También es destacable toda la conectividad, es decir, los puertos series, los USB y las posibles expansiones que tiene este peculiar PC.

3.2. Descripción del estándar PC/104

El estándar PC/104 es una especificación publicada por el consorcio PC104, organismo encargado de velar y difundir dicho estándar.

Su nombre deriva de su arquitectura PC y del conector de 104 pines. Con el uso de la tecnología PC/104, ingenieros y programadores pueden servirse de sus conocimientos de hardware y software para diseñar aplicaciones PC-compatibles con este tipo de sistema encastado [23].

PC/104 es simplemente una versión de una arquitectura PC para aplicaciones encastadas e industriales, donde el espacio, el consumo de energía y la fiabilidad son factores críticos. Sin embargo, presenta algunas diferencias en cuanto a los sistemas PC convencionales; algunas de las cuales, las enumeramos a continuación:

- Las tarjetas PC/104 (90 x 96 mm) son de dimensiones reducidas si las comparamos con las tarjetas ISA; son comparables en medida a un disco de 3.5", y se apilan una sobre la otra mediante conectores *pin/socket*. De esta manera se prescinde del uso de placa base.
- El consumo de energía es mucho más reducido, 1 o 2 W por módulo.
- Los sistemas PC/104 están diseñados para ser más robustos que los sistemas PC, ya que llevan un complejo y optimizado diseño

A la hora de programar este tipo de sistema, se pueden utilizar herramientas convencionales de programación como: APIs, compiladores, depuradores, herramientas de desarrollo, sistemas operativos, etc. De esta manera se ahorra la necesidad de adquirir conocimientos específicos para este sistema.

Existen infinidad de módulos disponibles para poder ampliar la placa PC104, algunos de ellos son:

- Tarjetas CPU compatibles con PC
- Expansores de puertos
- Moduladores/demoduladores
- Video: VGA, LCD, EL, Frame Grabbers
- Red: Ethernet, CAN bus, ARCNET
- Controladores: FDD, IDE HDD, SCSI
- ...

Las especificaciones mecánicas y eléctricas de dichos módulos permiten que sean compatibles y, por lo tanto, intercambiables con productos de cualquier fabricante que utilice PC/104 como estándar.

A la hora de utilizar los módulos se tienen varias alternativas:

- Se puede utilizar como un sistema totalmente independiente (*stand alone*)
- Se pueden añadir como parte de otro sistema
- Varios módulos se pueden apilar para crear un sistema

Una de las características clave del PC/104 es su conector *pin/socket*. Cada conector está diseñado de tal manera que permite apilar varios módulos; esto brinda una mayor flexibilidad del diseño, así como una mayor capacidad de ampliación. PC/104 especifica dos versiones: 8 y 16 bits, las cuales corresponden a implementaciones PC, PC/AT y PC/ATX. En el mercado actual, es difícil encontrar varias versiones de 8 bits, ya que las más demandadas y modernas son las de 16 bits. Sin embargo, debido a la demanda de sistemas que ofrecen un mayor rendimiento, ha surgido una ampliación del estándar, conocida como PC/104 Plus.

Las señales del bus PC/104 son idénticas a los del estándar ISA. El bus P1 tiene 64 pines y se combinan con los 40 pines del bus P2 ($64 + 40 = 104$). La corriente de las señales es de tan solo de unos 4 mA; de esta manera se reduce el consumo de energía y la disipación de calor de una forma sustancial.

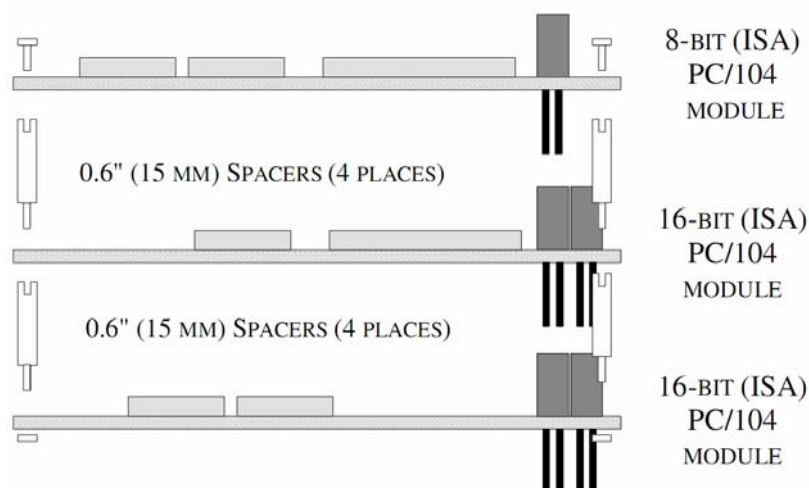
Independientemente, si el host es una tarjeta PC/104, STD bus, compact PCI, VME, ISA o PCI, se pueden apilar hasta un total de 4 módulos. El número máximo de módulos PC/104 Plus es exactamente el mismo.

La extensión del estándar PC/104 Plus básicamente se diferencia del PC/104 en que el primero contiene un bus PCI (*Peripheral Component Interconnect*). Este bus permite un acceso directo de los dispositivos periféricos a la CPU, con lo cual se puede mejorar de forma considerable el rendimiento del sistema.

El hecho de utilizar un sistema que utilice este estándar es principalmente por razones de espacio y tiempo. Es necesario un sistema suficientemente potente como para que nos permita procesar toda la información que se envíe de los diferentes sensores repartidos por todo el AUV y que nos informe sobre su estado y el entorno. Esta potencia de cálculo necesaria la tendríamos también si usáramos una arquitectura similar a la de un PC de sobremesa. No obstante, sus dimensiones no nos permitirían colocarlo dentro de vehículos a escala, como naves, aeronaves o vehículos terrestres.

Una consideración previa a tener en cuenta, es la exigencia a la cual esté sometido el sistema, como en el caso del presente proyecto, presión, humedad, temperatura... cosa que también sucede en el caso de las aeronaves o vehículo autónomos terrestres que por excelencia soportan temperaturas extremas.

Para tener una idea de la flexibilidad y ahorro que supone un sistema PC/104, podemos observar la siguiente ilustración donde aparecen tres módulos apilados con las dimensiones del conjunto:



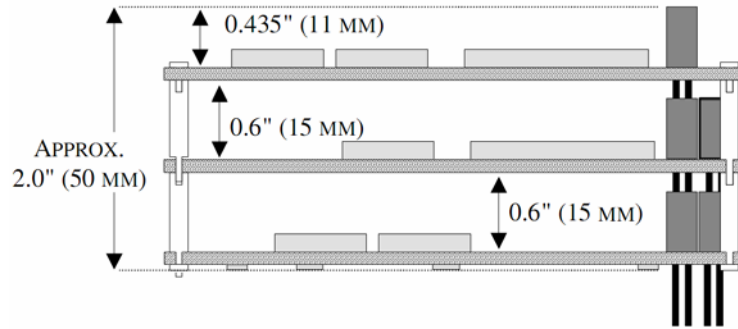
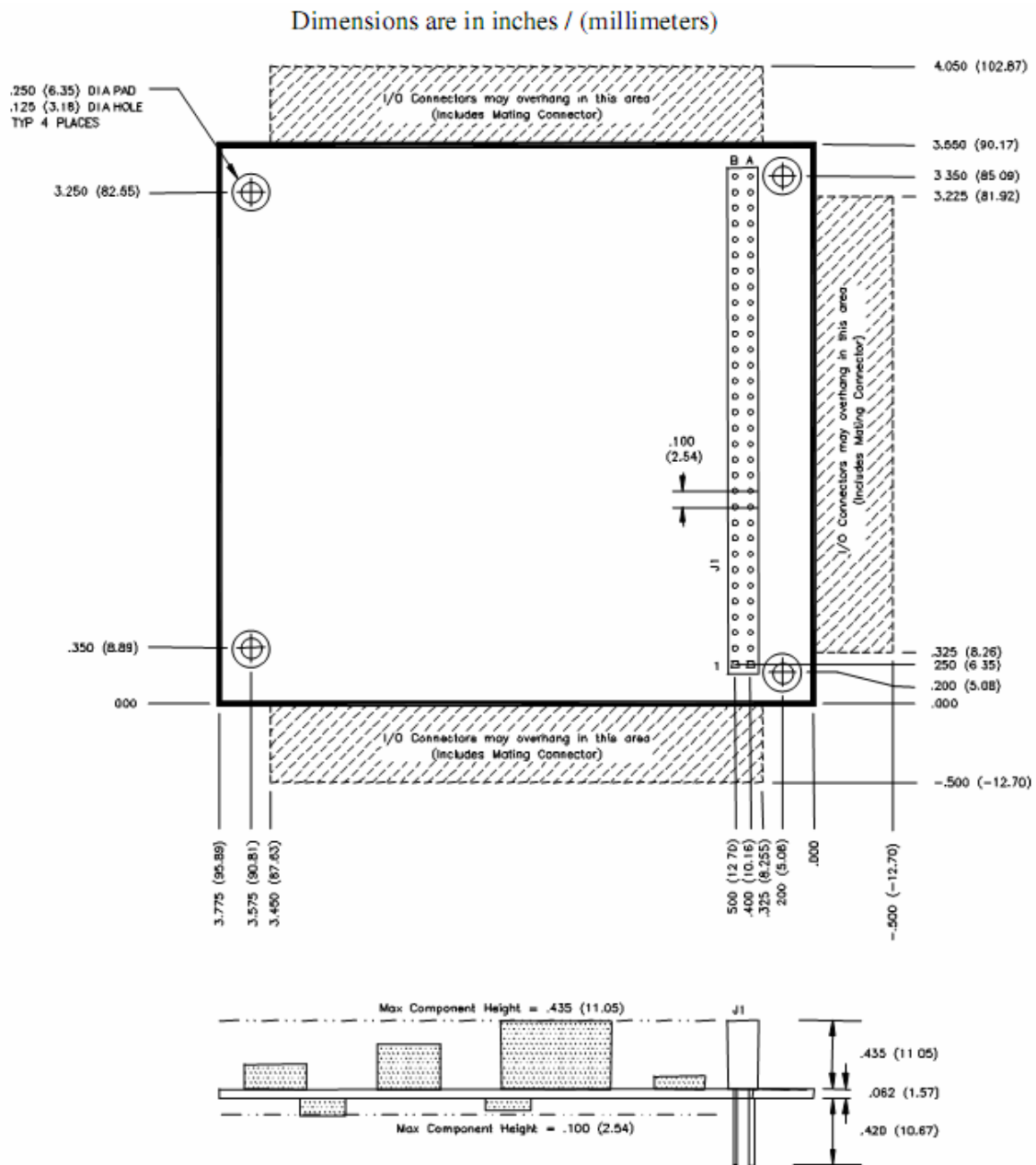


Figura 3.2 Configuración modular PC/104

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

A continuación mostramos cuales son las dimensiones de la placa en sus dos posibles versiones: de 8 bits y de 16 bits.



Dimensions are in inches / (millimeters)

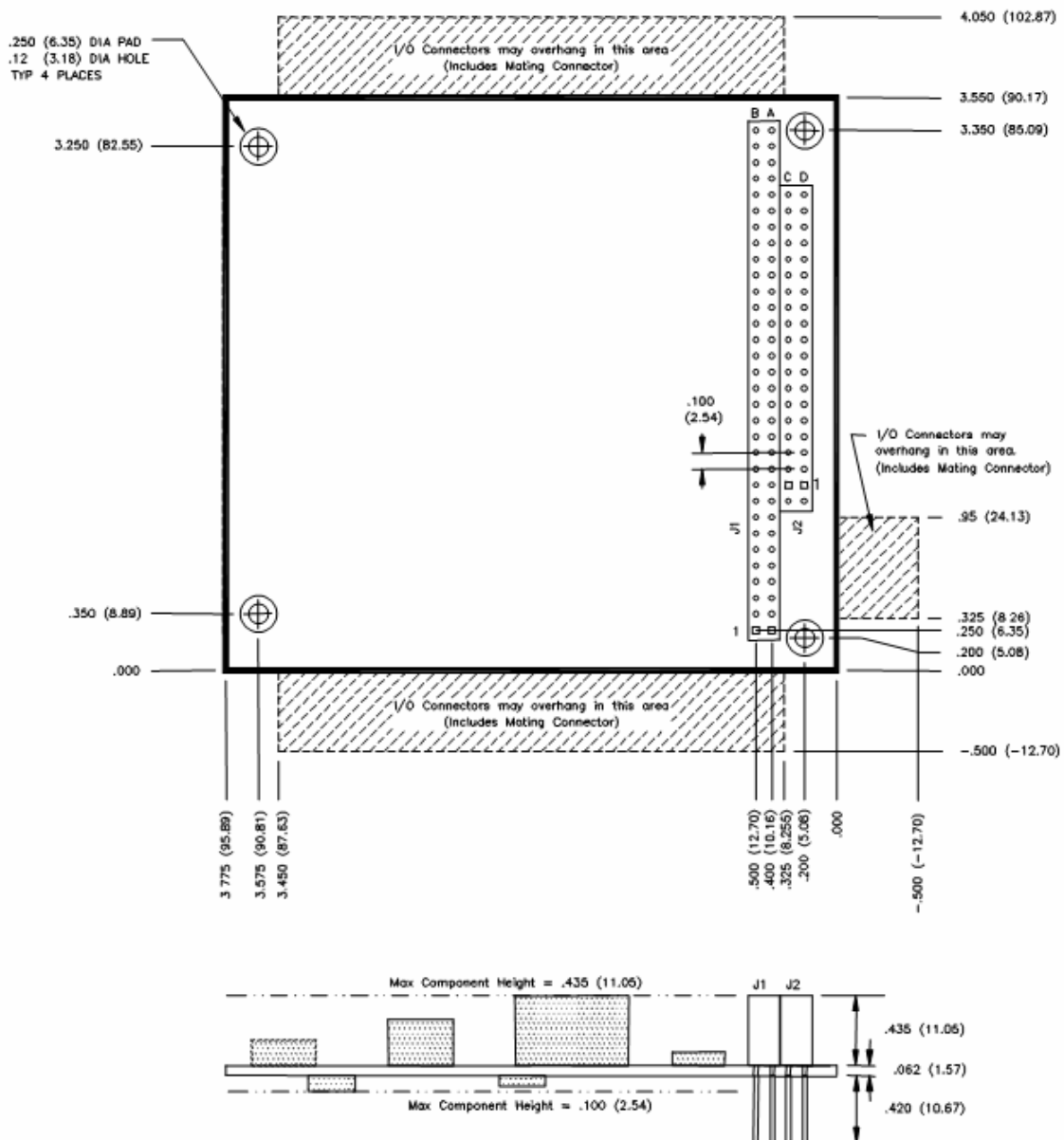


Figura 3.3 Dimensiones del módulo PC/104 en 8 y 16 bits

Los requerimientos de alimentación generales de los módulos también vienen estipulados en el estándar. Se muestran en la siguiente tabla:

Tensión nominal	Tensión máxima	Tensión mínima	Corriente máxima
+12 V	+12.6 V	+11.4 V	1.0 A
+5 V	+5.25 V	+4.75 V	2 A
-5 V	-4.75 V	-5.25 V	0.2 A
-12 V	-11.4 V	-12.6 V	0.3 A

Tabla 3.1 Requerimientos de alimentación del módulo PC/104

Los modelos descritos anteriormente pertenecen la versión 1.4 del estándar creado por el PC/104 Embedded Consortium en abril del 2001. Dos años más tarde aparece la última versión,

conocida también como PC/104-Plus (2.0). Existen ciertas diferencias entre las dos versiones las cuales se resumen a continuación.

- Se le ha incorporado un bus PCI.
- La parte superior del componente se ha reducido de 0.435 a 0.345" y la parte inferior se ha aumentado de 0.100 a 0.190" con el propósito de aumentar la flexibilidad del módulo.
- Se ha añadido control lógico para manejar la alta velocidad que requiere el bus.

Por lo que concierne a los requerimientos de alimentación son muy similares a los mostrados anteriormente con la excepción de que se le ha añadido la opción de poder alimentar a 3.3 V posibles módulos adyacentes.

3.2.1. Módulo CPU PC/104+ PM-6100

El modelo de la placa finalmente escogida es la PM-6100 PC/104+, a continuación se describen las características más importantes.

El cerebro del sistema electrónico encargado de recoger los datos provenientes de los sensores, realizar los cálculos necesarios y dar las órdenes pertinentes a los diferentes sistemas que gobiernan el AUV es una CPU AMD Geode LX800. Dicho microprocesador tiene una frecuencia de reloj de 450 MHz, teniendo en cuenta nuestra limitación de espacio y peso y la aplicación que pensamos llevar a cabo, este tipo de placa es totalmente conveniente. Además, su bajo consumo y su baja disipación de calor también contribuyen a facilitar su colocación en espacios reducidos.

Los sistemas operativos compatibles con este modulo PC/104+ son variados; DOS, Linux, RTLinux, QNX, Windows 98/NT/XP/2000, Windows CE.Net y VxWorks, básicamente todos los compatibles con PC excepto los más exigentes así como Windows Vista o MacOS.

Dicha selección permite tener una total libertad a la hora de seleccionar el sistema operativo, para el caso del presente proyecto se eligió Windows XP Professional Edition¹, simplemente por cuestión de facilidad de programación, ya que los lenguajes de programación existentes suelen estar mucho más extendidos para el sistema de Microsoft.

¹ Microsoft Windows y semejantes son marca registrada de Microsoft Corporation

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

Igualmente es posible también la inclusión del sistema embebido de Windows, llamado Windows XP embedded o Windows CE, eso sí, incrementando el coste de una licencia, y dado que el PC104 elegido funciona sobradamente con el sistema elegido, se considera una elección correcta aunque la finalidad sea la de instalarlo en sistemas PC de sobremesa.

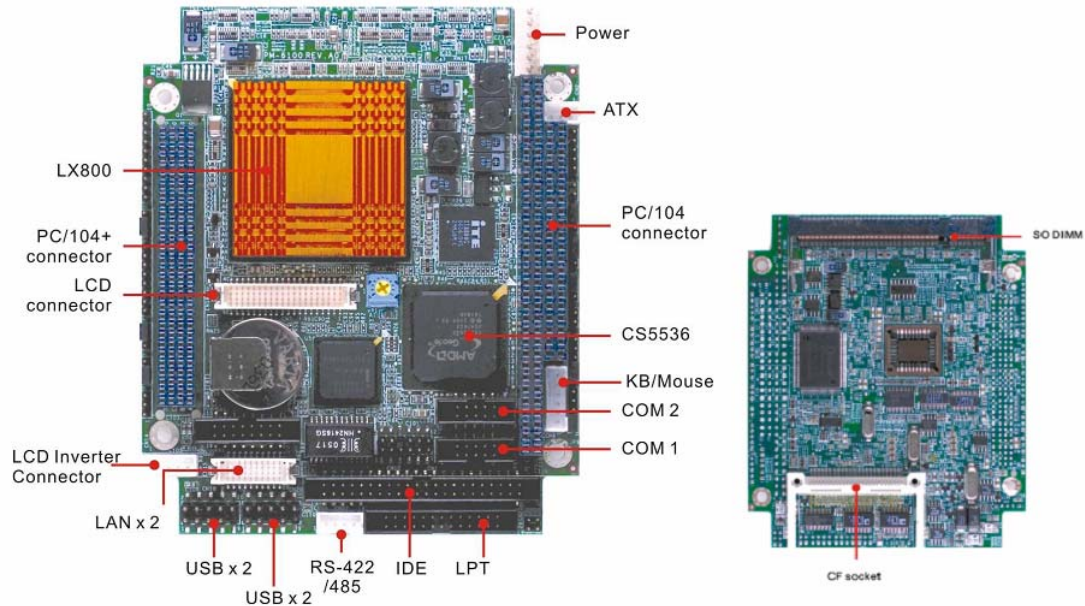


Figura 3.5 Módulo PM-6100 PC/104+

Con el módulo PM-6100 PC/104+ se incluyen diferentes cables que nos permiten conectar numerosos periféricos con sus respectivos conectores estándares.

- 4 USB 2.0 (2 conectores externos y 2 directos a la placa)
- Puerto RS-232
- Puerto RS-232/422/485
- Puerto paralelo que soporta SPP/ECP/EPP
- Conector VGA
- Conector PS/2 para el teclado
- Puerto Ethernet 10/100Mbps
- Conector para CompactFlash

Recordemos que todas las características expuestas son ampliables.

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

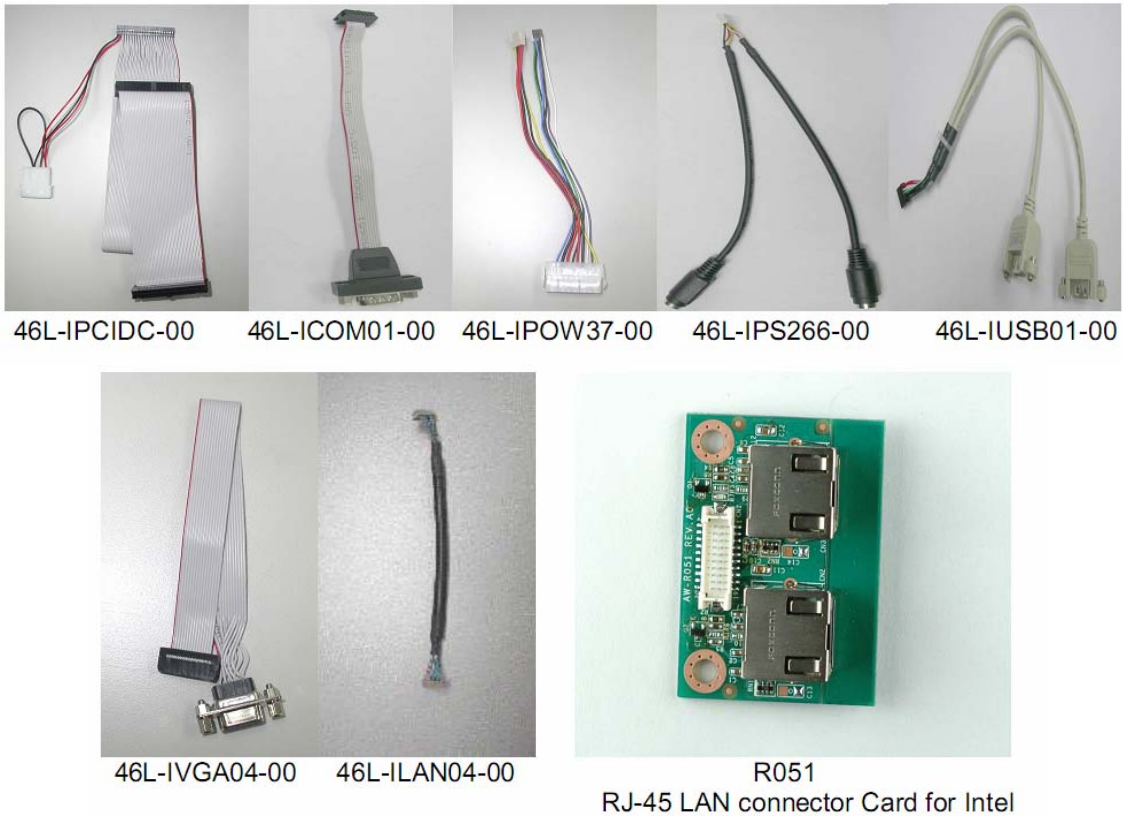


Figura 3.6 Cables suministrados con el módulo PM-6100 PC/104+

Estándar	Descripción del cable
46L-IPCIDC-00	Cable IDE (45cm)
46L-ICOM01-00	Cable puerto COM 13 cm (2mm)/RoHS
46L-IPOW37-00	Cable alimentación ATX
46L-IPS266-00	Cable 6+6 KB/MS 17cm (2mm)
46L-IUSB01-00	Cables USB 25cm
46L-IVGA04-00	Cable VGA (2mm)
46L-ILAN04-00	Cable LAN 20cm para R051
R051	Conector RJ-45 LAN

Tabla 3.2 Descripción de los cables del módulo PM-6100 PC/104+

La siguiente tabla presenta el resumen de las características del módulo PM-6100:

Especificaciones PM-6100	
Funciones generales	
CPU	AMD Geode LX800 processor
BIOS	Insyde® 512KB Flash BIOS
Chipset	AMD CS5536
I/O Chipset	Winbond 83627HG
Memoria	200-pin DDR SO-DIMM socket hasta 1GB DDR 333/400 Memoria
Conector IDE	Soporta dispositivos Ultra ATA-66 IDE
Puerto paralelo	Soporta SPP/ECP/EPP
Puerto serie	Un RS-232 y un RS-232/422/485
IR	IrDA Tx/Rx header
Conector KB/Mouse	keyboard/ mouse pin-header
USB conectores	USB 2.0 puertos (dos en conectores externos, dos a través de pines internos)
Batería	Batería de litio para retención de datos hasta 10 años (en condiciones normales)
Watchdog Timer	Software programable, nivel 1-255
Conector PC/104+	conectores PC/104+ para PCI y ISA
Sistema de alimentación Flat Panel/CRT Interface	APM 1.2 compliant
VGA Chipset	AMD Geode LX-800
Display memory	Share system memory 2~254MB
Display type	Simultaneous supports CRT and 24-bit TFT LCD
Resolution	CRT Resolution 1920 x 1440 @ 32bpp or 1660 x1200 @ 32bpp CRT & LCD simultaneous: hasta 1024 x 768 @ 18bpp (60Hz)
Ethernet Interface	
Chipset	Dual Intel 82551ER
Ethernet interface	Controlador PCI 100/10 Mbps Ethernet
SSD Interface	50-pin CompactFlash™ socket
Adaptador de sonido (opcional)	
Chipset	Codec opcional AC 97
Controlador de audio	SouindBlaster Pro Hardware and Direct Sound Ready AC97 Digital Audio
Audio interface	Salida para micro y altavoz
Software Driver	Soporte para Windows 95, Windows 98 y windows NT
Especificaciones mecánicas	
Tensión de alimentación	VCC (4.75V a 5.25V),
Máxima potencia requerida	+5 V @2.2A,
Rango de temperatura	32 a 140°F (0 a 60°C)
Dimensiones	95.9mm x115.6mm
Peso	0.6 lb. (0.3 Kg) Peso neto

Tabla 3.3 Características del módulo PM-6100

A modo de resumen se propone la tabla 3, en donde quedan defendidas las robustas características del sistema PC104 propuesto, que como se dijo anteriormente, cumple con todas las exigencias que requiere el control y manejo del AUV del presente proyecto.

3.2.2. Placa de puertos serie MSMX104+

Todos los periféricos que conectan directamente con la CPU PC/104+ (brújula electrónica, receptor GPS, placa de control de servos y radio-modem transmisor) lo hacen a través de la interfaz serie de protocolo RS-232. La CPU utilizada consta tan solo dos puertos de este tipo, de ahí la necesidad de incluir la placa de puertos serie.

La interfaz RS-232 define el método de transferencia de datos en serie entre un PC y su hardware externo. La definición incluye el tipo de interfaz y los niveles de señal. La mayor parte de los ordenadores y periféricos contienen uno o más puertos de serie del tipo RS-232.

Esta interfaz utiliza líneas de transmisión en las que cada nivel de línea de señal es referido a un nivel de masa en común. La interfaz RS-232 ha sido diseñada para utilizarse en la transferencia de datos en serie en que la distancia entre el equipo que se comunica es menor a 15 m. Además, se aplica a una multitud de formas que difieren ligeramente (por ejemplo: configuraciones de pines diferentes) y, por esta razón, PC's y periféricos no tienen la necesidad de ser directamente compatibles el uno con el otro. Un ejemplo de terminales macho y hembra, respectivamente, de esta interfaz RS-232 puede verse en la Figura 7.



Figura 3.7 Terminales de la interfaz RS-232

El modelo del módulo escogido es el MSMX104+ MICROSPACE [19]. Gracias a esta extensión del PC/104-Plus se pueden conectar hasta un total de 10 dispositivos extra que utilicen el estándar RS-232 (2 del propio PC/104-Plus y 8 correspondientes al módulo extra)

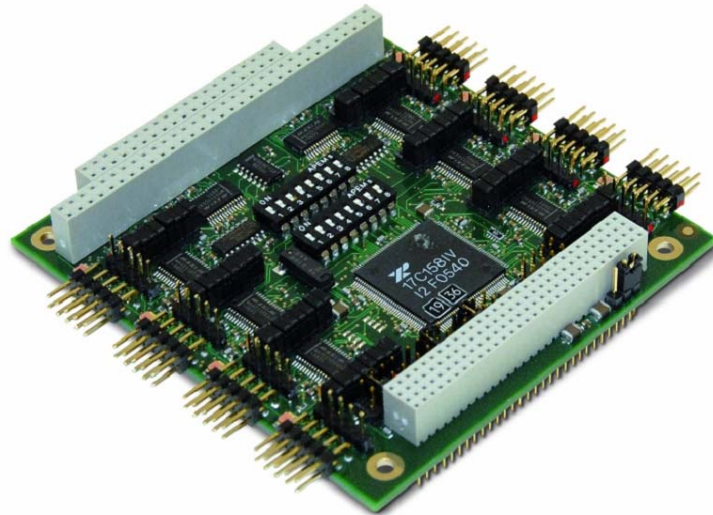


Figura 3.8 Placa de puertos serie MSMX104+

En la siguiente tabla se pueden observar las especificaciones de la placa de puertos serie MSMX104+:

Puertos Serie	
Número de puertos	8
Protocolo	RS-232, RS-485 y TTL
Velocidad máxima del puerto	115 kbps
Parámetros del puerto serie	5,6,7 o 8 bits de datos Paridad par, impar o sin paridad
Protección	Todas las salidas protegidas a corto circuito
RS-232	
Impedancia de entrada	3 K Ω mínimo
Variación voltaje de entrada	± 30 V máximo
Variación voltaje de salida	± 5 V mínimo, ± 7 V típico
General	
Conector E/S	1 conector de 10 pines estándar
Dimensiones	90 x 96 x 15 mm
Alimentación	5 V o 3.3V a través de PCI
Rango de temperatura de trabajo	-25 °C a +70 °C
Humedad de trabajo	5 – 90 % sin condensación
Bus PC/104+	PCI multiplexado a 32 bits
Peso	80 gr

Tabla 3.5 Especificaciones de la placa de puertos serie MSMX104+

Como característica a destacar, es posible comprobar el extenso rango de temperatura soportado por este dispositivo, que le puede calificar digno de su utilización dentro de elementos que por necesidad soporten grandes temperaturas.

A pesar de que el sistema de expansión descrito está fuera del alcance de este proyecto, ya que esta necesidad nace de la inclusión de todos los sensores externos que formarán parte de la siguiente fase del proyecto [24].

3.2.3. CompactFlash TS16GCF133

Para las pruebas que se han realizado en el laboratorio se ha necesitado instalar y configurar un sistema operativo en un disco duro IDE corriente. Al ser este un dispositivo muy conocido, se aseguraba ahorrar tiempo y empezar a programar lo antes posible, también se eliminaban 2 grandes inconvenientes, la exigencia energética y las vibraciones generadas por este dispositivo de almacenamiento masivo, ambas inexistentes en la solución propuesta.

Pero es obvio que existe la necesidad de un dispositivo capaz de almacenar un S.O. y con unas prestaciones adecuadas para garantizar un funcionamiento ágil de éste, además de ser compatible con el estándar PC/104+. La solución la encontramos en las CompactFlash, en este caso de la firma Transcend.

Una CompactFlash (CF) es un dispositivo de almacenamiento de datos que utiliza memoria flash basada en tecnología NAND. Aparece para el dispositivo host como si fuera un disco duro de un tamaño definido y tiene un diminuto controlador IDE integrado en la misma CF. Actualmente ofrece una velocidad de transferencia de datos de hasta 66 MB/s, este parámetro varía en función del estándar CF (CF, CF+ o CF 3.0). De todas sus características cabe destacar su tamaño reducido y capacidad de almacenamiento (hasta 128 GBytes).

Finalmente se decidió el uso de una CompactFlash debido a su bajo peso, tamaño reducido, compatibilidad con el estándar PC/104+, bajo consumo, alta velocidad y carencia total de vibraciones. El modelo de la CF es una TS16GCF133 (figura 9) con una capacidad de 16 GB. A continuación se resumen sus principales características.

Alimentación	3.3 V / 5 V
Capacidad	16 GB
Conector	50 pines
Velocidad de transferencia	Lectura - 20MB/s Escritura - 10MB/s
Peso	11.4 g
Dimensiones	42.8 x 36.4 x 3.3 mm
Rango de temperatura	-25°C a 85°C

Tabla 3.6 Características de la CompactFlash TS32GCF133 de *Transcend*



Figura 3.9 CompactFlash TS16GCF133 de *Transcend*

3.3. Sistema de navegación

3.3.1. Brújula/inclinómetro TCM2.6

La brújula es un instrumento que sirve para orientarse y, por tanto, es un elemento de navegación imprescindible que permite conocer el rumbo que lleva el vehículo. La seleccionada para formar parte de nuestro sistema es la brújula electrónica TCM2.6, de la firma PNI Corporation.

La TCM2.6 integra un sensor de detección del campo magnético de 3 ejes, un sensor de inclinación de 2 ejes y otro del rumbo de la brújula, en un único módulo. Así pues, esta brújula proporciona, además del rumbo, el *pitch* (cabeceo) y el *roll* (balanceo) del aparato, es decir, funciona también como un inclinómetro. Estos tres parámetros (rumbo, inclinación y balanceo) son indispensables a la hora de diseñar el sistema de control que regula la estabilidad del AUV.



Figura 3.10 Brújula electrónica TCM2.6

Las ventajas que suponen la utilización de este modelo de brújula electrónica son la compatibilidad de ésta con los sistemas existentes, el bajo consumo de energía, la reducida dimensión, la inmunidad a grandes señales de ruido en todas las condiciones y el gran rango de medición del campo magnético que proporciona. En la Tabla 7 se muestran sus especificaciones de manera detallada.

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

Parámetro	Típico	Unidades
Especificaciones del rumbo		
Precisión del rango de inclinación	0,8°	Grados RMS
Resolución	0,1°	
Repetibilidad	0,1°	
Máximo ángulo de pendiente	50°	Grados
Especificaciones del magnetómetro		
Rango calibrado de medida del campo	±80	μT
Resolución magnética	±0,05	
Repetibilidad magnética	±0,1	
Especificaciones del inclinómetro		
Precisión de cabeceo	0,2°	Grados RMS
Precisión de balanceo	0,2°	
Rango de inclinación	±50°	Grados
Resolución de la inclinación	0,1°	
Repetibilidad de la inclinación	0,1°	Grados RMS
Calibración		
Calibración <i>Hard Iron</i>	Sí	-
Calibración <i>Soft Iron</i>	No	
Especificaciones mecánicas		
Dimensiones (L x W x H)	3,4 x 4,3 x 1,3	cm
Peso	12	Gramos
Opciones de montaje	Montaje para tornillos / Punto muerto horizontal	-
Conector para RS-232	9 pines	-
Especificaciones E/S		
Latencia de encendido	<210	mSeg
Latencia de modo de espera	<1	-
Máxima velocidad de muestreo	8	Muestras/segundo
Velocidad de comunicación del RS-232	300 a 115200	Baudios
Formatos de salida	Protocolo TCM2 ASCII	-
Especificaciones de potencia		
Tensión de alimentación	3,6 a 5 V (no regulados)	VDC
Corriente (Salida continua)	Máxima: 22 Típica: <20	mA
Modo ralenti	18	
Modo de espera	0,6	
Especificaciones ambientales		
Temperatura de operación	-20 a 70	°C
Temperatura de almacenamiento	-40 a 85	
Choque	2500 G's por MIL-STD-810F	-
Vibración	Calificado para MIL-STD-810F	
Humedad	No condensación / Calificado para MIL-STD-810F	

Tabla 3.7 Especificaciones de la brújula/inclinómetro TCM2.6

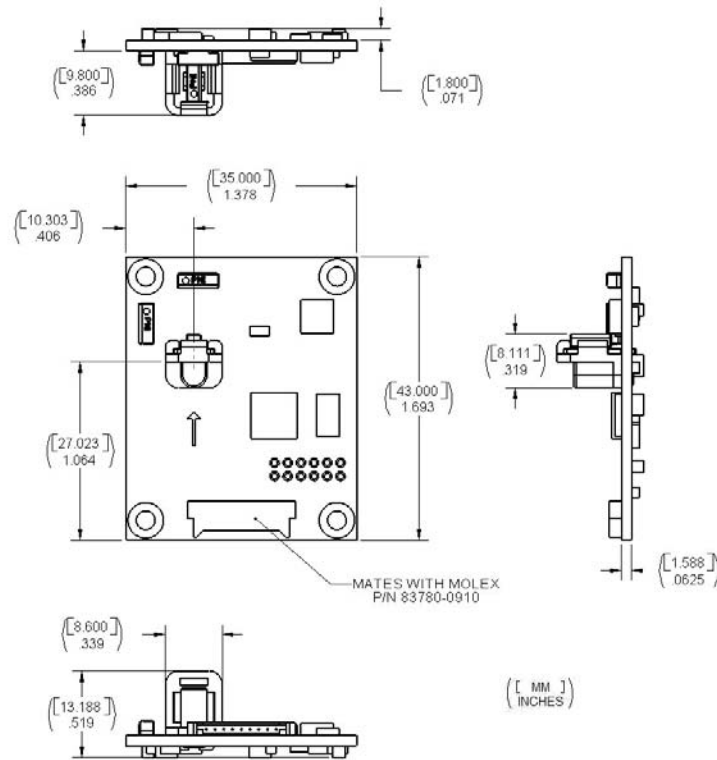


Figura 3.11 Dimensiones de la brújula electrónica TCM2.6

3.3.2. Modos de funcionamiento

Una vez conectada la brújula/inclinómetro, ésta queda en modo de espera (*standby*). Es entonces cuando se pueden obtener datos del sensor de manera manual o a partir de una orden de solicitud de datos. También es posible habilitar el funcionamiento en modo continuo, en el cual el sensor envía periódicamente las tramas de información, a una velocidad de muestreo que puede ser determinada por el usuario [25].

3.3.3. Sintaxis de los comandos

Existen tres tipos de comandos que pueden ser utilizados para programar la brújula electrónica TCM2.6:

- Comandos de configuración de parámetros por el usuario.

- Comandos de petición de datos, los cuales permiten consultar la información de la TCM2.6 o los valores de los parámetros definidos por el usuario.
- Comandos de acción, que habilitan a la TCM2.6 para llevar a cabo una acción específica.
- Comandos reservados a su puesta en marcha en fabrica (default).

Todos los comandos deben ir seguidos por “<cr>” o “<cr><lf>”. Los caracteres “<lf>” son ignorados por la TCM2.6, pero se soportan para permitir la compatibilidad con una variedad de terminales. En la Tabla 8 se ofrece una breve descripción de los comandos más comunes, que ilustran la flexibilidad de la brújula a la hora de adaptarse a las necesidades del usuario.

Comando	Descripción
Comandos de petición de datos	
c?	Actualizar la brújula
i?	Actualizar el inclinómetro
lc?	Consultar la última puntuación de calibración
m?	Actualizar el magnetómetro
s?	Actualizar una única trama de salida
t?	Actualizar la temperatura
Comandos de acción	
cc	Borrar los datos de calibración
fabrica	Configuración de fábrica
go	Entrar en modo continuo
h	Parar muestreo continuo, entrar en standby
halt=	Habilitar la parada por un único carácter
mpcal=	Calibración multipunto
sleep	Modo de espera
wake	Despertar del modo de espera
ax	Reiniciar en caliente
Comandos de configuración de parámetros por el usuario	
b=	Seleccionar los baudios
damping=	Habilitar el filtro para amortiguar la salida
ec=	Habilitar los datos de la brújula para la trama de salida
em=	Habilitar los datos del magnetómetro para la trama de salida
ep=	Habilitar los datos de cabeceo para la trama de salida
er=	Habilitar los datos de balanceo para la trama de salida
et=	Habilitar los datos de temperatura para la trama de salida
ma=	Seleccionar la opción de salida del magnetómetro
mag_dec=	Seleccionar el ángulo de declinación
sdo=	Seleccionar el formato de la trama de salida del RS232
sn=	Seleccionar el norte real o magnético
timeconst=	Seleccionar el valor de filtrado de las salidas
uc=	Seleccionar las unidades de la brújula
ui=	Seleccionar las unidades del inclinómetro
ut=	Seleccionar las unidades de temperatura

Tabla 3.8 Comandos comunes de la TCM2.6

3.3.4. Datos de salida del sensor

El formato de los datos de salida de la brújula TCM2.6 puede ser seleccionado por el usuario entre el formato NMEA 0183 y el estándar. El protocolo NMEA (*National Maritime Electronics*

Association) es un medio a través del cual los instrumentos marítimos (radar, brújula, etc.) y también la mayoría de receptores GPS pueden comunicarse los unos con los otros. Sin embargo, en el formato NMEA 0183 de esta brújula tan solo está disponible la información del rumbo. Por tanto, se utiliza el formato estándar que viene configurado por defecto.

El formato estándar de la TCM2.6, al contrario que el NMEA 0183, provee la información del rumbo, del inclinómetro, del magnetómetro, del termómetro y de la alerta de distorsión en la detección. Además, es posible configurar la brújula para que muestre todos estos datos o tan solo los de interés para el usuario, y también puede escogerse las unidades de alguno de éstos. El formato de la trama de datos es el siguiente:

```
$C<rumbo>P<cabeceo>R<balanceo>X<Bx>Y<By>Z<Bz>T<temp>E<error>*checksum<cr><lf>
```

Para entender mejor esta trama de datos, nos fijamos en el siguiente ejemplo, en el cual la TCM2.6 ha retornado la siguiente información:

```
$C328.3P28.4R-12.4X55.11Y12.33Z-18.43T22.3E001*checksum<cr><lf>
```

Así pues, en el momento de sensar estos datos, la brújula se encontraba en las siguientes condiciones:

- Rumbo = 328,3° (verdadero o magnético, dependiendo de la configuración)
- Cabeceo = 28,4°
- Balanceo = -12,4°
- Bx = 55,11 µT (componente x del campo magnético)
- By = 12,33 µT (componente y del campo magnético)
- Bz = -18,43 µT (componente z del campo magnético)
- Temperatura = 22,3° (F o C, dependiendo de la configuración)
- E001 = Código de error 001

El valor del *checksum* es una comprobación de error resultado de calcular la XOR de todos los bytes ASCII que se hallan entre el carácter "\$" y el "*".

Los códigos de error se dan en la trama de datos de salida de la TCM2.6, inmediatamente posteriores al *checksum* e indicados por la letra "E" seguida de tres caracteres ASCII, que representan dígitos hexadecimales. El resumen de los errores más comunes se muestra en la siguiente tabla.

Código de error	Descripción
E002	Inclinómetro fuera de rango
E004	Magnetómetro fuera de rango
E006	Inclinómetro y magnetómetro fuera de rango
E010	Comando inválido o no disponible
E040	Parámetro de comando inválido
E050	Comando y parámetro de comando inválido o no disponible
E400	Error de EEPROM2
E800	Error de EEPROM1
EC00	Error de EEPROM2 y EEPROM1

Tabla 3.9 Códigos de error comunes de la TCM2.6

3.3.5. Interpretación de los datos de salida

La TCM2.6 utiliza los ángulos de Euler como método para determinar la orientación exacta. Este método es el mismo utilizado en la orientación aeronáutica, pero que no presenta problemática alguna a pesar de que se trate de un vehículo marino, en la que los parámetros son el viraje (*yaw*), el cabeceo (*pitch*) y el balanceo (*roll*). Cuando se utilizan los ángulos de Euler, el balanceo se define como el ángulo rotado en torno un eje longitudinal que pasa por el centro del fuselaje, mientras que el cabeceo es la rotación alrededor de un eje lateral que pasa por el centro de las alas. Estas dos rotaciones son independientes entre sí.

Los ejes de un vehículo se muestran en la Figura 3.12, la cual presenta sus homólogos en la brújula electrónica TCM2.6, además de determinar el signo de estos parámetros dependiendo de la dirección de rotación.

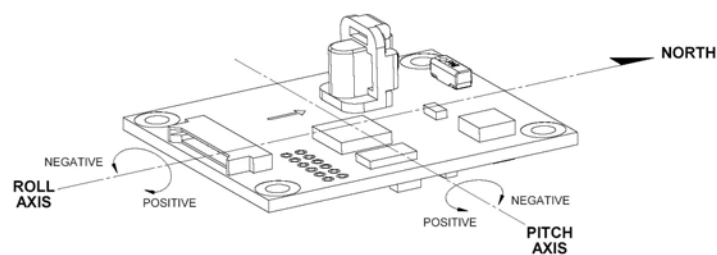


Figura 3.12 Ejes de la brújula electrónica TCM2.6

Respecto al rumbo, si éste es igual a 0°, se interpreta que la brújula TCM2.6 está centrada en el norte. Este ángulo, tal como ocurre en las brújulas convencionales, crece en el sentido de las agujas del reloj. Hay que tener en cuenta que, dependiendo de la posición sobre el globo terráqueo, el norte real no es el mismo que el norte magnético.

Esta variación magnética se conoce como declinación, y se determina como la diferencia entre el norte real y el magnético, relativa a un punto en tierra. La TCM2.6 permite introducir esta corrección según la posición geográfica en la cual se encuentre para que, en vez de mostrarnos el norte magnético, nos muestre el real.

3.3.6. Interconexión

Una vez la brújula electrónica es conectada a alimentación y a uno de los puertos serie, anteriormente definidos, del PC, ésta comienza a funcionar de forma continua según su configuración establecida con anterioridad, y se conecta tanto al PC104 como a la propia placa de la brújula mediante el cable proporcionado en el paquete.

La alimentación necesaria son 5 V continuos, aplicados al pin 9 (Rojo), y masa conectada en el pin 1 (Negro). La comunicación entre la TCM2.6 y la CPU es bidireccional, ya que la brújula electrónica permite recibir órdenes vía puerto serie para, de este modo, cambiar su configuración, calibrarla, etc. Por esta razón, para realizar la comunicación son necesarios tres pines del terminal RS-232 de la brújula (pines 7, 8 y 3). La configuración completa de los pines puede verse en la tabla siguiente.

PIN	Color del cable	Descripción del PIN
1	Negro	Tierra de alimentación
2	Gris	NC
3	Verde	Tierra de RS-232
4	Naranja	NC
5	Violeta	NC
6	Marrón	NC
7	Amarillo	TxD
8	Azul	RxD
9	Rojo	5 VDC

Tabla 3.10 Configuración de los pines de la brújula/inclinómetro TCM2.6

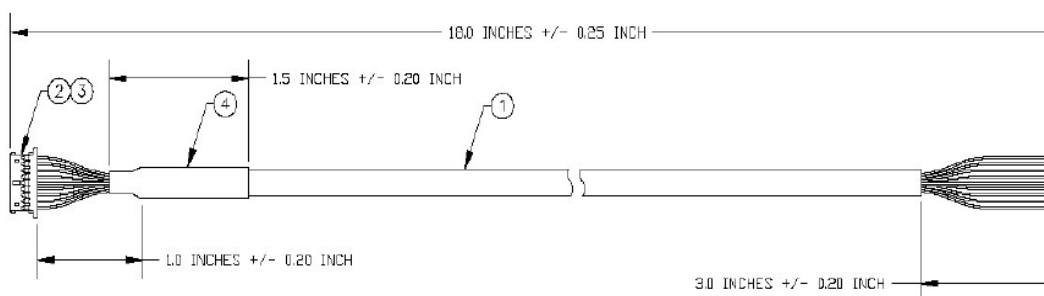


Figura 3.13 Dimensiones del cable de la brújula/inclinómetro TCM2.X.

La configuración del puerto serie de la placa base para comunicarse adecuadamente con la TCM2.6 ha de ser la siguiente: 8 bits de datos, 1 bit de start, 1 bit de stop, sin paridad y sin control del flujo. Mientras que la velocidad de transferencia es configurable por el usuario; por defecto se encuentra a 9600 baudios, pero puede ir de 300 a 115200 baudios.

3.3.7. Receptor GPS DG14 Board

El *Global Positioning System* (GPS) o Sistema de Posicionamiento Global es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros, usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros.

El sistema GPS es totalmente necesario para cuadrar el AUV en sistema de coordenadas establecido, en este caso utilizaremos la Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) explicada posteriormente. Aunque la solución elegida presenta un único pero gran inconveniente, la navegación por GPS sólo puede ser por superficie, lo que supone que se tengan que prever una serie de refrescos en el trazado de la misión por tal de recalibrar el AUV, ello supone una utilización abusiva, si la misión es larga, del pistón de inmersión, sistema caracterizado por un sistema mecánico que incrementa el consumo de energía de forma perceptible y por tanto, esta maniobra debe ser realizada sólo y exclusivamente cuando se necesite un refresco de coordenadas.



Figura 3.14 Sistema de Posicionamiento Global

El sistema GPS mundial funciona mediante una red de 27 satélites (24 operativos y 3 de respaldo) los cuales fueron lanzados por agencias espaciales mundiales, principalmente por IKI

(Rusia), NASA (Estados Unidos) y ESA (Naciones Europeas) y que en órbita sobre el globo, a 20.200 km, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra; uno de estos satélites puede verse en la Figura 15.

Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, triangulando dentro el AUV, siendo necesario incluso 4 satélites para cuadrar del todo el objeto, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos.

En base a estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las señales; es decir, la distancia al satélite. Por "triangulación" calcula la posición en que éste se encuentra. La triangulación en el caso del GPS, a diferencia del caso 2-D que consiste en averiguar el ángulo respecto de puntos conocidos, se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres o cuatro satélites.

Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenadas reales del punto de medición. También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que llevan a bordo cada uno de los satélites.



Figura 3.15 Satélite NAVSTAR GPS

La posición calculada por un receptor GPS requiere el instante actual, la posición del satélite y el atraso de la señal recibida. La precisión es dependiente en la posición y atraso de la señal. El DGPS, o GPS diferencial, es un sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones

de los datos recibidos de los satélites GPS, con el fin de proporcionar una mayor precisión en la posición calculada.

El funcionamiento del sistema DGPS se basa en un receptor GPS fijo en tierra (referencia) que conoce exactamente su posición basándose en otras técnicas; un ejemplo de este tipo de receptor puede verse en la Figura 16. Este GPS de referencia recibe la posición dada por el sistema GPS, y puede calcular los errores producidos por el sistema GPS, comparándola con la suya, conocida de antemano. Este receptor transmite la corrección de errores a los receptores próximos a él, y así estos pueden, a su vez, corregir también los errores producidos por el sistema dentro del área de cobertura de transmisión de señales del equipo GPS de referencia.



Figura 3.16 Estación de referencia DGPS

El GPS escogido para formar parte del sistema propuesto es, precisamente, un DGPS, debido a la necesidad de conocer las coordenadas del vehículo de manera exacta y, de este modo, diseñar un sistema de control preciso que permita al aparato trazar una ruta prefijada por el usuario [26].

El DG14 Board de la firma Magellan es el receptor GPS seleccionado, el cual puede verse en la Figura 17. Éste procesa señales de la constelación de satélites del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), de los satélites geoestacionarios de la red SBAS (*Satellite-Based Augmentation System*), que es exclusiva para el sistema DGPS, y de unos 300 kHz de transmisiones Beacon (señales de referencia o faro) para, de este modo, proporcionar en tiempo real la posición, la velocidad y las medidas de tiempo. La red SBAS, de la que se nutre el receptor DG14, incluye tres sistemas de satélites compatibles entre sí:

- WAAS (Wide Area Augmentation System), desarrollado por EEUU.

- EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*), creado por la Agencia Espacial Europea (ESA), la Comisión Europea y Eurocontrol.
- MSAS, operativo en Asia, principalmente en Japón.



Figura 3.17 Receptor GPS DG14 Board de Magellan

Las ventajas que proporciona a nuestro sistema la elección del DG14 derivan de su condición de GPS diferencial, ya que puede corregir en parte los errores debidos a los siguientes factores:

- Disponibilidad selectiva, que es un error aleatorio de entre 15 y 100 m que introdujo el Departamento de Defensa de EEUU, debido al carácter militar del sistema GPS, pero que está ya obsoleto.
- Retardo debido a la propagación de la señal por la ionosfera - troposfera.
- Errores en la posición del satélite (efemérides).
- Errores producidos por problemas en el reloj del satélite.

En la siguiente tabla se ofrece un resumen detallado de las especificaciones del GPS DG14 Board:

Resolución de posicionamiento (DGPS)	
Horizontal CEP	40 cm
Horizontal (95%)	90 cm
Vertical (95%)	1,6 m
Tiempo de puesta en marcha (TTFF)	
RE-adquisición	3 segundos
Arranque en caliente	11 segundos
Arranque suave	35 segundos
Arranque en frío	90 segundos
Especificaciones físicas	
Tamaño	107,95 mm x 57 mm ($\pm 0,13$)
Peso	2,8 oz = 79,38 gramos
Humedad	95% no condensación
Choque	RTCA DO-160C – op/choque de seguridad: - Operacional: ± 40 G en el eje X, Y o Z

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

	- No operacional: $\pm 75G$ en el eje X, Y o Z
Vibración	MILSPEC 810E
	- Categoría 10: Test de mínima integridad - General
Aceleración	20 G
Velocidad máxima	1000 knots = 1852 km/h
Altitud máxima	60000 ft = 18288 m
Requisitos de alimentación	
Tensión de alimentación	5 VDC regulated $\pm 5\%$
Consumo de potencia (típico)	1.2 watts GPS 1.6 watts GPS+Beacon 1.9 watts GPS + Beacon + antenna/LNA
Consumo de la batería de seguridad	- 5 μ watts típico, 50 μ watts máximo (batería externa) - 1 μ A (sin tensión de entrada aplicada) - 0.3 μ A (con tensión de entrada aplicada)
Cableado exterior	Calibre 30 (mínimo)

Tabla 3.11. Especificaciones del receptor GPS DG14 Board

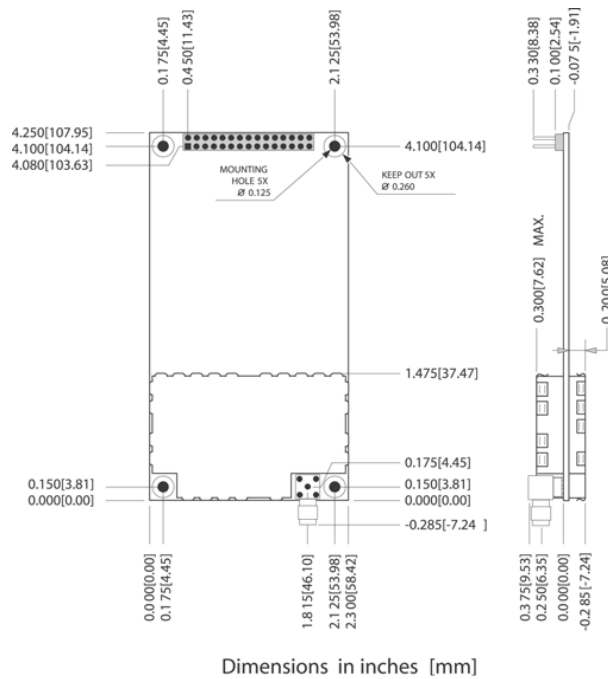


Figura 3.18 Dimensiones del receptor GPS DG14 Board

3.3.8. Modos de funcionamiento

El receptor GPS DG14 comienza automáticamente a buscar satélites una vez conectado a la alimentación. Si recibe la señal de solo un satélite, el DG14 toma la referencia de tiempo del reloj del satélite. En cambio, si la señal la rastrea de tres satélites, el receptor GPS computa y etiqueta temporalmente la posición horizontal (2D) y la velocidad de su antena. Para este caso, la entrada de la posición inicial estimada no es necesaria. Cuando recibe un mensaje de

comando apropiado del equipo de control a través de uno de sus puertos series, el DG14 envía los resultados de su computo al puerto designado.

A partir de la detección de cuatro satélites, el receptor DG14 determina la posición tri-dimensional (latitud, longitud y altura) y la velocidad. La resolución de la posición autónoma es de 2 metros CEP (*Circular Error Probable*) cuando la PDOP (*Position Dilution of Precision*) es menor a cuatro; la resolución de la velocidad es de 0,1 metros por segundo. Sin embargo, si el DG14 está operando en modo diferencial, la resolución mejora en más de 1 metro CEP.

En condiciones normales y a cielo abierto, la primera adquisición de los datos de posicionamiento tarda en conseguirse unos 35-40 segundos (*warm start*) o, si la batería de reserva interna no se ha descargado, unos 11-15 segundos (*hot start*). Una vez el receptor ha determinado la posición y se ha activado la petición de información mediante el comando adecuado, el GPS comienza a enviar tramas de datos válidas a partir del puerto serie.

Si el DG14 se desplazara a la otra punta del planeta o permaneciese un largo periodo de tiempo desconectado, el tiempo de detección de los satélites sería más alto (*cold start*), en concreto, de aproximadamente 90 segundos. Este hecho puede solucionarse introduciendo de manera manual los datos de la última posición a través del puerto serie, y a partir de unos comandos específicos.

El DG14 Board dispone de un LED de tres colores en la placa que indica el estado del receptor. Una vez encendido el GPS, el LED emite destellos de color rojo hasta que se centra la posición. Después de calculada esta posición, el LED parpadea en amarillo o verde entre los destellos en rojo del estado anterior para indicar el número de satélites visibles, ya que es posible conocer cuántos satélites hay en el cielo contando el número de destellos amarillos o verdes.

La tabla siguiente muestra una descripción de la situación en la que se encuentra el GPS según el color y el estado del LED.

Color del LED	Descripción
Parpadeo largo rojo (0,75 s)	DG14 está computando una posición
Parpadeo corto rojo (0,25 s)	DG14 ha perdido la posición que estaba computando
Parpadeo amarillo	El satélite está bloqueado, pero no se utiliza en el cómputo de la posición. No se encontró preámbulo.
Parpadeo corto verde (0,25 s)	El satélite está bloqueado y disponible para el cómputo de la posición, pero la efemérides del satélite no se ha recogido.
Parpadeo largo verde (0,75 s)	El satélite y la efemérides se han recogido y están disponibles para el cómputo de la posición.

Tabla 12. Descripción del estado del LED del receptor DG14 Board

Además del LED de tres colores descrito anteriormente, el DG14 dispone de otro LED que indica el estado diferencial del GPS. Este LED es de dos colores y provee información de la disponibilidad de las correcciones diferenciales al receptor. El LED presenta el número de correcciones recibidas por cada tipo: SBAS, Beacon o serie. Para tal objetivo, el LED parpadea con las siguientes secuencias repetitivas:

- Un destello rojo seguido por el número de correcciones de entrada SBAS representadas por destellos verdes.
- Dos destellos rojos seguidos por el número de correcciones de entrada Beacon representadas por destellos verdes.
- Tres destellos rojos seguidos por el número de correcciones de entrada serie representadas por destellos verdes.

3.3.9. Sintaxis de los comandos

Los comandos del puerto serie permiten configurar los parámetros del receptor GPS y enviar peticiones de información del estado del receptor, además de otros datos. Por tanto, todos los mensajes enviados por el usuario al receptor son comandos de mensajes de configuración o de petición. Así pues, los comandos de configuración generalmente cambian los parámetros del receptor e inicializan los datos de salida, mientras que los comandos de petición usualmente piden información del estado del receptor. Hay que tener en cuenta que algunos de los mensajes son funcionales tan solo si la opción apropiada se encuentra instalada.

El DG14 tiene un gran número de opciones disponibles, cuya selección en el receptor determina que comandos pueden utilizarse. El comando "\$PASHQ, RIO" consulta la configuración del receptor. El mensaje de respuesta de este comando incluye los números de la versión del programa del procesador y del canal, una lista de las opciones instaladas, y el número de serie que identifica al receptor. Esta respuesta presenta el siguiente formato, que se interpreta a partir de:

\$PASHQ, RIO, f1, f2, f3, f4, f5*cc

Campo	Descripción
f1	Nombre del receptor (máximo 10 caracteres)
f2	Versión del programa del procesador principal (máximo 10 caracteres)
f3	Versión del programa del canal (máximo 10 caracteres). Si no es aplicable, el campo queda vacío
f4	Configuración de opción (máximo 42 caracteres). Caracteres ASCII representan las opciones instaladas
f5	Número de serie del receptor (máximo 20 caracteres). " " representan espacios en blanco

cc	Checksum. XOR (OR exclusiva) de todos los caracteres entre "\$" y "**"
----	--

Tabla 3.13. Formato del mensaje \$PASHQ,RIO

El GPS DG14 tiene 18 opciones disponibles, cada una de ellas se representa mediante una letra o un número en un cierto orden. La presencia de las opciones dadas se indica con la letra o el número asociado. Un guión ("-") indica que la opción está disponible pero no instalada, mientras que un guión bajo ("_") indica una opción reservada. Estas 18 opciones se listan en la tabla expuesta a continuación en el orden en que aparecen en el comando RIO.

Opción	Descripción
[W = 20 Hz] [T = 10 Hz] [5 = 5 Hz] [2 = 2 Hz] [1 = 1 Hz]	Velocidad de actualización de la posición
[O]	Salida de datos sin procesar
[P]	Rastreo de la portadora de fase
[U]	RTCM Diferencial – Estación remota
[B]	RTCM Diferencial – Estación base
[K]	Generación de mensaje 18/19 tipo RTCM (solo disponible con la opción RTCM base)
[L]	Salida de pulso sincronizado (1 PPS)
[E]	Marcador de evento fotogramétrico
[C]	Strobe Correlator
[N]	Beacon (no aplicable al DG14)
[Y]	SBAS
[X]	Mensaje definido por el usuario (no aplicable al DG14)
[D]	Optimización integral diferencial
[R]	Tercer puerto serie (C)
[A]	Límite de altitud borrado
[V]	Límite de velocidad borrado
[M]	Diferencial multi-base con WADGPS (solo disponible con la opción RTCM remoto y una velocidad máxima de actualización de 10 Hz)
[I]	RAIM

Tabla 3.14. Descripción de las opciones del receptor DG14

Todos los comandos de configuración empiezan con los caracteres "\$PASHS" y todos los de petición por "\$PASHQ", es decir, "\$PASHS" y "\$PASHQ" son los encabezados del mensaje y son indispensables para todos los comandos de configuración y petición. Además, todos los comandos deben finalizar con "<Enter>" o "<CR><LF>" (*Carriage Return / Line Feed*) para enviar el comando al receptor. Si se desea, un checksum opcional puede preceder a los caracteres "<Enter>". Todos los mensajes de respuesta también han de finalizar con "<Enter>" o "<CR><LF>". La estructura completa de los comandos de configuración y petición es la siguiente:

Encabezado, Identificación del comando, <Parámetros del comando>*Checksum<Enter>

Cuando se envía un comando por uno de los puertos serie del DG14, éste responde con un mensaje que indica la aceptación o el rechazo del comando. En el caso de los comandos de

petición, el GPS responde con un mensaje que contiene datos relevantes de la consulta o envía “NAK” como respuesta, indicando que el comando de petición fue invalido.

Todos los mensajes de respuesta del DG14 empiezan con los caracteres “\$PASHR”, incluyendo los mensajes de estado que son seleccionados como salida a intervalos regulares desde alguno de los puertos serie del receptor.

Los comandos del puerto serie del DG14 pueden englobarse en cuatro grupos:

- COMANDOS DEL RECEPTOR: Permiten al usuario cambiar o consultar el estado de varios parámetros operativos, como son la máscara de elevación, la altitud de la antena o el modo de posición.
- COMANDOS DE DATOS SIN PROCESAR: Permiten al usuario cambiar o consultar los parámetros y mensajes de los datos sin procesar, incluido habilitar o deshabilitar la salida de mensajes de datos sin procesar, seleccionar el umbral y el intervalo de salida de estos mensajes, etc.
- COMANDOS DEL MENSAJE NMEA: Permiten al usuario cambiar los parámetros para los mensajes NMEA de salida.
- COMANDOS DIFERENCIALES: Éstos se subdividen a su vez en comandos RTCM, comandos SBAS y comandos Beacon. Los comandos RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Services*) permiten al usuario controlar y monitorizar la operación en modo diferencial. Por su parte, los comandos SBAS permiten controlar y especificar el uso de las funcionalidades WAAS, EGNOS y MSAS. Finalmente, los comandos Beacon están solo disponibles con la opción Beacon [N] instalada.

3.3.10. Datos de entrada del sensor

Los datos de entrada al receptor DG14 comprenden los mensajes de comandos de configuración y petición, y los mensajes de comandos generales. Estos mensajes cumplen con el formato definido en el estándar NMEA 0183, igual que en la brújula, en la medida siguiente:

- Las tramas de byte ASCII NMEA 0183 están precedidas por el carácter “\$”.
- Los campos de datos están separados por comas.
- El carácter delimitador del checksum y los bytes del checksum NMEA son reconocidos por el DG14 pero son opcionales.
- Los mensajes terminan con los caracteres de terminación estándar NMEA [CRLF].

Sin embargo, los mensajes se desvían del estándar NMEA por lo siguiente:

- Los encabezamientos están en formato Ashtech.
- Los identificadores de los mensajes también están en formato Ashtech.
- La longitud de los mensajes puede exceder de 80 caracteres.
- Los mensajes pueden ser definidos por el usuario con la utilidad UDM (*User Messaging Utility*) y la opción [X] instalada.

3.3.11. Datos de salida del sensor

El DG14 puede ser programado para enviar datos a otro componente; estos datos de salida incluyen generalmente los mensajes de estado del receptor, los mensajes ACK/NAK y los mensajes de datos del GPS. Los mensajes de estado generales del receptor tienen un formato libre Ashtech, mientras que los demás mencionados cumplen con el estándar NMEA tal y como sigue:

- Las tramas de byte ASCII NMEA 0183 están precedidas por el carácter “\$”.
- Los encabezamientos están en formato estándar NMEA o Ashtech NMEA.
- Los identificadores de los mensajes están también en formato estándar NMEA o Ashtech NMEA.
- Los mensajes en formato estándar NMEA contienen bytes hexadecimales de checksum.
- Los campos de datos están separados por comas; comas sucesivas indican un dato inválido o perdido (campos nulos).
- Los mensajes terminan con los caracteres de terminación estándar NMEA [CRLF].

3.3.12. Interpretación de los datos de salida

El GPS determina la posición tridimensional de los puntos estudiados basándose en las referencias del sistema de coordenadas mundial WGS-84 (*World Geodetic System 1984*). Esta posición se presenta como valores de coordenadas cartesianas geocéntricas (X, Y, Z), o bien como coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura elipsoidal).

Sin embargo, existen circunstancias en las que es deseable tener las posiciones representadas en un marco o formato diferente (por ejemplo, en una referencia diferente o proyectada en un plano). A este fin, el DG14 proporciona las siguientes herramientas para transformar las coordenadas WGS-84 a diferentes formatos o marcos de referencia:

- Transformación referencia a referencia: Utilizando esta característica, las coordenadas WGS-84 pueden traducirse a otra base de coordenadas o a otra referencia.
- Transformación referencia a cuadrícula: A partir de esta herramienta un sistema cuadrículado puede ser definido para convertir coordenadas geodésicas a coordenadas cuadrículadas.
- Modelado de elevación: Usando un modelo geoide, las alturas elipsoidales puede ser transformadas en alturas ortométricas utilizando esta capacidad.

En la tabla se muestra un resumen de estas tres herramientas de transformación de coordenadas, mientras que la Figura 3.19 y las dos posteriores representan gráficos de diferentes tipos de proyección disponibles para el receptor.

Transformación	Descripción
Referencia a referencia	Transformación de referencias 3D entre dos sistemas cartesianos XYZ asociados con la referencia WGS-84 y una referencia local definida por el usuario.
Referencia a cuadrícula	Proyección de los datos desde un sistema geodésico, asociado con la referencia WGS-84 o la definida por el usuario y un sistema cuadrículado específico. Proyecciones de mapas soportadas: <ul style="list-style-type: none">- Mercator (EMER)- Mercator Transversal (TM83)- Mercator Oblicua (OM83)- Estereográfica (Polar y Oblicua) (STER)- Lambert Conformal Cónica (2 paralelos estándar) (LC83) Proyecciones de mapas especiales y específicos para NAD27: <ul style="list-style-type: none">- Mercator Transversal (TM27 y TMA7)- Mercator Oblicua 27 (OM83)- Lambert Conformal Cónica 27 (LC27)
Modelado de elevación	Interpolación de ondulaciones geoidales

Tabla 3.15. Herramientas de transformación de coordenadas por el usuario

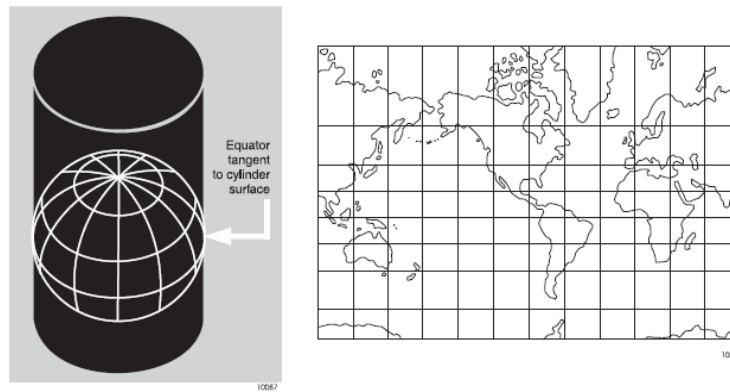


Figura 3.19 Proyección Mercator

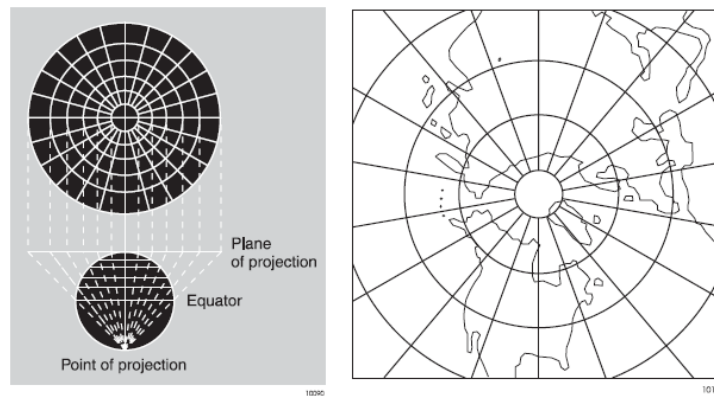


Figura 3.20 Proyección Estereográfica

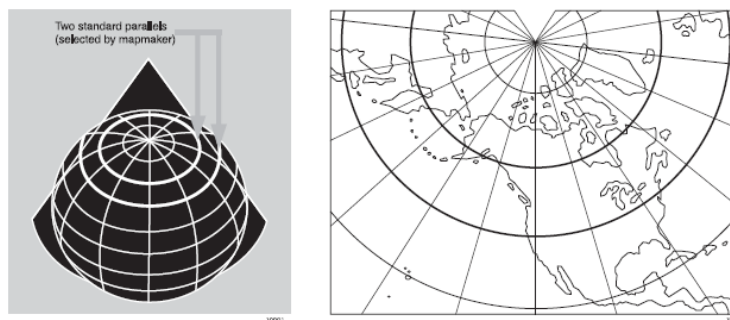


Figura 3.21 Proyección Lambert Conformal Cónica

3.3.13. Interconexión

Todas las conexiones de alimentación y de entrada/salida del receptor GPS DG14 Board están hechas en un conector J801. Éste es un conector cuyo terminal es un macho de 30 pines en dos líneas (15 x 2). El J801 proporciona una serie de conexiones útiles, además de las de tensión y E/S, incluyendo conexión para un LED externo, conexión para una batería de seguridad para el mantenimiento de la RAM, entrada para el reseteo manual del hardware, salida para un pulso TTL, entrada para etiquetar temporalmente fotogrametría, etc. En la

Figura 3.22 puede verse de manera gráfica la configuración de todos los pines del conector J108, mientras que la tabla posterior muestra esta misma configuración al detalle.

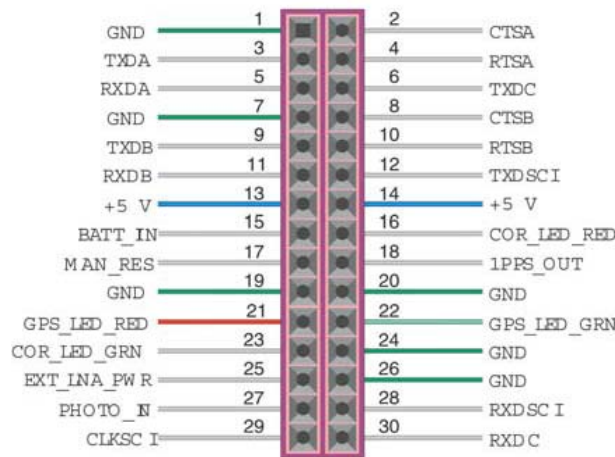


Figura 22 Configuración del conector J801

Pin	Código	Descripción
01	GND	Masa del puerto serie A
02	CTSA	Puerto A RS-232 borrar para enviar
03	TXDA	Puerto A RS-232 transmitir datos
04	RTSA	Puerto A RS-232 petición para enviar
05	RXDA	Puerto A RS-232 recibir datos
06	TXDC	Puerto C RS-232 transmitir datos
07	GND	Masa del puerto serie B
08	CTSB	Puerto B RS-232 borrar para enviar
09	TXDB	Puerto B RS-232 transmitir datos
10	RTSB	Puerto B RS-232 petición para enviar
11	RXDB	Puerto B RS-232 recibir datos
12	TXDSCI	No usar este pin
13	+5V	Entrada +5 VDC
14	+5V	Entrada +5 VDC
15	BATT_IN	Batería recuperación 2,5 – 3,6 V para memoria y reloj de tiempo real
16	COR_LED_RED	Salida externa de control del LED, estado de correcciones diferenciales, rojo (3,3V/100Ω)
17	MAN_RES	Conectar a masa para el reseteo manual del hardware
18	1PPS_OUT	Salida TTL de 1PPS sincronizada con el tiempo del GPS
19	GND	Masa común del chasis
20	GND	Masa común del chasis
21	GPS_LED_RED	Salida externa de control del LED, estado del GPS, rojo (3,3V/100Ω)
22	GPS_LED_GRN	Salida externa de control del LED, estado del GPS, verde (3,3V/100Ω)
23	COR_LED_GRN	Salida externa de control del LED, estado de correcciones diferenciales, verde (3,3V/100Ω)
24	GND	Masa común del chasis
25	EXT_LNA_PWR	Entrada de tensión de alimentación +5 VDC para la antena LNA externa
26	GND	Masa común del chasis
27	PHOTO_IN	Entrada del pulso fotogramétrico
28	RXDSCI	No usar este pin
29	CLKSCI	No usar este pin
30	RXDC	No usar este pin

Tabla 3.16. Descripción de la configuración del conector J801

La interfaz de conexión completa del DG14 está formada por el ya mencionado conector J108, cuyo terminal se conecta directamente a los pines de conexión de la placa del receptor GPS;

dos terminales RS-232 (existe un tercer terminal opcional), uno de los cuales va conectado a un puerto serie de la CPU PC/104+; y los terminales de alimentación. Esta interfaz se ilustra en la Figura 23.

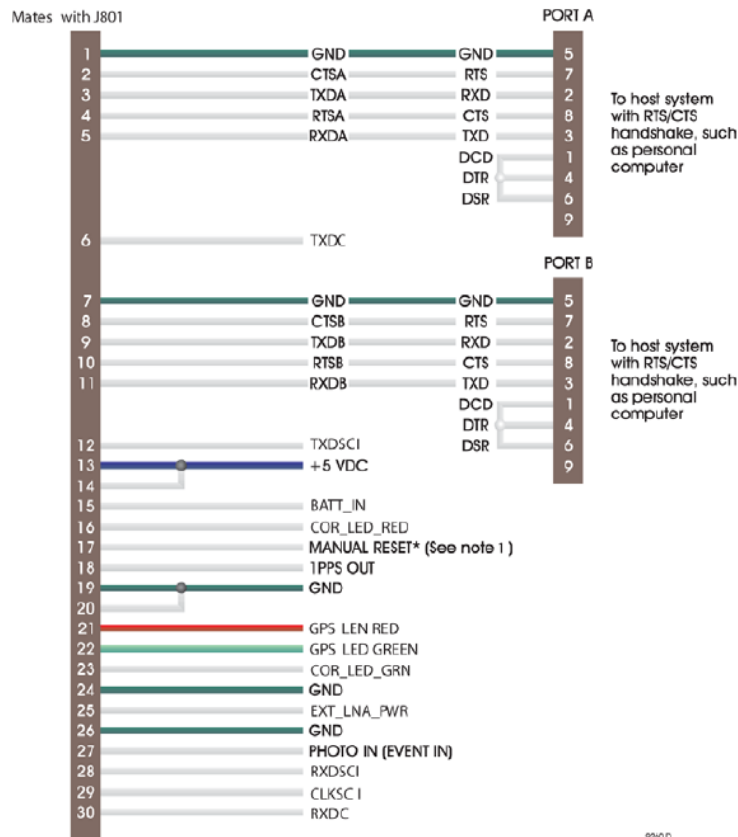


Figura 3.23 Interfaz de conexión del receptor GPS DG14 Board

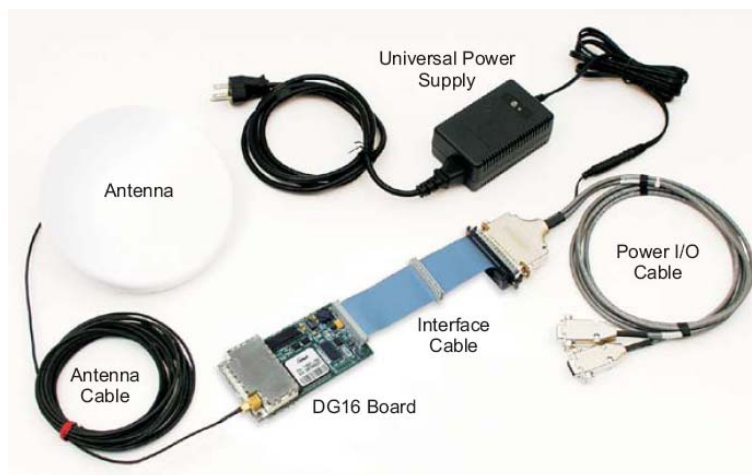


Figura 3.24 Conexiones del receptor GPS DG14 Board

La comunicación entre la CPU y el receptor GPS DG14 Board es bidireccional, por el mismo motivo que la brújula electrónica; el DG14 transmite datos y recibe comandos. La

configuración del puerto serie de la CPU para comunicarse correctamente con el receptor GPS DG14 Board se muestra en la siguiente.

Baudios	Bits de datos	Paridad	Bits de stop
9600	8	Ninguna	1

Tabla 3.17. Parámetros de comunicación del receptor GPS DG14

3.3.14. Antena GPS

La antena seleccionada para el GPS del AUV es la mostrada en la figura 25, concretamente la aeroantenna technology AT575, que corresponde a una antena tipo marítima, ya que ideológicamente es el mismo caso [27].



Figura 3.25 Antena GPS (visión desde arriba)



Figura 3.26 Antena GPS (visión posterior, conector y anclaje)

Ahora se describirán las características principales de la antena:

Característica	
Frecuencia	1575MHz \pm 5MHz
Polarización	Semiesférica
Ratio Axial (máx.)	3dB
Ruido (máx.)	2,5 dB
Impedancia	50 Ω
VSWR	2:1
Banda exclusión	35dB @ 1625 MHz

Tabla 3.18. Parámetros de la antena de GPS

3.3.15. Antena del receptor

Incorporada al vehículo submarino se encuentra esta antena, que será la utilizada para la comunicación vehículo-estación base, a la misma frecuencia que el radiomodem en la que podremos emitir con una potencia que va desde los 100mW hasta los 5W omnidireccionalmente, que estará presente en ambas partes y que posteriormente se describirá. Es conveniente recordar que emitir a 5W, es decir, el máximo, sólo deberá ser utilizado en caso de que se desee enviar o recibir información más allá de 1Km, y un máximo de 5Km si se tiene en cuenta que el fabricante no garantiza comunicación a más de 5Km. Cota más que razonable para este prototipo de submarino.



Figura 3.27 Antena receptor

3.4. Sistema de propulsión

En primer lugar, tal y como se describió en el apartado 1, aquí se encuentra el nexo de unión entre el sistema de control y actuación, es decir, actúa como puente entre las señales tratadas por la CPU y su actuación sobre los motores que seguidamente se describirán.

3.4.1. Motor principal

El motor principal, de la firma SEAEYE es el que proporciona a la nave la propulsión directa, a un máximo de 1,5 m/s navegando por agua, a un consumo aproximado de 30W, que en comparación con el consumo máximo de la CPU que son 2W, es una cifra significativa

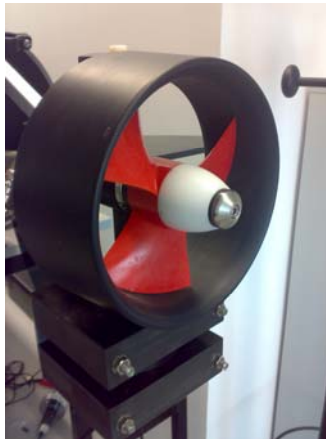


Figura 28 Motor principal

3.4.2. Motores laterales

Los motores laterales, de la firma SEABOTIX son claramente más pequeños que el descrito en el punto 3.3.1. ya que estos estarán dimensionados para efectuar giros de la nave en agua, sin brusquedad, aunque si se conectan ambos son capaces de efectuar el arrastre de la nave, característica interesante en caso de posible ahorro de energía. Es conveniente comentar que dichos motores consumen individualmente, representados en la figura 3.29, aproximadamente unos 15-20W a plena carga.



Figura 3.29 Motor lateral

3.4.3. Motor del pistón de inmersión

Aunque no es un motor que intervenga en el avance o movimiento del vehículo, representado en la figura 3.30, si es el instrumento que hace posible que el AUV se sumerja en unos 11 segundos, los necesarios para que el pistón de inmersión se llene de agua, aprox. 500ml de agua, figura 3.31.



Figura 3.30 Motor de pistón

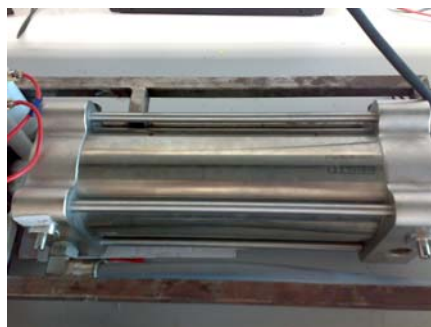


Figura 3.31 Pistón

El inconveniente de este sistema es el pico de corriente que genera el motor al iniciar el movimiento del pistón, que puede llegar a los 2 amperios, que si se tiene en cuenta que consume 24V directos equivale a unos 50W de consumo directo, es por esto que se hace hincapié en la optimización total del uso de este elemento, ya que existe riesgo real de perder alcance del submarino al no haber suficiente potencia en las baterías para accionar de nuevo el pistón y expulsar el agua acumulada.

3.5 Servomotores

Tal y como se comentó en la introducción del presente capítulo existe un hardware, o elemento que traduce las señales producidas por el PC104 (CPU del sistema) a señales tipo tren de pulsos que son las que excitarán en mayor o menor grado (lo que se traduce en un mayor o menor consumo de energía aportado por las baterías), para comprender de forma intuitiva el funcionamiento de la modulación de ancho de pulsos producida (PWM) por dicha placa es interesante conocer el funcionamiento de los servos mecánicos, que aunque no forman parte en ningún caso del AUV, la idea del control de ancho de pulsos es exactamente la misma.

Antes de ilustrar cómo funciona la placa de control de servos se necesita conocer el funcionamiento de los servomotores en general, y del que utilizamos en nuestro sistema en concreto. Los servos de pulso proporcional están diseñados para enlaces de vehículos como pueden ser coches, barcos o aviones. Proporcionan un control preciso de dirección, aceleración, timón, etc. Además utiliza una señal que se compone de pulsos positivos de 0.9 ms a 2.1 ms de largo con una frecuencia de 50Hz, por lo que es fácil de transmitir y recibir. La salida del servo se posiciona en proporción a la anchura del pulso, como se indica en la Figura 3.32.

En las aplicaciones de radio-control, el servo no necesita más de un rango de 90° de movimiento, por lo que cuando se envían pulsos con el rango que especifica el fabricante de 0.9 a 2.1 ms, se obtiene justo este de rango de movimiento.

No obstante, la mayoría de servos tienen un rango mecánico mayor de 90°. De hecho, la mayoría pueden rotar hasta 180°.

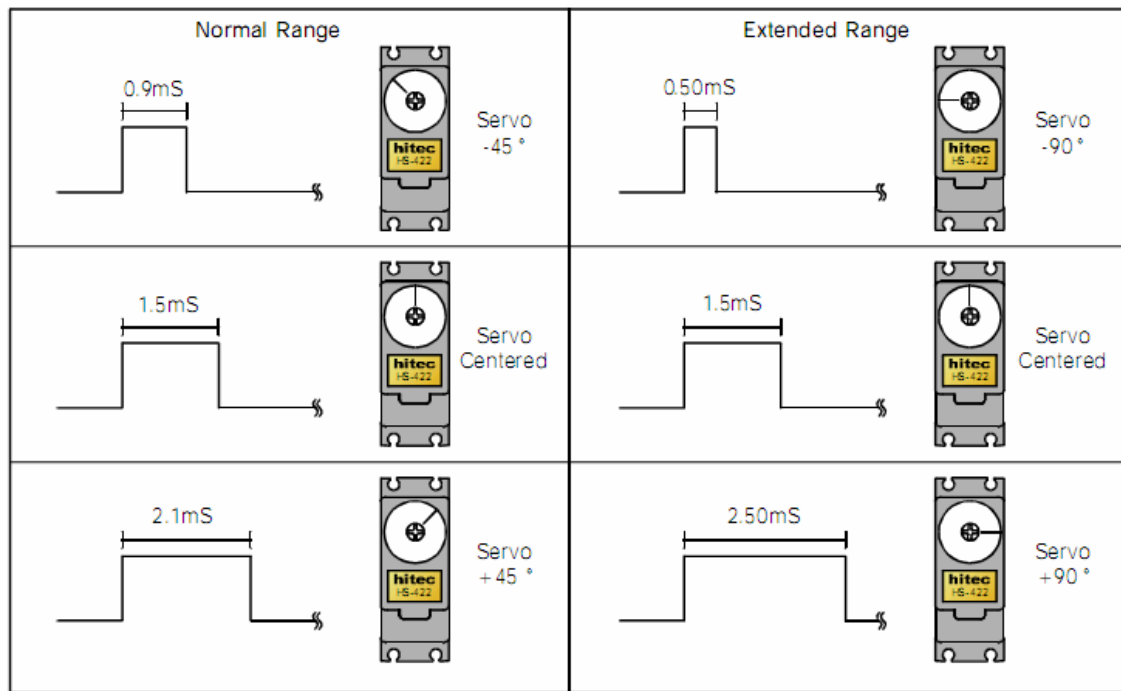


Figura 3.32 Funcionamiento de los servos

Es importante recordar que el control de modulación de pulsos es igual pero la finalidad es completamente distinta, en el caso del AUV, a mayor ancho de pulso, mayor inyección de corriente a los drivers de control de motores.

3.5.1. Placa de control de servos SSC32-1.06XE

Con el fin de poder controlar los motores desde la placa PC/104 necesitamos un dispositivo electrónico que sea capaz de generar la señal de control de servos (PWM). El modelo finalmente escogido es el SSC32-1.06XE del fabricante Lynxmotion [28]. Su bajo coste, facilidad de uso y el gran número de servos conectables (hasta 32) han sido factores determinantes para su adquisición. Además, su conexión a través de puerto serie la hace totalmente compatible con el PC104.

Existen dos maneras distintas de alimentar la placa SSC32 dependiendo del número de servos a controlar, un máximo de 32 servos, y de la necesidad de alimentar los servos por separado o no. Debido a esta configuración es suficiente suministrar una tensión de, como mínimo, 4.5V para el micro-controlador a través de la alimentación lógica (VL).

A continuación se resumen las características principales de esta placa:

- Conexión mediante puerto serie RS-232.
- Control de hasta 32 servos por placa.
- Posibilidad de conectar varias placas entre sí para controlar hasta 256 servos.
- Facilidad de control.
- Alimentación de los servos independiente de la del circuito de control.
- La placa mantiene la última posición del servo hasta la siguiente instrucción.

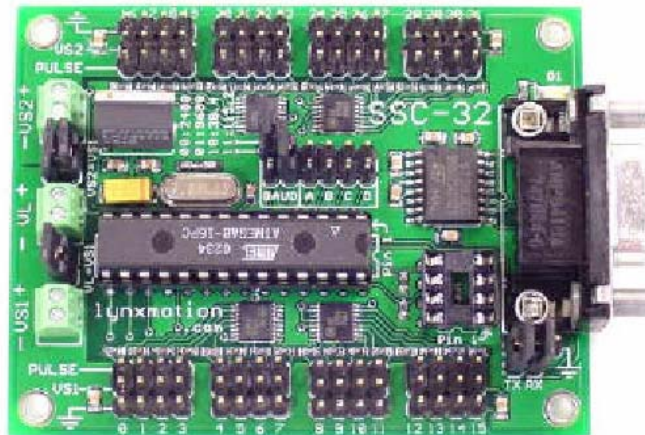


Figura 3.33 Placa de control de servos SSC32-1.06XE

3.5.2. Sintaxis de los comandos

Con el fin de controlar la SSC32 mediante el puerto serie, es necesario el envío de datos de control. El puerto serie ha de estar configurado como 8N1 (8 bits de datos, sin paridad y 1 o más bits de stop). La velocidad del puerto se puede seleccionar mediante los jumpers BAUD; es recomendable tenerlo activado y configurarlo a una velocidad de 9600 bps, ya que por defecto la velocidad de transmisión es de 2400 bps.

Uno de los posibles formatos de envío de control de datos es el conocido como formato binario. Este método consiste en el envío de en una trama de 3 bytes con la siguiente estructura.

#Byte1, Byte2, Byte3 donde:

Byte1: el bit de sincronismo tiene el valor 255 y es fijo.

Byte2: es el bit que nos permite seleccionar el número de servo, de 0 a 31 para una sola placa.

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

Byte3: este en concreto nos permite seleccionar la posición. Cada incremento de este byte corresponde a un incremento de 0.36° (4µs de pulso) del servo si está configurado para servos de 90°, y de 0.72° (8 µs de pulso) si está configurado en modo rango extra (servos de 180°).

Movimiento del servo # <ch>P <pw>S <spd>T <time> <cr>	
Salida discreta # <ch> <lvl> <cr>	
Pulso de offset # <ch> PO <offset value> <cr>	
Salida de byte # <bank>: <value> <cr>	
Petición del estado del movimiento Q <cr>	
Petición del ancho de pulso QP <arg> <cr>	
Descripción	
<ch>	Número de canal en decimal, 0 - 31
<pw>	Ancho de pulso en µsegundos, 500 - 2500
<spd>	Velocidad de movimiento, por canal
<time>	Tiempo en ms para el movimiento completo, todos los canales
<lvl>	Nivel lógico del canal, 'H' para alto y 'L' para bajo
<offset value>	De 100 a -100 µs
<bank>	0 = Pines 0 - 7, 1 = Pines 8 - 15, 2 = Pines 16 - 23, 3 = Pines 24 - 31
<value>	Valor decimal de salida para la elección del banco (0 - 255)
<cr>	Carácter de retorno de carga
<esc>	Cancela comando actual

Tabla 3.19. Comandos de la placa de servos SSC-32

3.5.3. Interconexión

Las conexiones de la placa de control de servos SSC-32 se muestran en la siguiente figura, en la que también puede verse una escueta descripción de las mismas:

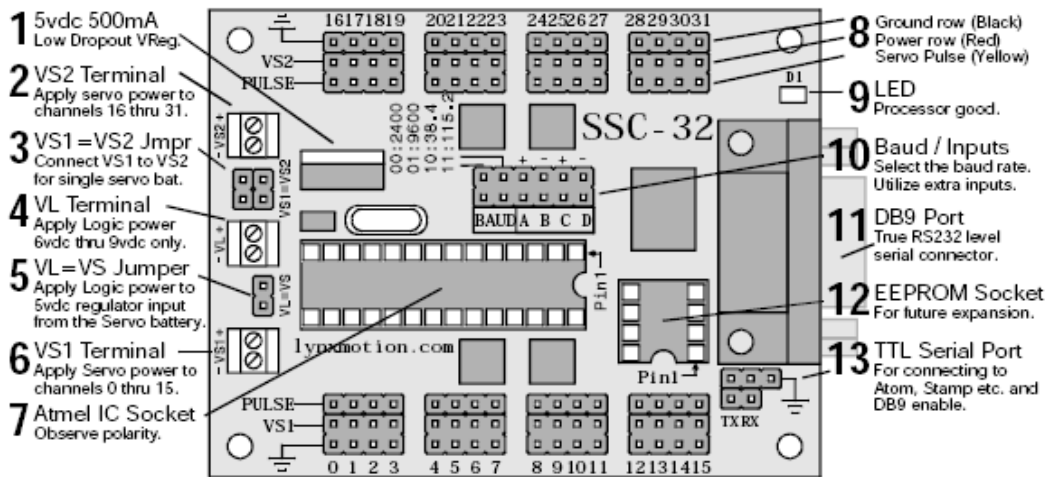


Figura 34 Conexiones de la placa de control de servos SSC-32

Una descripción más detallada de las conexiones de la SSC-32 se muestra a continuación, en la que la numeración de cada una de ellas hace referencia a la presentada en la Figura 34 para facilitar, de este modo, su localización. Además, la Figura 35 ilustra alguna de las configuraciones posibles de varios conectores.

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

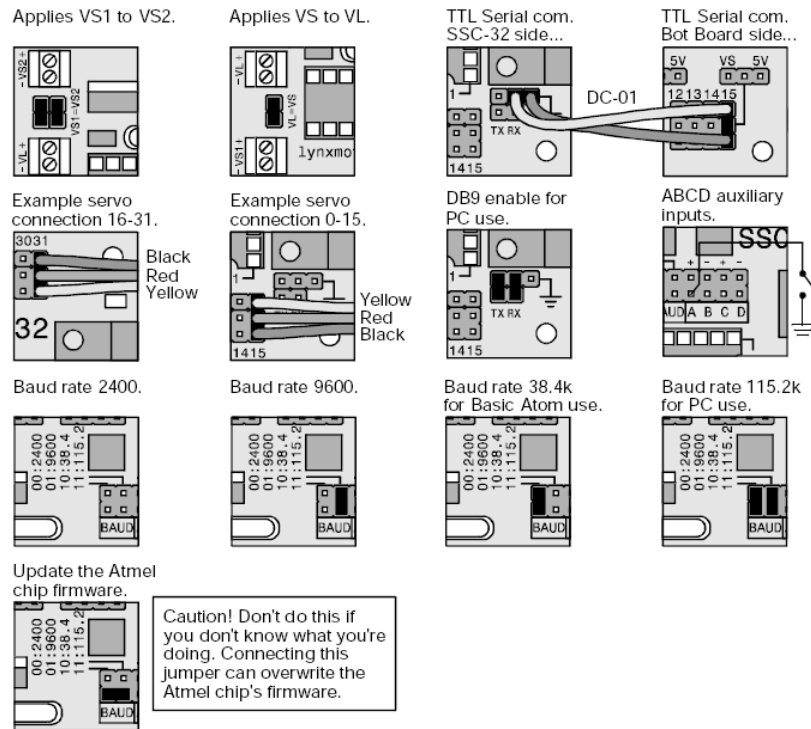


Figura 3.35 Configuración de conectores de la placa de control de servos SSC-32

Numeración	Código	Descripción
1	5vdc 500mA	El regulador de bajo nivel de pérdida proporciona una salida de 5 VDC con una entrada tan pequeña como 5,5 VDC. Acepta una entrada máxima de 9 VDC. El regulador está pensado para 500 mA, pero se ha regulado a 250 mA para prevenirlo del sobrecalentamiento.
2	VS2 Terminal	Este terminal conecta la alimentación en los canales de los servos 16 – 31. Para servos convencionales se aplican de 4,8 VDC a 7,2 VDC.
3	VS1=VS2 Jmpr	Estos jumpers se utilizan para conectar VS1 con VS2. Se utiliza esta opción cuando se alimentan los servos con la misma batería. Se han de usar ambos jumpers.
4	VL Terminal	Esta es la entrada de la alimentación de la electrónica, también puede referirse como el Voltaje Lógico (VL). Esta entrada se utiliza normalmente con un conector de batería de 9 VDC para proporcionar alimentación a los circuitos integrados (ICs) y a cualquier elemento conectado a las líneas de la placa de 5 VDC. Además, esta entrada se usa para aislar la lógica de la placa de la entrada de alimentación de los servos.
5	VL=VS Jumper	Este jumper permite alimentar el microcontrolador y los circuitos de soporte a partir de la alimentación de los servos. Requiere al menos 6 VDC para operar correctamente. Si el microcontrolador se resetea cuando alguno de los servos está en movimiento, es necesario alimentar al microcontrolador de manera separada utilizando la entrada VL. Una batería de 9 VDC es la más adecuada para éste.
6	VS1 Terminal	Este terminal conecta la alimentación en los canales de los servos 0 – 15. Para servos convencionales se aplican de 4,8 VDC a 7,2 VDC.
7	Atmel IC Socket	En este zócalo es donde se posiciona el chip Atmel IC. Hay que tener en cuenta que el Pin 1 del la esquina superior derecha está pintado para facilitar la correcta colocación.
8	Servo	Aquí es donde se conectan los servos (u otros dispositivos de salida). Debe utilizarse con precaución y desconectar la alimentación cuando se conecta algo al bus E/S.
9	LED	Este LED indica el estado del procesador. Se enciende cuando se aplica la alimentación, permaneciendo encendido hasta que el procesador recibe un comando serie válido.
10	Baud/Inputs	Las dos entradas BAUD permiten configurar la velocidad de transferencia. Las entradas ABCD tienen soporte estático y bloqueo. Las entradas tienen una resistencia interna (50 kΩ) que se utiliza cuando se usa la entrada de lectura digital. Un interruptor abierto conectado desde la entrada a masa funciona correctamente.

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

11	DB9 Ports	Tan solo es necesario conectar un cable DB9 desde este terminal a un puerto libre del PC para que la SSC-32 reciba los datos de las posiciones de los servos.
12	EEPROM Socket	Este zócalo EEPROM de 8 pines no se utiliza en la versión de nuestra placa SSC-32, pero puede resultar útil a futuras actualizaciones.
13	TTL Serial Port	Se utiliza para habilitar el puerto serie TTL o el DB9. Se han de instalar dos jumpers para habilitar el puerto DB9 o dos cables conectores para utilizar la comunicación serie TTL de un microcontrolador anfitrión.

Tabla 3.20. Descripción de las conexiones de la placa de control de servos SSC-32

Las conexiones más importantes a tener en cuenta son, por tanto, las de alimentación de la placa SSC-32 y de los servos y las de comunicación con la CPU. Así pues, teniendo en cuenta que los servos utilizados en el AUV son 4 (motor principal, secundario derecho, secundario izquierdo, motor pistón), la alimentación de los servos se realiza a través del conector VS1, que alimenta los canales de los servos 0 - 15, quedando los canales de 16 – 31 no alimentados. En consecuencia, los VS1=VS2 jumper no se colocan. La alimentación de la lógica y de los servos se hace de manera conjunta, así que el jumper VS=VL si ha de posicionarse.

La comunicación de la SSC-32 con la CPU PC/104+ se realiza a través de la interfaz RS-232 y, al igual que ocurre con la brújula electrónica y el receptor GPS, esta comunicación es bidireccional (la SSC-32 recibe comandos y envía datos vía comunicación serie); los jumpers que habilitan el puerto DB9 (TX y TR) han de instalarse para poder utilizar esta interfaz de comunicación. La velocidad de transferencia del puerto puede ser configurada por el usuario a través de los dos jumpers BAUD, cuya configuración necesaria para las distintas velocidades puede verse en la Tabla 3.21.

Jumpers	Velocidad de transferencia (baudios)
00	2400
01	9600
10	38,4 k
11	115,2 k

Tabla 3.21. Configuración de los jumpers de selección de la velocidad de transferencia

3.6 Sistema de comunicaciones

3.6.1. Características de los radio-módems

Los módems son necesarios para realizar la transmisión de datos entre dos o más ordenadores. Estos dispositivos se encargan de convertir el flujo de datos digitales en banda base a una señal analógica apropiada para ser transmitida, y viceversa. Por tanto, los módem sirven para modular y demodular (en amplitud, frecuencia, fase u otro sistema) una señal llamada portadora mediante otra señal de entrada llamada moduladora.

El medio de transmisión de los módems puede ser guiado o no guiado. Los módems que se comunican mediante cable (UTP, coaxial, fibra óptica, etc.) son los que utilizan un medio de transmisión guiado, mientras que los que se comunican a través del aire (radio enlace, radio difusión, enlaces vía satélite, infrarrojos, láser, etc.) utilizan un medio de transmisión no guiado.

Los módems utilizados el vehículo sistema de comunicación entre el AUV y la estación de control no pueden, obviamente, utilizar un medio de transmisión guiado, ya que no se cumpliría la definición propiamente dicha de AUV, es conveniente recordar que el modelo del presente proyecto es un tipo no enlazado. El medio de transmisión que más se ajusta a nuestra aplicación es el radio enlace, por tanto, se utilizan radio-módems. Estos módems se comunican a través de ondas de radio, éstas son unas ondas electromagnéticas que están comprendidas entre una frecuencia de 10 kHz a 300 GHz. En la Figura 36 puede verse el espectro electromagnético y la situación de las ondas de radio en el mismo.

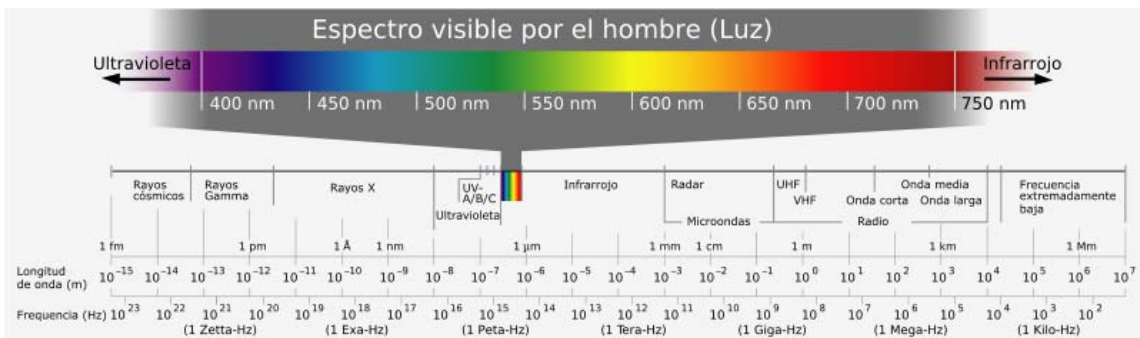


Figura 3.36 Espectro electromagnético

Las ondas de radio cubren un espectro de frecuencia muy amplio; este hecho hace que éstas se subdividan tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Sigla	Denominación	Longitud de onda	Gama de frecuencias	Uso típico
VLF	<i>Very Low Frecuencias</i>	30000 m a 10000 m	10 kHz a 30 kHz	Enlaces de radio a gran distancia
LF	<i>Low Frecuencias</i>	10000 m a 1000 m	30 kHz a 300 kHz	Enlaces de radio a gran distancia, navegación aérea y marítima
MF	<i>Medium Frecuencias</i>	1000 m a 100 m	300 kHz a 3 MHz	Radiodifusión
HF	<i>High Frecuencias</i>	100 m a 10 m	3 MHz a 30 MHz	Comunicaciones de todo tipo a media y larga distancia
VHF	<i>Very High Frecuencias</i>	10 m a 1 m	30 MHz a 300 MHz	Enlaces de radio a corta distancia, televisión, frecuencia modulada
UHF	<i>Ultra High Frecuencias</i>	1 m a 10 cm	300 MHz a 3 GHz	Enlaces de radio, navegación aérea, radar, televisión
SHF	<i>Super High Frecuencias</i>	10 cm a 1 cm	3 GHz a 30 GHz	Radar, enlaces de radio
EHF	<i>Extra High Frecuencias</i>	1 cm a 1 mm	30 GHz a 300 GHz	

Tabla 3.22. Espectro radioeléctrico

Los radio-módems han de estar preparados para transmitir en un entorno más hostil que los módems cuyo sistema de transmisión es guiado. El hecho de utilizar como sistema de transmisión el aire hace que surjan problemas tales como:

- Ruido e interferencias.
- La calidad de la señal puede variar en el espacio y el tiempo.
- El medio de transmisión es compartido por otras redes inalámbricas.
- Inseguridad en la privacidad de los datos.
- Pérdida de velocidad en comparación a una conexión con cables.
- Menor fiabilidad respecto a una conexión con cables.

Por tal de solventar estos problemas, se utilizan mecanismos de modulación diferentes a los utilizados en los módems convencionales de cable. Además, los radio-módems requieren una serie de modificaciones y mejoras para funcionar de manera adecuada; algunas de éstas se describen a continuación.

3.6.2. Bandas de frecuencia

Los módems típicos, para transmitir sobre el par telefónico, utilizan portadoras que se acomodan dentro de los 4 kHz de ancho de banda telefónico, si se exceptúan los modernos módems ADSL. Los módems de cable, por su parte, utilizan frecuencias que se solapan con los

canales VHF y UHF de difusión de televisión. Sin embargo, los radio módems suelen utilizar frecuencias superiores que gozan de licencia de libre uso para transmisiones inalámbricas. En la Figura 37 se muestra precisamente cuáles son estas bandas de frecuencia.

Normalmente, se emplea un convertidor de frecuencia para colocar los canales de FI (Frecuencia Intermedia) del radio módem en estas bandas. Además, son típicos esquemas de multiplexación conjuntos FDMA/TDMA (*Frequency Division Multiple Access / Time Division Multiple Access*) de forma similar a como se realiza en el sistema de telefonía móvil GSM (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles) para compartir de forma eficiente el espectro radioeléctrico entre un conjunto de usuarios. De este modo, sobre cada subcanal radio (FDMA) se transmiten diferentes slots de tiempo (TDMA).

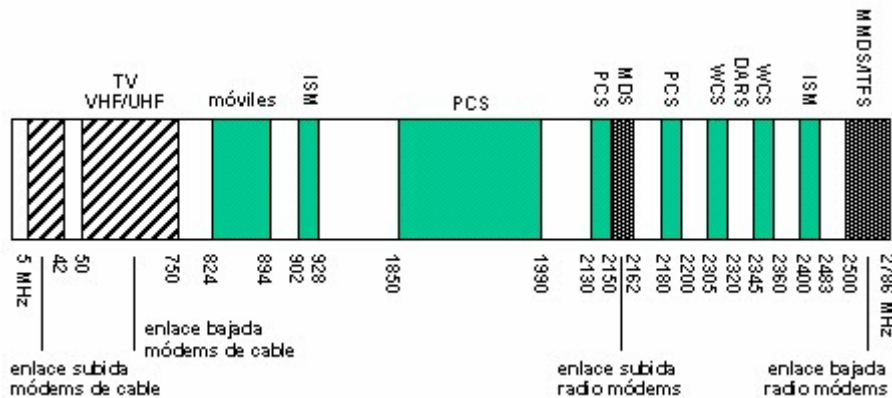


Figura 3.37 Bandas de frecuencia

3.6.3. Tolerancia de frecuencia y seguimiento de la portadora

En un sistema de cable, la frecuencia de la señal del módem de cable es idéntica a la que debe demodularse en la cabecera de red. Si se produce una desviación de frecuencia de 30 ppm, lo cual supone 600 Hz para una portadora de 20 MHz, la señal todavía se encuentra lo suficientemente centrada y puede demodularse correctamente. Sin embargo, en un sistema inalámbrico las frecuencias se convierten a las bandas MDS (*Multichannel Distribution System*), y una tolerancia de 30 ppm se traduce en un desplazamiento de hasta 64 kHz. Un modulador típico tendría dificultades para recuperar la señal, ya que el estándar DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*) especifica que la portadora debe encontrarse dentro de un ancho de banda de 30 kHz. Para corregir este problema, los radio módems implementan un mecanismo de búsqueda y seguimiento de la portadora por medio de bucles de enganche de

fase, comúnmente conocidos como PLLs (*Phase Locked Loop*), y que siguen la señal en rangos de 30 a 150 kHz.

3.6.4. Potencia transmitida y margen dinámico

Cualquier demodulador posee un margen dinámico limitado en el que puede funcionar correctamente. La señal del enlace de subida debe estar contenida dentro del margen dinámico del demodulador de cabecera. Esto incluye variaciones en el nivel de potencia de la señal debidas a la ganancia de las antenas, desvanecimientos por vegetación o precipitaciones y efecto multicamino.

Los módems DOCSIS se especifican con un rango de 12 dB de tolerancia, mientras que los radio módems poseen un margen superior: típicamente 20 dB. Adicionalmente, es necesario ejecutar un algoritmo inicial para que el radio módem localice el nivel de potencia adecuado para comenzar a funcionar. Téngase en cuenta que este nivel es muy dependiente de las características del entorno donde vaya a trabajar.

3.6.5. Ecuación

Como ya se comentó con anterioridad, durante la propagación, la señal radio sufre variaciones de amplitud y de fase que es necesario corregir en el receptor. Estos cambios deben corregirse y compensarse dinámicamente. Es por ello que los radio módems disponen de ecualizadores en tiempo real que modifican su ganancia o introducen retardos de forma dinámica en función de las condiciones del medio. Normalmente se implementan por medio de procesadores digitales de señal (DSPs). Para realizar las correcciones, es necesario disponer de alguna señal de referencia en el receptor. En el caso del estándar GSM, se transmite periódicamente una secuencia de bits conocida que se utiliza para calcular los coeficientes del filtro adaptativo del ecualizador.

3.6.6. Efecto multicamino

La propagación multicamino no existe en los sistemas de cable, sin embargo, en los sistemas de radiocomunicaciones se convierte en uno de los principales problemas. Se produce como

consecuencia de reflexiones de la señal que se combinan a la entrada de la antena y que dan lugar a degradaciones en el nivel de potencia o distorsión de la señal. En particular, un camino secundario de la señal ligeramente mayor puede ocasionar la cancelación completa del trayecto principal. En los radio módems aun es más perjudicial, puesto que como suelen disponer de movilidad, es posible que en ciertas posiciones se produzca la reflexión en algún obstáculo inesperado.

3.6.7. Esquemas de modulación

Además de las distintas características mencionadas anteriormente, la principal diferencia de los radio módems se refiere a los esquemas y velocidades de modulación utilizados. Normalmente, se utiliza modulación QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) para el enlace de subida y modulaciones 16QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) o 64QAM para el enlace de bajada. Conforme disminuye la complejidad de la modulación, se consigue una mayor inmunidad frente a desvanecimientos y efecto multicamino, aunque a costa de reducirse la tasa de transmisión.

Lo mismo ocurre con la velocidad de modulación. Además, menores velocidades suponen anchos de banda inferiores, lo cual afecta a la sensibilidad de la cabecera y, por lo tanto, al alcance del sistema. En particular, las modulaciones de fase son más adecuadas para la propagación de señales sobre entornos radio. La modulación QPSK es la más robusta, necesitando únicamente de una relación señal a ruido de 13 dB.

Por otro lado, la modulación 64QAM consigue una eficiencia espectral tres veces superior, aunque a costa de necesitar una relación señal a ruido de 27 dB para conseguir la misma probabilidad de error (BER). En la Figura 38 se representan las constelaciones de las técnicas de modulación QPSK y 16QAM, junto con la codificación que corresponde a cada símbolo transmitido. Obsérvese que conforme aumenta el número de símbolos para una misma potencia transmitida, aumenta la probabilidad de error como consecuencia de que se encuentran más próximos entre sí y son más difíciles de discernir en presencia de ruido.

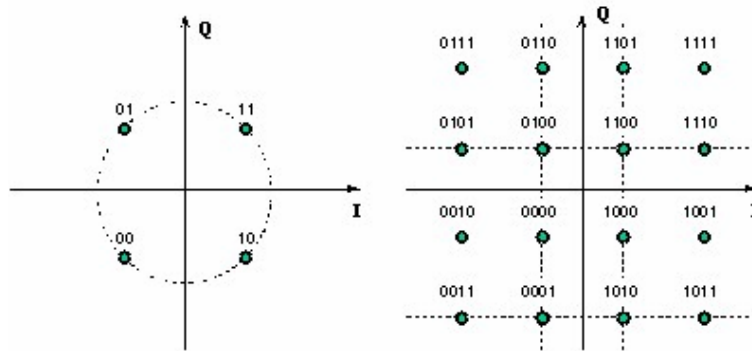


Figura 3.38 Constelaciones de las modulaciones QPSK y 16QAM con codificación Gray

3.6.8. Radio-módems Farell TMOD C48

El objetivo que tienen los radio-módems de comunicar el AUV con el sistema de control externo, enviando la telemetría captada por los sensores (brújula electrónica y receptor GPS) del propio vehículo a la estación base de seguimiento. Estos datos son de vital importancia a la hora de conocer, desde la estación base en tierra, si los controles diseñados para actuar sobre la estabilidad y el posicionamiento del AUV funcionan de manera correcta. Por tanto, el radio-módem embarcado en el AUV será el transmisor y el situado en la estación de seguimiento el receptor.

Los radio-módems escogidos para formar parte del AUV diseñado son dos TMOD C48 de la casa FARELL, uno de ellos puede verse en la Figura 39. Los requisitos de tamaño y peso no serían los mismo para el radio-modem receptor y el transmisor, pero para favorecer la máxima compatibilidad entre ambos se ha optado por elegir dos modelos completamente iguales. A la hora de seleccionar los radio-módems, se tuvieron en cuenta los requisitos del que ha de embarcarse en el avión, al ser éstos más restrictivos. Así pues, el radio-modem de la firma Farell Instruments es pequeño, económico y de consumo bajo de energía.



Figura 3.39 Radio-modem TMOD C48

El TMOD C48 [29] usa la banda de frecuencias pan europea gratuita 868 MHz – 870 MHz. Esta banda de frecuencias forma parte de la banda UHF del espectro radioeléctrico y está dividida

en sub-bandas, de acuerdo con la potencia de salida y el ciclo de trabajo permitido para el emisor. Al cambiar la frecuencia, el usuario no debe preocuparse sobre limitaciones de potencia de salida; el módem configura automáticamente esta potencia de acuerdo con las regulaciones. Debido a la limitada potencia de salida, las distancias de comunicación se sitúan entre 1 km y 5 km como máximo absoluto, dependiendo del entorno. Sin embargo, este aparentemente corto alcance es suficiente para realizar una correcta misión del AUV si existe una visión directa entre ambos radio-módems.

El radio-modem es compatible con la interfaz RS-232 y puede conectarse a un terminal con un cable cinta o mediante cableado de un conector D9. Las configuraciones de este radio-modem pueden modificarse mediante mandatos en modo de comunicación normal o a través de un terminal externo en el modo de programación. El software del TMOD C48 reside en una memoria flash, que es fácil de reprogramar con un equipo de programación, básicamente un PC. La modificación de dichos parámetros pueden ser modificados por el usuario, a continuación se muestran, además de su configuración por defecto.

Opciones ajustables	Configuración por defecto
Ajustes de radio	Potencia de salida = 100 mW, umbral RSSI -113 dBm
Direccionamiento	Todos los modos de direccionamiento están ajustados en OFF
Puerto de serie 1	9600 / 8 bit de datos / No paridad / 1 bit de stop
Negociación	CTS (Clear To Send) / RTS Ignorado
Opciones adicionales	Chequeo de error OFF / Repetidor OFF / Comandos SL OFF / Prioridad Radio TX ON / Límite longitud trama de radio OFF
Tests	OFF

Tabla 3.23. Opciones ajustables y configuración por defecto del radio-modem Satelline-1870

Las especificaciones del radio-modem Farrell TMOD C48 se muestran de manera detallada en la tabla anterior. Aún así, y a modo de resumen, las características más importantes del radio-modem son las siguientes:

- La velocidad de datos del radio-modem es 9,6 kbits/s.
- La interfaz DTE de los radio-módems es eléctricamente compatible con la interfaz serie RS-232. Están en uso las líneas RD, TD, RTS, CTS, DTR y DSR.
- El software del radio-modem se puede actualizar mediante un conector de servicio que usa un PC y un dispositivo especial de programación.

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

RADIO						
Rango de frecuencia	868 MHz – 870 MHz (programable)					
Espacio de canal	25 kHz					
Número de canales	82					
Estabilidad de frecuencia	+2,5 kHz / -2,5 kHz					
Tipo de emisión	F1D					
Modo de comunicación	Comunicación semiduplex					
TRANSMISOR						
Potencia portadora	5, 10, 25, 50, 100 mW / 50 Ω					
Estabilidad de potencia portadora	+1 dB / -1 dB					
Potencia de canal adyacente	< -38 dBm					
Radiaciones espúreas	< -40 dBm					
RECEPTOR						
Sensibilidad	< -106 dBm (BER 10E-3)					
Rechazo de canal común	> -10 dB					
Selección de canal adyacente	> 45 dB					
Radiaciones espúreas	< 2 nW					
MODEM						
Interfaz	RS-232					
Conector de interfaz	DIN41651-16-pin (macho)					
Velocidad de transmisión de la - Interfaz RS - Interfaz de radio	300 – 19200 bit/s (programable) 9600 bit/s					
Formato de datos	Asíncrono RS-232					
ANTENA						
Radiación	Omnidireccional					
Frecuencia	868 MHz – 870 MHz					
Distancia	±2 km					
Conexión	SMA, 50 Ω, macho					
Longitud	169 mm					
Peso	35 g					
GENERAL						
Tensión de alimentación	+8 a +30 Vdc					
Consumo de potencia (medio)	Entrada DC (V)	Modo, consumo de corriente (mA)				
		Receptor	Transmisor		Ahorro de energía	Standby
			5 mW	100 mW		
	8	84	140	190	14	0,07
12	65	90	130	12	0,07	
30	30	45	55	10	0,07	
Rango de temperatura operante	-20 a +50°C					
Conector de antena	SMA, 50 Ω, hembra					
Carcasa	Carcasa de aluminio					
Tamaño K x L x S	57 x 125 x 16 mm					
Placa de instalación	TBD					
Peso	125 g					

Tabla 3.24. Especificaciones del radio-modem Farrell TMOD C48

3.6.9. Interconexión

Para alimentar los radio-módems TMOD C48 de manera correcta es necesario conectar los cables de potencia, de ambos radio-módems, al suministro cuya tensión de salida ha de ser 12 VDC, mientras que la corriente de salida ha de ser 200 mA como mínimo.

La conexión entre los radio-módems transmisor y receptor a la CPU PC104+ y al PC utilizado en la estación de seguimiento, respectivamente, se realiza a través de la interfaz RS-232. Las opciones básicas para los puertos serie utilizados en ambos PCs son las siguientes: COM1, 9600 bps, 8 bits de datos, ninguna paridad y 1 bit de stop. Si el puerto serie diseñado como COM1 en los ordenadores está reservado, ningún otro puerto serie libre puede utilizarse con las opciones mencionadas. Esta conexión básica entre un radio-modem y el puerto COM1 de un PC se representa en la Figura 40.

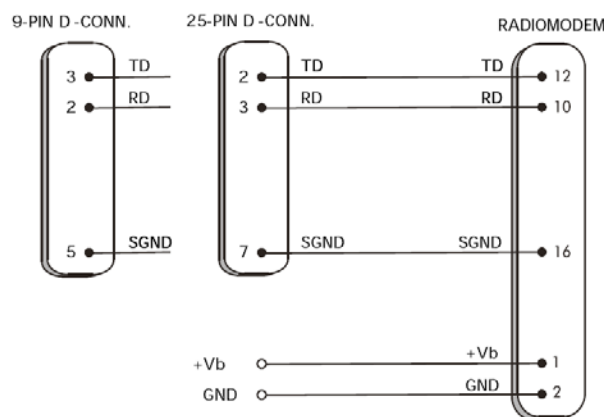


Figura 3.40 Conexión entre un radio-modem y el puerto serie de un PC

El radio-módem se designa como DCE (*Data Communication Equipment*), mientras que el PC es designado DTE (*Data Terminal Equipment*). El Farrell TMOD C48 incluye un conector macho de 16 pines tipo DIN41651 que contiene todas las conexiones requeridas para establecer la comunicación entre el radio-modem que actúa como DCE y el PC que actúa como DTE.

La configuración de los pines del terminal DATA COM del TMOD C48 se describe en la Tabla siguiente, después de mostrar en la Figura 41 un esquema del terminal de 16 pines (macho), donde se especifica el orden de éstos.



Figura 3.41 Conector DATA COM de 16 pines (macho)

Pin	Dirección	Nombre	Descripción
9	OUT	DSR	Indica que el radio módem está conectado (ON) (conexión interna al pin DTR)
10	OUT	RD	Recepción de datos. Salida de los datos recibidos. Los datos van del radio-módem al DTE
11	IN	RTS	Petición para enviar
12	IN	TD	Transmisión de datos. Entrada de los datos para ser transmitidos del DTE al radio módem
13	OUT	CTS	Listo para enviar
14	IN	DTR	Terminal de datos preparado. Cuando la línea DTR no está conectada, el radio módem está encendido (ON). Si el pin DTR está conectado a tierra (GND / SGND), el radio módem está en modo STAND-BY
1	DC	Vb	Tensión de alimentación DC
2	DC	GND	Tierra DC
3		AUX IO1	No conectado
4	OUT	AUX IO2	No conectado
5	IN	AUX IO3	No conectado
6	IN	SHDN	Potencia del módem abajo, activo conectado a tierra, tracción interna
7	IN	PROG	Modo de operaciones. Cuando la línea PROG está conectada a tierra (GND), el radio módem entra en el modo de programación (<i>Programming Mode</i>) que se usa si se quiere cambiar los ajustes del radio módem. Si la línea PROG no está conectada, el radio módem entrará en el modo de transmisión/recepción de datos (<i>Data Transfer Mode</i>). El modo de programación se utiliza sólo cuando se instala un módem o cuando se cambian los parámetros de un módem. Normalmente el radio módem está siempre en el modo de transferencia de datos
8		NC	No conectado
15		NC	No conectado
16	IN	SGND	Señal de tierra

Tabla 3.25. Configuración de los pines del conector DIN41651 del radio-módem Farell Instruments TMOD C48

En cuanto al enlace de radio frecuencia entre los dos radio-módems, primero es conveniente mencionar que la conexión de la antena del radio-módem con este mismo, se realiza a partir de un conector RF del tipo RG11 (hembra) con una impedancia de 50 Ω. El usuario puede cambiar la frecuencia del radio-módem en todo el rango de frecuencia (868 - 870 MHz) del dispositivo.

Sin embargo, la velocidad de transmisión de datos de la interfaz de radio es siempre fija (9600 bit/s) independientemente de la velocidad de transmisión de datos de la interfaz de serie. En el caso en que la velocidad de transmisión de datos del dispositivo terminal supera la

capacidad de velocidad de transmisión de datos de la interfaz de radio (aproximadamente 9600 bit/s), el módem almacena los datos para impedir las pérdidas de datos.

3.7 Sistema eléctrico

3.7.1. Pack de baterías

Las baterías presentes en el AUV, son concretamente 6 del tipo Ni-Cd. Cada célula de Ni-Cd puede proporcionar un voltaje de 2 V y una capacidad entre 0.8 y 2.3 Ah. Este tipo de baterías se encuentran afectadas ligeramente por el llamado efecto memoria, en el que cada recarga se limita el voltaje o la capacidad debido a un tiempo prolongado de uso, una alta temperatura o una corriente elevada.

Las baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd) permiten un mayor número de ciclos de recarga (1500) frente a las 1000 que ofrece las Ni-MH, alternativa más económica pero menos versátil.

Debido a la mayor densidad de energía y autonomía que ofrecen las Ni-Cd, se decidió utilizar este tipo de baterías [30]. Algunas de las características que las diferencian con las baterías níquel-cadmio de las Ni-MH (níquel-hidruro metálico) se muestran a continuación:

- Efecto memoria casi nulo
- Sufren de auto-descarga en un porcentaje mayor que en las Ni-Cd debido a los átomos de hidrogeno en fuga
- Cargarlas en exceso puede resultar perjudicial
- Mayor densidad de carga
- Mayor resistencia interna, limitando su aplicación en alta potencia
- No admiten cargas tan rápidas como lo hacen las Ni-Cd

El modelo de la batería escogida finalmente es la SAFT Formada por 20 células de níquel-cadmio.



Figura 3.41 Pack de 6 Baterías SAFT 7Ah 12V

3.7.2. Cargador de baterías

El calor es el gran enemigo de los elementos de Ni-Cd. Si se carga una batería con una corriente elevada y una vez alcanzada la carga máxima se sigue suministrando corriente, ésta se disipará en el interior de la batería en forma de calor, pudiendo deteriorarla o incluso destruirla.

Existen cargadores de baterías comerciales que detectan el momento de carga máxima, pues en ese punto se observa un pico en el voltaje (aumenta hasta un máximo y luego disminuye), interrumpiendo en ese momento el proceso de carga. Estos cargadores permiten un proceso de carga relativamente rápido, con corrientes de 2 a 3 C, para Ni-Cd donde C es la capacidad de la batería.

Hay cargadores muy económicos que, conectados a la batería de un coche o a una fuente de alimentación de 12-24 V, permiten cargar baterías de hasta 32 elementos, con corrientes que se auto-seleccionan hasta un máximo de 15 A, en baterías de baja resistencia interna. Si se desea cargar baterías de mayor número de elementos, se ha de contar con un cargador más sofisticado, que se puede conectar a la red o también a una batería de coche o fuente de alimentación de 12 V. Estos cargadores también permiten ciclar baterías (cargas y descargas sucesivas), con lo que se regeneran y mantienen con prestaciones óptimas.

El cargador utilizado para el AUV, es un cargador de 12V para los 20 elementos (ó células) que tiene cada batería (el vehículo consta con 6), es conveniente recordar que el proceso de carga total (para 7Ah) puede llegar a ser hasta 72 horas continuas.



Figura 3.42 Cargador de baterías Ni-Cd de 20 células

Para la carga de las 6 baterías se utilizaron 3 cargadores, es decir, 1 para cada 2 baterías.

3.7.3. Drivers de potencia de los motores

Los drivers de control descritos son unas placas de circuito impreso hechas artesanalmente que interpretan la información proporcionada por la placa de servos, se recuerda que dicho elemento envía un tren de pulsos que dependiendo de su ancho, esto en cada driver se traduce en un envío de corriente en mayor o menor grado.

El centro de cada uno de los drivers es un PIC, que interpreta la señal PWM recibida y se traduce, como el caso de los drivers del motor principal o el pistón. O bien con un sistema de transistores que a mayor ancho, más corriente son capaces de transmitir, este último caso implica solamente al control de los motores laterales, de este tipo se tienen 2 en el vehículo, que corresponden a cada uno de los motores. En la figura 3.43, 3.44 y 3.45 se contemplan los drivers descritos, y las características enunciadas.

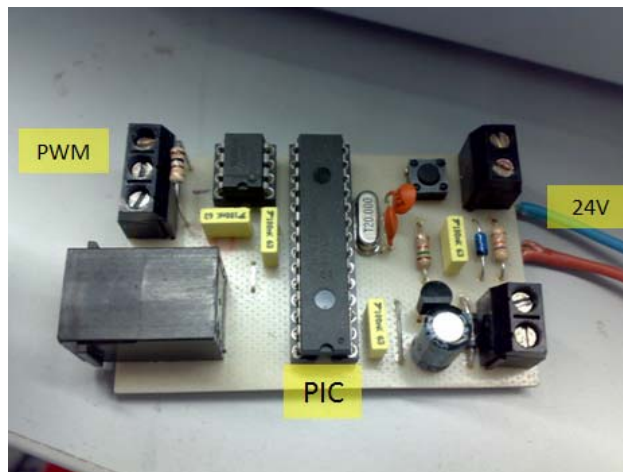


Figura 3.43 Driver de control de motor principal



Figura 3.44 Driver de control de motor pistón

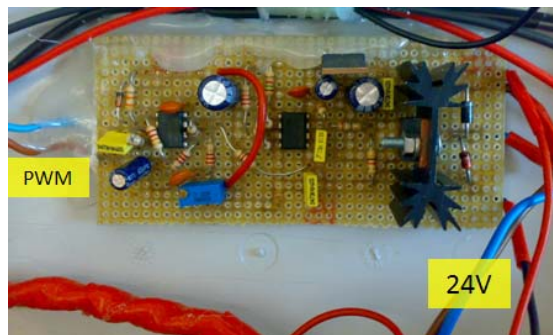


Figura 3.45 Driver de control de motores laterales

4. Implementación del control autónomo

En este tema se estudiarán los cambios realizados sobre el diseño del Cormorán así como un estudio del espacio disponible, que es un punto de gran criticidad del AUV, la ubicación de los elementos necesarios para el control, requerimientos de la alimentación y el conexionado existente entre los sistemas internos y externos.

4.1. Estudio del espacio disponible para la instrumentación

El espacio para ubicar los componentes del nuevo sistema de control autónomo debe de ser mayor al que el Cormorán ofrece, por tanto se tuvo que rediseñar el espacio interior de forma que cupiera todo el hardware descrito en el tema 3.

A continuación se realiza una comparación entre los diseños (el existente del Cormorán, figura 4.1, y el que existe actualmente, figura 4.2), posteriormente se realizará una síntesis del espacio disponible en el diseño actual y como se solucionó la problemática de la ubicación.

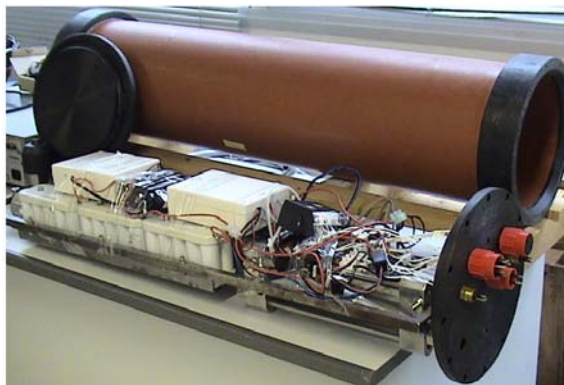


Figura 4.1 Diseño antiguo del Cormorán

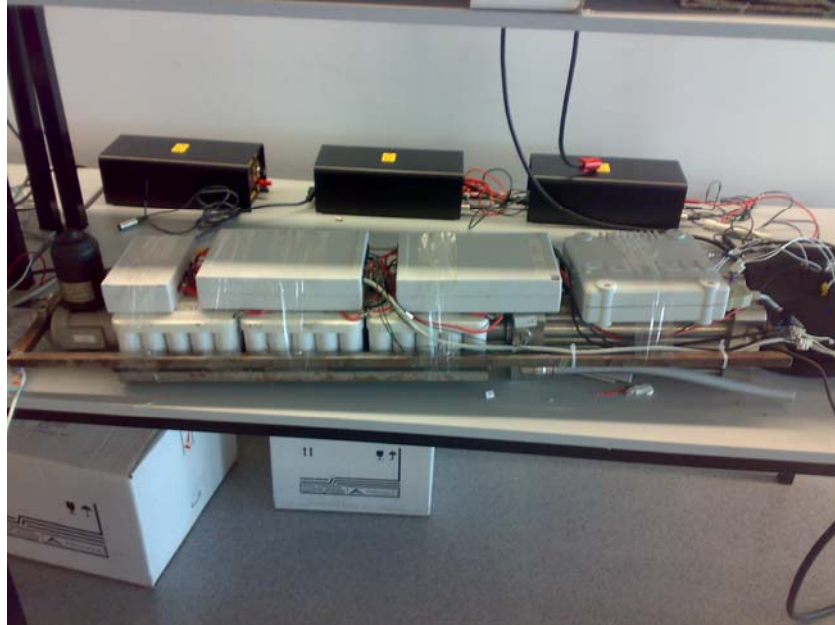


Figura 4.2 Diseño actual del AUV

En la figura 4.2 se puede observar el AUV completamente constuido, pero de esta manera no se observa ninguna progresión desde la problemática hasta la disposición final, es por este motivo que se incluye el esquema de la figura 4.3, en el que se puede observar el espacio disponible de forma punteada.

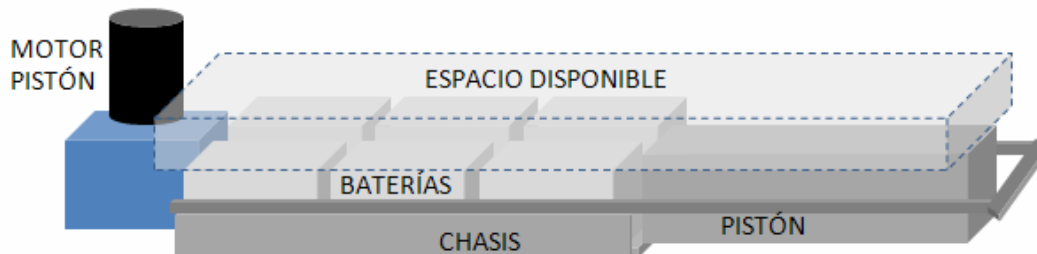


Figura 4.3 Espacio libre del AUV

Bajo ningún concepto se podían superar las limitaciones laterales ni verticales del diseño, ya que entonces el cuerpo del AUV no se podría colocar dentro del tubo estanco , que al estrecharse por ambos lados no sería posible su entrada, el primer problema que se tuvo fue que los elementos decididos (PC104, GPS, brújula...) no cabían dentro de las cajas que ya se tenían del anterior diseño, con lo que se tuvieron que sustituir por otras más grandes, concretamente 2 por tal de separar los elementos siguiendo el siguiente criterio:

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

- Sistemas de navegación y control (PC104, brújula y GPS)
- Sistemas de control de propulsión (Control de servos y drivers de motores)
- Nexos de unión AUV – control externo (radiomodem)

De esta forma se obtenían 3 módulos completamente aislados y protegidos, ya que las cajas adquiridas cumplían la norma IP66, esto quiere decir, que debe soportar mantener su interior completamente seco a 1 metro de profundidad y aislado totalmente de humedades.

Finalmente se tuvo clara la idea de la disposición de los elementos en su interior, pero el siguiente problema fue que la altura de los módulos era superior a 10 cm (espacio máximo de altura), concretamente 11 cm, con lo que se recurrió al rediseño del chasis bajándolo 1 cm, que ofrecería la posibilidad de su inserción. En la figura 4 se puede visualizar el resultado.

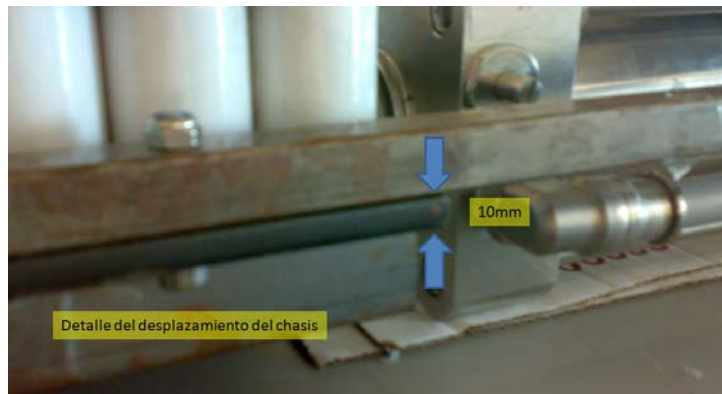


Figura 4.4 Desplazamiento del chasis del AUV

En las siguientes imágenes (figura 4.5 y 4.6) se consigue tener una idea intuitiva a escala del emplazamiento real del hardware descrito en la subdivisión de sistemas, el primero, navegación y control y el segundo, control de propulsión.

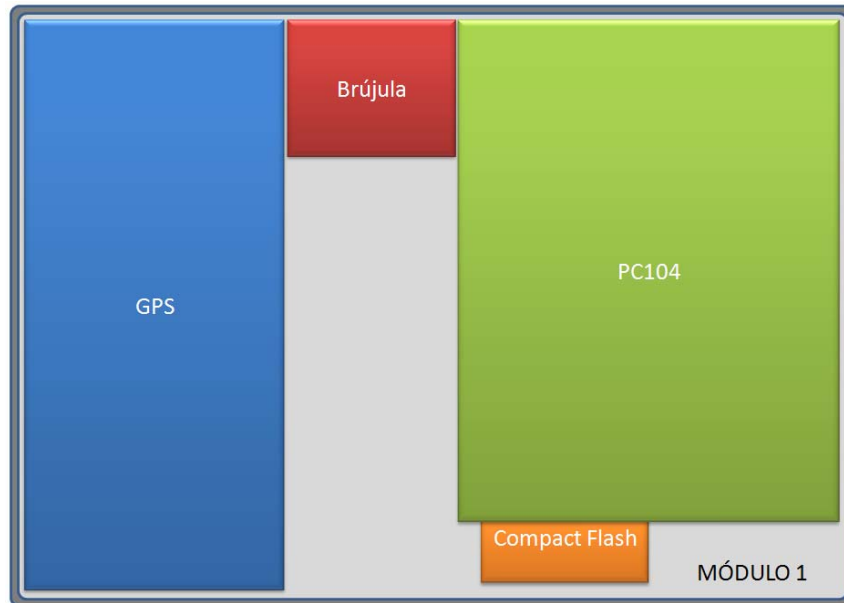


Figura 4.5 MODULO 1 (navegación y control)

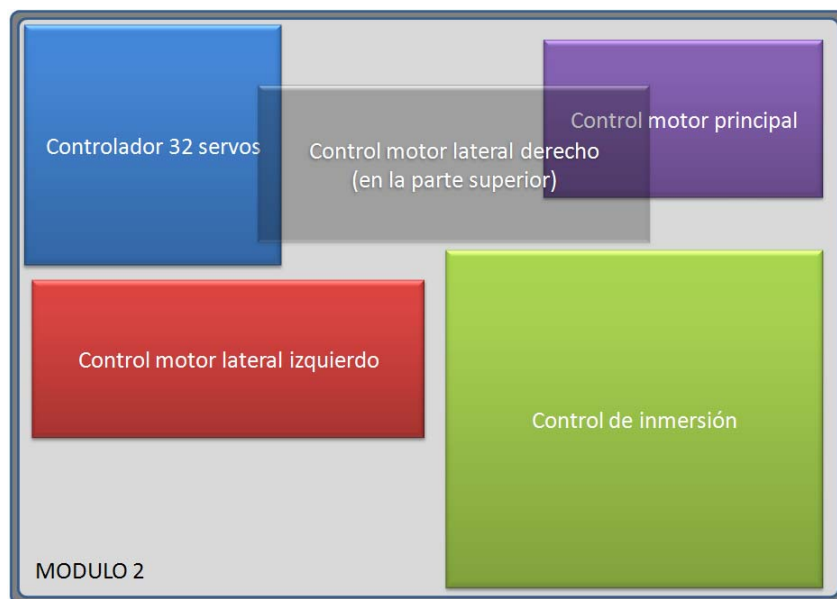


Figura 4.6 MODULO 2 (control de propulsión)

Hasta el momento actual se han ubicado los módulos 1 y 2, que puestos en el AUV quedan tal y como se enseña en la figura 4.7a.

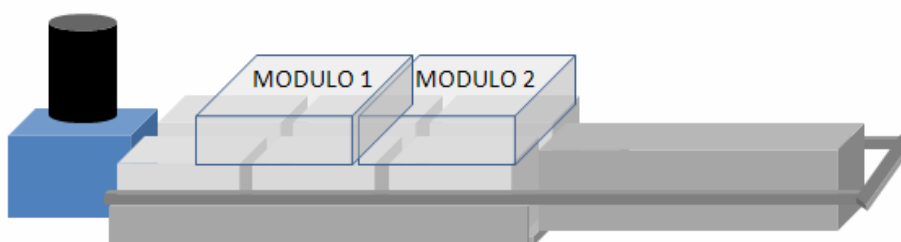


Figura 4.7 a) Colocación de los módulos 1 y 2

4.2. Ubicación del radiomodem

El radiomodem al ser un elemento tan grande como cualquiera de los dos módulos anteriores, requiere también un gran espacio sobre el AUV, con lo que las posibilidades de colocación eran realmente escasas, tan sólo una, sobre el pistón.

Esta decisión podría acarrear un serio problema, al estar sobre un elemento inmóvil, pero vibrante, puede suponer un riesgo para la estabilidad del AUV, con lo que se tuvo que tomar la decisión de encanchar el elemento de forma firme con bridas y cinta adhesiva especial por los laterales, de esta forma se obtendría la sujeción deseada, y de forma esquemática sería tal y como se representa en la figura 4.7b.

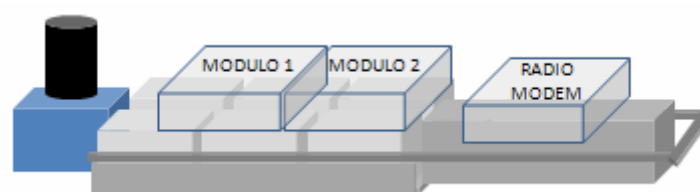


Figura 4.7 b) Colocación del radiomodem

4.3. Requerimientos de la alimentación

La alimentación del AUV está basada en convertidores de potencia, que convierten los 24V procedentes del pack de baterías a los 5V o 12V requeridos por los sistemas.



Figura 4.8 Caja de los convertidores de potencia

Los convertidores DC/DC son los dispositivos que transforman corriente continua de una tensión a otra. Suelen ser reguladores de conmutación, dando a su salida una tensión regulada y, la mayoría de las veces, con limitación de corriente. Existen principalmente 2 tipos de

convertidores de potencia: la tensión continua de entrada es mayor (convertidor Buck-reductor) o menor (convertidor Boost-elevador) que la tensión continua de salida. En el caso del AUV, se trata de 4 tipo Buck.

Seguidamente se propone un diseño de alimentación de los sistemas del AUV:

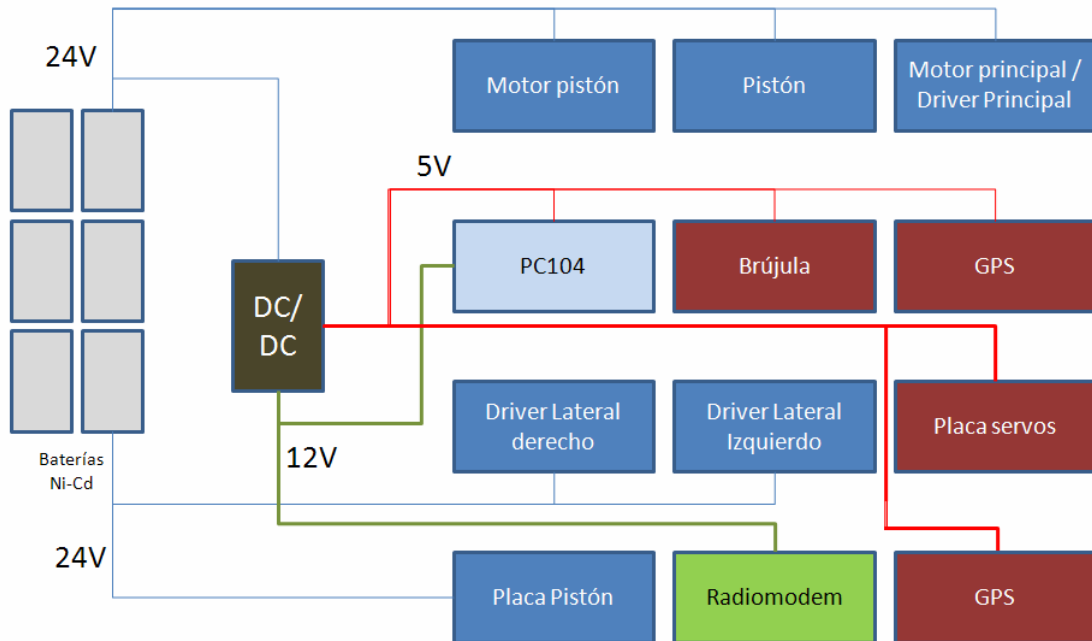


Figura 4.9 Sistema eléctrico general

A continuación se realizará un cálculo de las potencias máximas utilizadas por todos y cada uno de los sistemas presentes en el esquema eléctrico y por tanto la elección de los convertidores buck más convenientes.

Hardware	Corriente máx (mA)	Potencia (mW)
Motores y Drivers	(*) ²	
PC104	900	108000
Brújula	150	750
GPS	160	800
Servos	150	750
Radiomodem	160 - 300	3600

Tabla 4.1. Cálculo de potencias

² No se calcula ya que estos sistemas dependen directamente de los 24V de las baterías

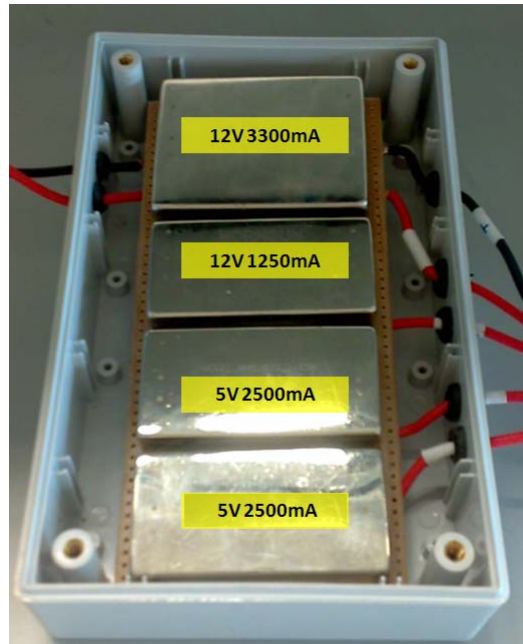


Figura 4.10 Convertidores utilizados

En la figura 4.10 se obtiene una idea clara de los convertidores utilizados en el AUV y de las tensiones y corrientes que son capaces de generar. Todos los existentes pertenecen a la firma MORNSUN, y fueron elegidos por su más que óptimo tamaño. Igualmente en la figura 4.11 se puede observar el esquema de conexionado del sistema de potencia y la comparativa entre los convertidos elegidos y la corriente exigida por el hardware al cual se les conecta

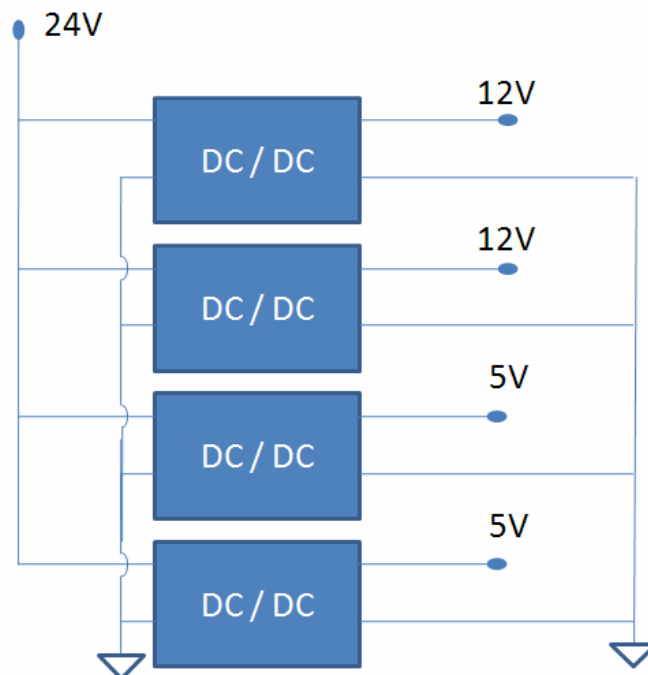


Figura 4.11 Esquemático de la conexiones

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

Convertidor	Hardware conectado	Corr. Exigida / Entregada (mA)
12V superior	PC104	900 / 3300
12V inferior	Radiomodem	300 / 1250
5V superior	GPS y Brújula	310 / 2500
5V inferior	Placa servos y PC104	1050 / 2500

Tabla 4.2. Comparativa de potencias

En la tabla 4.2 se puede comprobar en la columna de relación entre corriente exigida frente a entregada, como en ninguno de los casos se supera ni siquiera el 50% entre ambos valores, con lo que se puede afirmar que los convertidores son capaces de ofrecer dichas corrientes sobradamente.

Finalmente se comenta el emplazamiento de los conversores dentro del AUV, se ubica tal y como se indica en la figura 4.12.

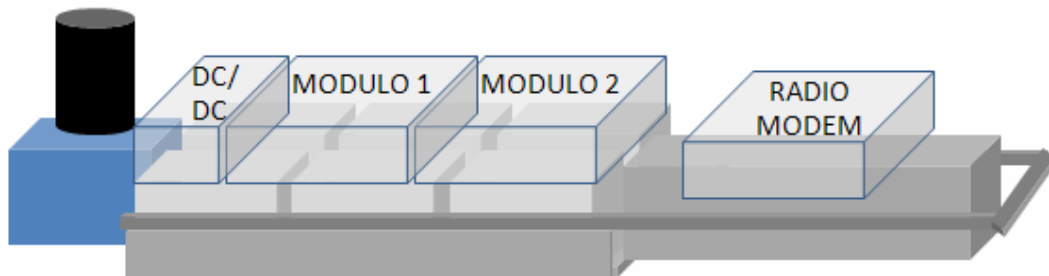


Figura 4.12 Ubicación final de todos los elementos

El esquema final de ubicación coincide perfectamente con la imagen de la ubicación real de todos los elementos que componen el AUV (figura 4.13).

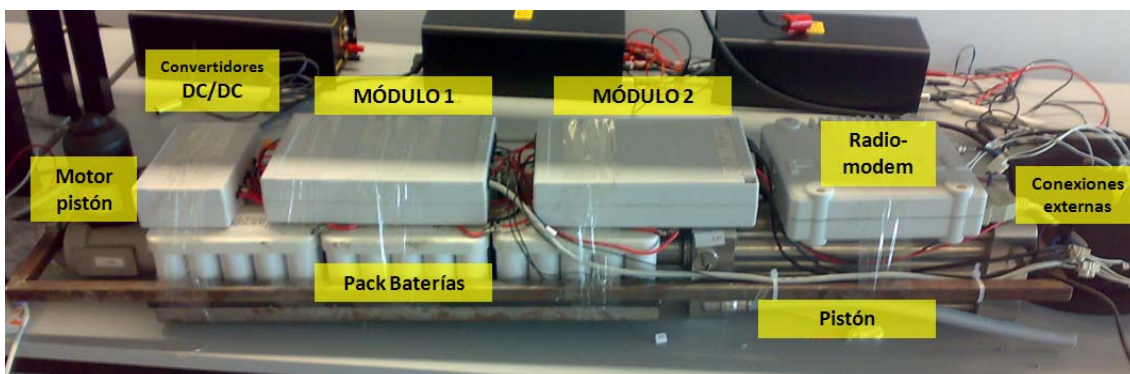


Figura 4.13 Figura real del conexionado

4.4. Conexiones con los elementos externos

El conexionado con los elementos externos debe estar completamente asegurado, ya que cualquier pequeña fisura puede provocar la entrada de agua en el módulo estanco y dañar o incluso destruir algún componente, sobretodo si en vez de sumergir el AUV en agua estancada se sumerge en aguas marinas, donde si que existen todo tipo de movimientos ajenos a la navegación, como corrientes marinas, derivas o incluso que pueda ser engullido temporalmente por alguna ola violenta y que en caso de que el chasis tenga algún defecto o agujero por el que pueda entrar agua puede poner en serio peligro todos los sistemas por muy estancados que estén.

Es por este motivo que se incluyó en el módulo estanco 2 elementos de forma que por cada lateral del tubo quedara completamente sellado mediante junta tórica, y mediante conectores herméticos poder transportar señal y tensión desde dentro hacia fuera. Los elementos en cuestión se enseñan en la figura 4.14 y aún se mantienen del diseño anterior del Cormorán.

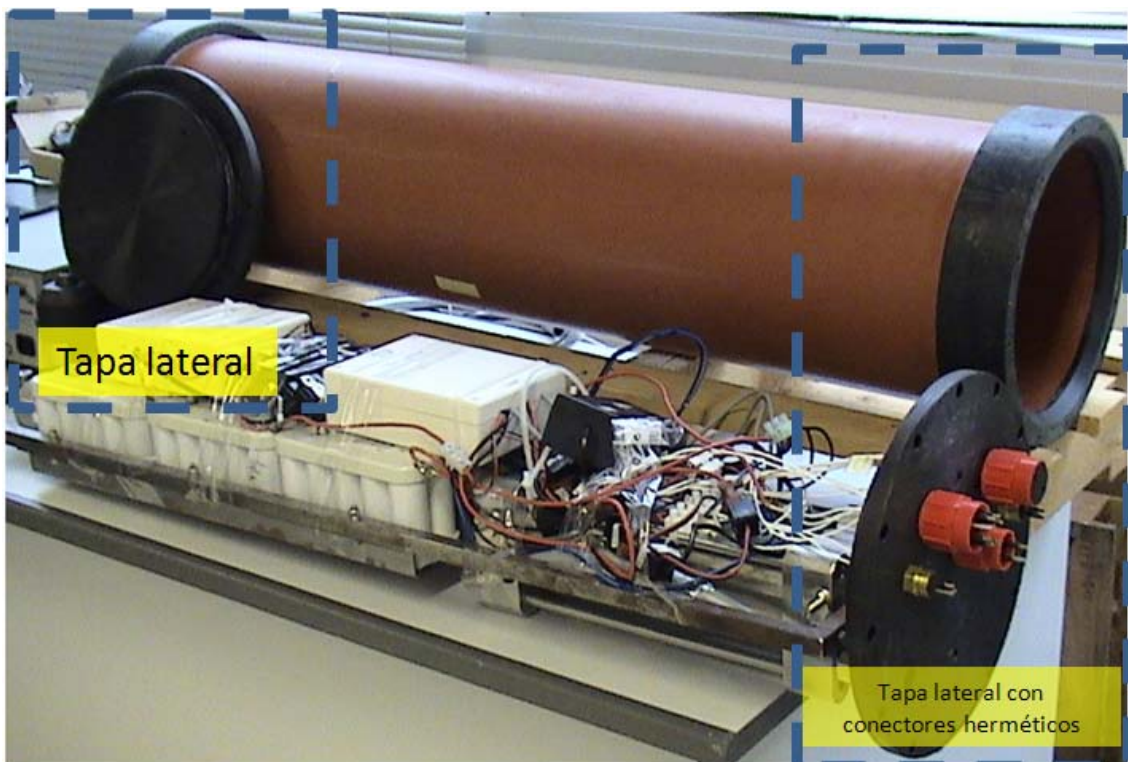


Figura 4.14 Elementos de sellado hermético

4.4.1 Descripción de los conectores de la tapa del módulo estanco

Tal y como se vió en la figura 14, existen 2 tapas, una lisa y otra con conectores herméticos [31], que son los que transportarán señales y tensión del interior del AUV hacia fuera. En la figura 15 se comentan todos los conectores existentes en dicha tapa.

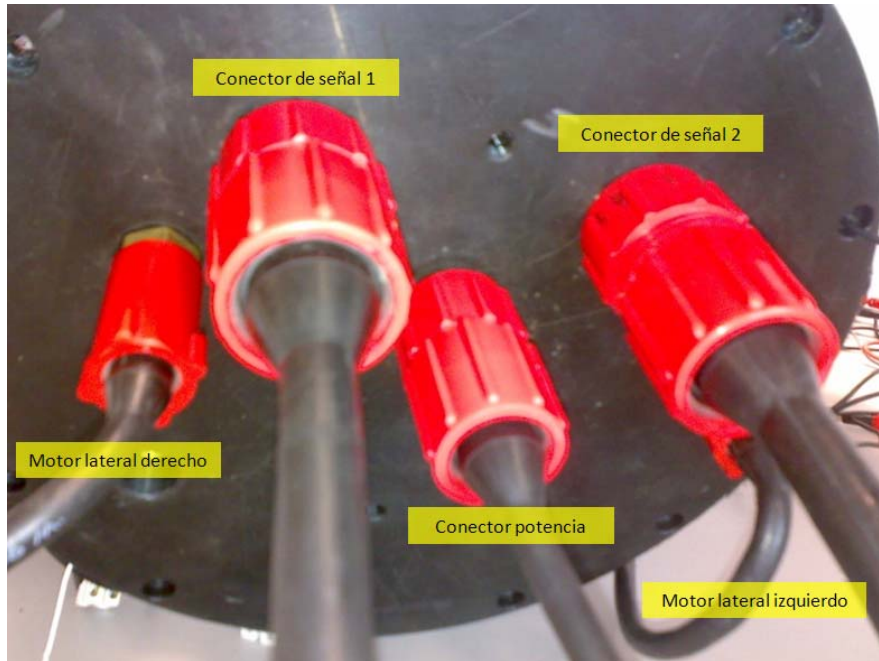


Figura 4.15 Elementos de sellado hermético

Tal y como se puede observar en la figura 4.15, existen 5 conectores con su correspondiente nomenclatura:

1. Motor lateral derecho
2. Conector de señal 1
3. Conector de potencia
4. Conector de señal 2
5. Motor lateral izquierdo

Los **conectores 1 y 5** solamente transportan la tensión saliente del driver de cada uno de los motores laterales hacia dichos motores, exigiéndoles una mayor o menor velocidad de giro dependiendo del caso.

El **conector 2**, Conector de señal 1, realizará el conexionado entre la salida de la antena del GPS y el interruptor general. Este es el más importante de todos los conectores ya que en el se

realizó el único sistema que existe para poder desconectar el AUV, un empalme entre la masa general de los convertidores DC/DC, que al desenchufarlo, también apagaremos el PC104, la brújula, la placa de servos y el GPS, dejando conectados los drivers de potencia de las placas, que al no depender de los convertidores no se podrán desconectar de forma alguna, de todas maneras el consumo en estado latente de las placas es realmente bajo, de unos 20-30mAh que comparados con los 7000mAh que proporciona una sola de las 6 baterías resulta ser una cantidad despreciable.

El **conector 3**, el de potencia, conecta la salida del driver del motor principal con el propio motor, de esta manera las órdenes salientes de dicho elemento le aplicarán corriente en mayor o medida ya se trate de avanzar o retroceder, es conveniente recordar que es el único de los 3 rotores que puede realizar esta maniobra, los laterales tan sólo pueden girar en un sentido.

El último de ellos, es el **4**, el **conector de señal 2**, que conecta la salida de la antena del radiomodem con el exterior.

4.4.2 Conexión de los elementos internos con la tapa

En el punto anterior se habla de empalmes y conexiones, al tratarse de un AUV este tema es realmente crítico, ya que se ha de evitar la entrada de humedades por todos los medios. Es por esto que se optó por realizar los empalmes en una caja especial, que al igual que los módulos 1 y 2 también es estanca de grado de protección IP66 [32].

A partir de la figura 4.16 a) y b) se explicará su montaje.

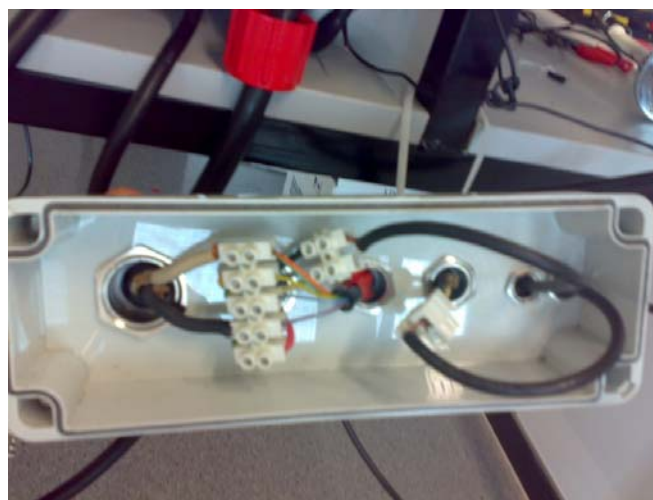


Figura 4.16 a) Caja de empalmes



Figura 4.16 b) Caja de empalmes externa

En la figura 4.16 a) podemos ver todo un conjunto de regletas que realizan los empalmes de las señales provenientes del interior del vehículo con el elemento exterior que se relacionan, ya sean antenas o motores. Es por esto que se tenía que optar por este tipo de caja, los empalmes están claramente a la vista y la humedad y el agua pueden provocar cortocircuitos que pueden dañar o destruir alguno de los elementos, tanto internos como externos.

En la figura 16 b) se ve todo un conjunto de pasamuros, que al estar dispuestos de esta peculiar forma, se pueden apretar fuertemente hasta que las juntas tóricas hagan tope y queden selladas a la caja, también se ha de apretar los cables provenientes de los conectores herméticos girando la parte superior de cada uno de los conectores de dicha figura. En cada uno de ellos al apretar también se aflije presión sobre ellos mediante una goma que los aísla totalmente del exterior.

Es posible concluir el actual punto comentando que las conexiones están totalmente exentas de humedades y de posibles entradas de agua.

4.4.3 Conexión de la tapa con la caja externa

En la figura 4.17 se puede apreciar de que forma las señales y cableado de tensión salen del vehículo mediante la tapa de conectores herméticos y de que forma queda puesta en el tubo estanco, este último argumento se puede ver en la figura 4.18.

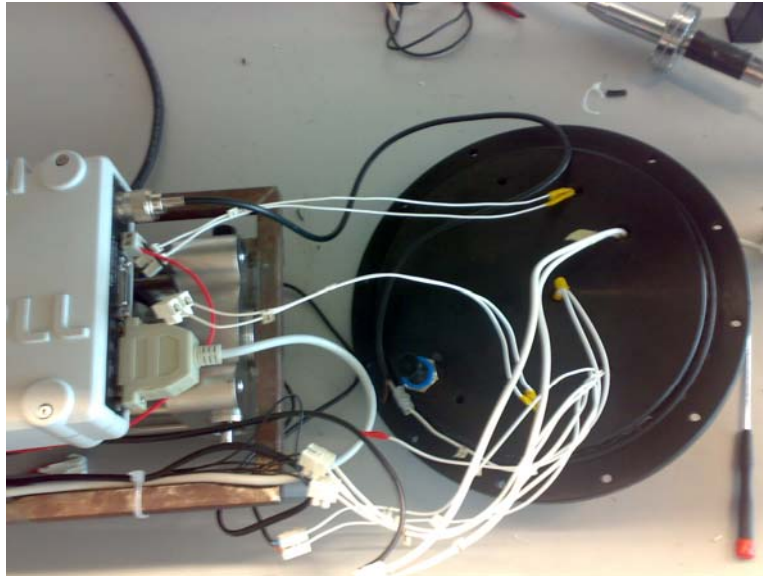


Figura 4.17 Tapa de conectores herméticos (interior)



Figura 4.18 Tapa de conectores herméticos encajada en el tubo estanco

Hasta este punto se ha visto como es posible realizar el conexionado del interior del AVU hacia sus elementos exteriores, ahora solo queda como se puede llegar finalmente hasta los elementos en cuestión (antenas y motores).

Finalmente en la figura 4.19 se observa el ensamblaje final del AUV con el tubo estanco introducido dentro del cuerpo del vehículo, y como en la parte final de él queda puesta la caja de empalmes antes mencionada, estratégicamente colocada para tener más cerca los motores y del elemento autosoportante de las antenas, que son mayormente los únicos elementos inaccesibles directamente desde el interior del AUV.



Figura 4.19 Ensamblaje final del AUV

Finalmente conviene comentar como se instalaron las antenas en el chasis del AUV, simplemente con un instrumento artesanal en el que se encajan ambas antenas, de forma inamovible. Esto se puede apreciar en las figuras 4.20 y 4.21, en las que se puede ver el elemento autosoportante y la forma en que quedan ensambladas las antenas respectivamente.



Figura 4.20 Estructura autosoportante de las antenas



Figura 4.21 Antenas colocadas en el elemento autosoportante

5. Diseño del software del control autónomo

5.1. Introducción

En el presente capítulo se explicará el diseño del software del AUV. Es posible definir 2 tipos de software, el interno y el externo.

El software interno, es decir, el que reside en la memoria Compact Flash del PC104 consiste en un programa de telemetría que enviará los datos de navegación, posicionamiento y estado de los motores.

Por otra parte, el software externo, consiste en la aplicación de la estación de seguimiento, es donde se reflejan de manera clara y concisa todos los datos recibidos del programa de telemetría. Por facilidad de uso, se utilizará un PC portátil, aunque si que es posible establecer un nexo de unión fijo, por ejemplo un edificio de control o bien sobre un barco.

También se recalca que los programas utilizados, tanto en formato programable como en formato ejecutable, se encuentran anexados en un CD junto con la presente memoria.

5.2. Entorno de programación seleccionado

Los distintos elementos que componen el entorno de programación del vehículo se detallan en la siguiente tabla:

PC integrado	Módulo CPU PM 6100 PC/104+ AMD Geode LX800 Procesador 500 MHz 512 MB RAM
Sistema operativo	Microsoft Windows XP Professional SP2
Entorno de desarrollo	Microsoft Visual Studio 6.0
Lenguaje de programación	Basic / Visual Basic

Tabla 5.1 Entorno de programación del AUV

El PC escogido cumple con el estándar PC/104+ de ordenador embebido. Este hecho supone disponer de un sistema suficientemente potente como para procesar los datos que le transmiten los diversos sensores (brújula/inclinómetro, valor de servos y receptor GPS).

Asimismo, el módulo CPU PM 6100 permite el uso de diversos sistemas operativos, incluyendo los utilizados comúnmente en ordenadores de sobremesa. Se ha optado por la instalación del Microsoft Windows XP Professional SP2, del cual se disponía de las licencias correspondientes. Éste sistema operativo (S.O.) ofrece una interfaz gráfica de usuario y, a diferencia de sus predecesores, presenta mejoras en estabilidad y eficacia.

El S.O. *Windows XP* se instaló en la Compact Flash de la CPU y, debido a los recursos limitados del PC, se han realizado las modificaciones oportunas para optimizar sus propios recursos, como por ejemplo, ajustar los efectos visuales para obtener el mejor rendimiento, escoger el valor mínimo de resolución de pantalla (800 x 600) y de calidad del color por tal de dinamizar el máximo posible

La selección de Windows XP ha estado motivada por la facilidad de encontrar herramientas de desarrollo software potentes y compatibles. La empleada para diseñar el programa encargado de procesar los datos de telemetría, leyéndolos de los puertos serie a los que van conectados los sensores y transmitiéndolos al puerto del radio-modem TX, es Microsoft Visual Studio 6.0, del que también se disponen licencias [33].

Microsoft Visual Studio es un entorno de desarrollo integrado (IDE), es decir, un paquete compuesto por un conjunto de herramientas dedicadas y diseñadas íntegramente para un programador; éste soporta varios lenguajes de programación tales como C++, J++ y Visual Basic. Los componentes principales de un IDE son:

- Editor de texto
- Compilador
- Intérprete
- Herramientas de automatización
- Depurador
- Sistema de control de versiones
- Ayuda a la construcción de interfaces gráficas de usuario



Figura 5.1 Microsoft Visual Studio

Se ha seleccionado la versión Visual Studio 6.0, a pesar de no ser la más actual, por el menor consumo de recursos respecto a otras versiones más nuevas. La aplicación de telemetría que se diseña es relativamente sencilla, por tanto, no es necesaria la utilización de un IDE más complejo.

La versión Visual Studio 6.0 es, además, la última versión en la que el lenguaje Visual Basic se incluye sin las mejoras fruto de la plataforma .NET. El lenguaje Visual Basic es, precisamente, el utilizado en el diseño de las aplicaciones de la estación base y el vehículo.

Las ventajas que ofrece VB frente a otros lenguajes de programación derivan de su condición de lenguaje de programación orientado a objetos. Este tipo de programación expresa un programa como un conjunto de objetos que colaboran entre ellos para realizar tareas. Esto permite hacer los programas y módulos más fáciles de escribir, mantener y reutilizar. Por tanto, permite al programador crear interfaces de usuario completamente interactivas, definiendo primero objetos para luego enviarles mensajes solicitando que realicen sus métodos por sí mismos.

La estrecha relación entre métodos y atributos por la propiedad de conjunto es la mayor diferencia entre la programación orientada a objetos y la programación estructurada, en la que los datos y los procedimientos están separados y sin relación, ya que lo único que se busca es el procesamiento de unos datos de entrada para obtener otros de salida.

5.3. Programa de telemetría

A fin de conseguir una correcta comunicación vía radio-módems, ha de programarse una aplicación en la CPU del AUV que sea capaz de leer los datos del puerto serie al que está conectado la brújula electrónica y, al mismo tiempo, dirigir esta información al puerto serie al que va conectado el radio-modem TX, para que éste la transmita al radio-modem RX, vinculado a la Estación de seguimiento.

El programa se ha diseñado en lenguaje Visual Basic a partir de las herramientas que ofrece el IDE Visual Studio 6.0. Esta aplicación, que se ha llamado Telemetría, envía la petición de coordenadas UTM al DG14 y capta los datos transmitidos por los sensores a un intervalo marcado por un Timer de 1 s, intervalo idéntico al de lectura de la Estación de seguimiento.

A su vez, unifica las tramas de información de cada uno de los sensores en una sola trama, distinguiendo ambas con el símbolo "%". Esta trama total de información se envía al radio-modem TX, que se encarga de transmitirla al radio-modem RX. La Estación de seguimiento lee los datos que le proporciona este radio-modem y los divide mediante la función Split y el delimitador "%"; separándose de esta manera la trama correspondiente al receptor GPS de la de la brújula/inclinómetro. Cada una de ellas se procesa por separado, pero al mismo tiempo, y se presenta al usuario, tal como se ha explicado anteriormente.

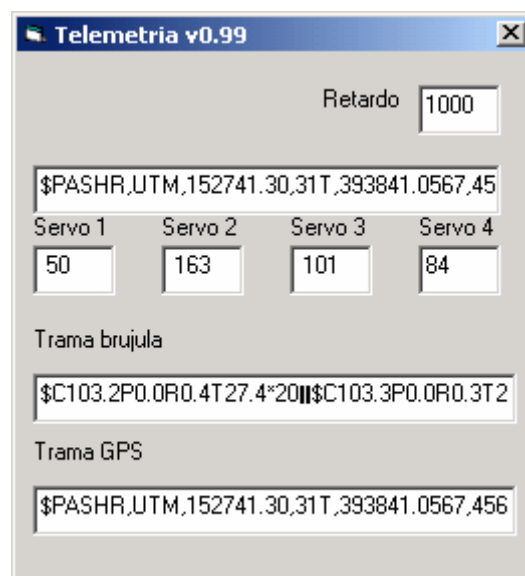


Figura 5.2 Interfaz de la aplicación Telemetría

Este programa ha de iniciarse de manera automática al encender el módulo de la CPU PC/104+, puesto que no se dispone de monitor ni de ratón o teclado, necesario para iniciar de manera manual el programa clicando el botón. Por tanto, el Timer se ha de habilitar nada más

iniciar el programa y, además, el archivo “.exe” del mismo ha de situarse en C:\Documents and Settings\All Users\Menú Inicio\Programas\Inicio para que se ejecute nada más cargarse el S.O. de la CPU.

El funcionamiento de este programa se podría resumir en el siguiente algoritmo:

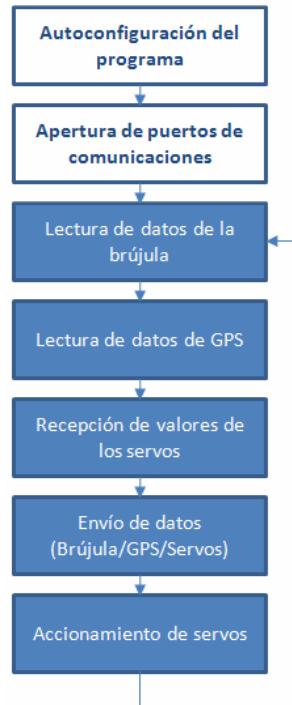


Figura 5.3 Algoritmo de la aplicación de telemetría

5.4. Estación de seguimiento y control

El PC escogido para la estación de seguimiento del AUV es un portátil, ya que es importante la movilidad del mismo a la hora de realizar las pruebas de vuelo. Este portátil no dispone de puertos serie, por tanto, es necesario utilizar un convertidor de USB a RS-232, puesto que éste es el tipo de puerto utilizado por el radio-modem receptor que ha de ir conectado para recibir los datos adquiridos por los sensores. El modelo de este convertidor es USB 2.0 to RS232 de la firma Conceptronics.



Figura 5.4 Conversor entre USB y RS232

En cuanto al sistema operativo del PC portátil, se ha optado por el Windows XP Professional Edition SP2. Este S.O. es completamente compatible con el convertidor de USB a serie escogido (cosa que no sucede con Linux o con el nuevo Windows Vista) y con el programa utilizado a la hora de diseñar el software de la propia estación base, el Visual Basic 6.0.



Figura 5.5 Estación base del AUV

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

La medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema, generalmente mediante comunicación inalámbrica, se conoce como telemetría. Ésta es de vital importancia para comprobar el correcto funcionamiento del sistema del AUV.

Así pues, resulta imprescindible diseñar un programa capaz de leer los datos recibidos por el radio-modem receptor ubicado en la estación base, que han sido enviados por el radio-modem transmisor situado en el propio vehículo. Además, de realizar esta lectura de los datos, el programa ha de gestionar estos datos y presentarlos al usuario de manera gráfica e entendible. A este programa se le ha llamado Estación de seguimiento.

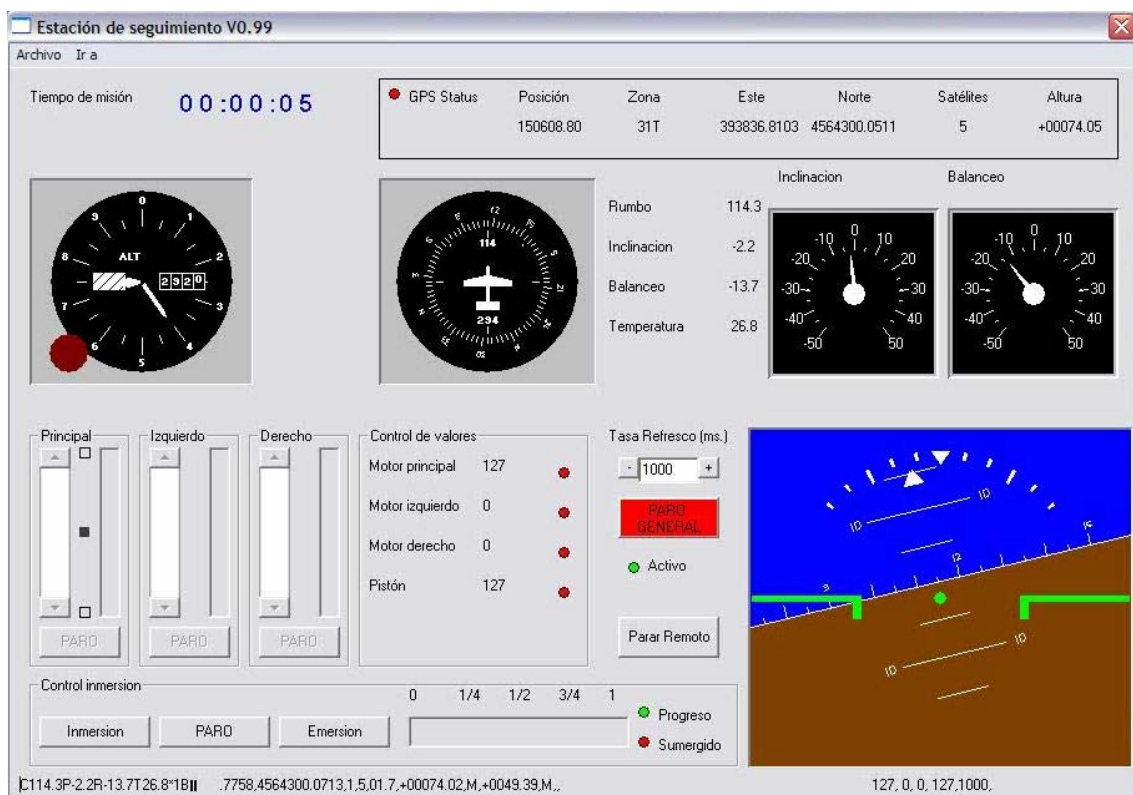


Figura 5.6 Ventana del software de control de la estación de seguimiento

Los datos de telemetría transmitidos vía el enlace radio-modem son los parámetros percibidos por los sensores del sistema de instrumentación y control, es decir, la brújula electrónica y el receptor GPS.

Los datos de interés que proporciona la brújula/inclinómetro son el rumbo, el cabeceo, el balanceo y la temperatura. Además, el cabeceo y el balanceo son especialmente importantes a la hora de implementar el control de estabilidad del AUV. Por tanto, estos cuatro parámetros son los que han de ser presentados al usuario a través de la Estación de seguimiento.

La trama de datos transmitida por la brújula electrónica TCM2.6, que contiene estos parámetros mencionados, está en el formato estándar que proporciona el dispositivo; sin embargo, se ha configurado para que no aparezcan las magnitudes del campo magnético, ya que no son necesarias en la aplicación. Así pues, la definición de la trama resultante es la siguiente:

```
$C<rumbo>P<cabeceo>R<balanceo>T<temperatura>E<error>*checksum<cr><lf>
```

5.5. Programa Brújula/Inclinómetro

Inicialmente, se ha optó por realizar un primer acercamiento mediante un programa sencillo en Microsoft Visual Basic 6.0 capaz de gestionar los datos proporcionados por la trama de información de la TCM2.6, estando ésta conectada directamente a un puerto serie del portátil. El diseño de la interfaz de usuario (o formulario) de este programa puede verse en la Figura 5.

Procediendo de este modo, se ha conocido mejor el comportamiento del dispositivo para, posteriormente, diseñar un programa más complejo que, además, lea los datos del puerto serie al que se conecta el radio-modem receptor que, a su vez, recibe los parámetros de la brújula electrónica a distancia mediante el enlace con el radio-modem transmisor.



Figura 5.7 Interfaz del programa Brújula/inclinómetro

Los componentes más importantes de este programa son el MSComm, que permite seleccionar y configurar el puerto al que se conecta el dispositivo; y el Timer, que marca el intervalo de muestreo del puerto serie y, por tanto, el intervalo de lectura y presentación de

los datos, que en el caso actual no podrá ser inferior a 1 segundo, ya que bajar este tiempo puede suponer pérdidas de información, errores y un gasto de batería innecesario.

A partir del componente MSComm se ha configurado el puerto serie al que se conecta la TCM2.6 tal como indican sus especificaciones: sin paridad, 8 bits de datos y 1 bit de stop. Asimismo, se ha seleccionado la velocidad de transferencia a 9600 baudios.

La separación de cada parámetro de la trama de datos, para su posterior presentación en el correspondiente TextBox, se ha realizado con la función Split, ésta devuelve una matriz unidimensional basada en cero que contiene un número especificado de subcadenas delimitadas por un carácter específico. Así pues, se procede dividiendo la trama completa recibida utilizando la función Split y el delimitador "c" y, a continuación, volviendo a utilizar la función Split pero esta vez dividiendo el primer componente de la separación anterior y utilizando "P" como delimitador. De este modo, se consigue separar el valor "rumbos" que se asigna al TextBox deseado; para obtener los demás parámetros se procede de igual modo, teniendo en cuenta el delimitador correspondiente.

Antes de realizar la separación anterior, se ha de realizar un control de error que detecte si la trama ha llegado correctamente y contiene todos los parámetros. Esta detección se realiza con la función Instr, que devuelve un entero que especifica la posición inicial de la primera aparición de una cadena dentro de otra. Por tanto, se aplica la función Instr para buscar en la trama de datos cada uno de los caracteres que delimitan los parámetros de la misma ("s", "c", "P", "R", "T" y "*"); si el resultado de alguna de las funciones Instr aplicadas es igual a cero, significa que la trama no ha llegado correctamente, es decir, faltan todos o alguno de los parámetros deseados. Si se da el caso de que la trama de la brújula electrónica no se recibe adecuadamente, la aplicación de la función Split explicada con anterioridad queda abortada hasta recibir una trama correcta.

Además del control de error que utiliza la función Instr para detectar que la trama recibida es la adecuada, ha de tenerse en cuenta si la trama contiene el campo "código de error" y, si es así, diferenciar cada uno de estos errores. Para este fin, ha de detectarse primero si la trama contiene el carácter "E" mediante la función Instr y, posteriormente, si el resultado de la función es diferente de cero, utilizar esta misma función para asignarle a un TextBox un mensaje de error u otro, dependiendo del mencionado código de error. De este modo, el usuario observa de manera clara si se produce un error tal como "Inclinómetro fuera de

rango”, que es precisamente el error más común, ya que se produce cuando el inclinómetro supera, en cabeceo o en balanceo, un rango de $[-50^{\circ}, +50^{\circ}]$.



Figura 5.8 Mensaje de error en el programa Brújula/Inclinómetro: Inclinómetro fuera de rango

Estas funciones de lectura, control de errores y gestión de los datos proporcionados por la trama de la brújula TCM2.6, se han insertado dentro del evento Timer, definiendo el parámetro intervalo de su objeto a 1 s. Así pues, una vez habilitado el Timer mediante el botón “START”, se realiza la lectura del puerto serie y la presentación en pantalla de los diferentes datos al usuario cada segundo, hasta que vuelve a deshabilitarse el evento Timer temporalmente o de manera definitiva (cerrando el formulario) accionando el botón “STOP” o “SALIR”, respectivamente.

El botón “SALIR”, además de deshabilitar el evento Timer, y a diferencia del botón “STOP”, también cierra el puerto serie seleccionado, que se abre y configura nada más inicializar el formulario.

5.6. Programa definitivo

Una vez realizado el programa sencillo descrito en el apartado anterior, se ha iniciado el diseño de la Estación de seguimiento, que aúna los datos recibidos por la brújula electrónica y el receptor GPS, además de añadir elementos gráficos para su mejor interpretación. El menú Estabilidad que organiza los datos transmitidos por la brújula electrónica se muestra en la Figura 7

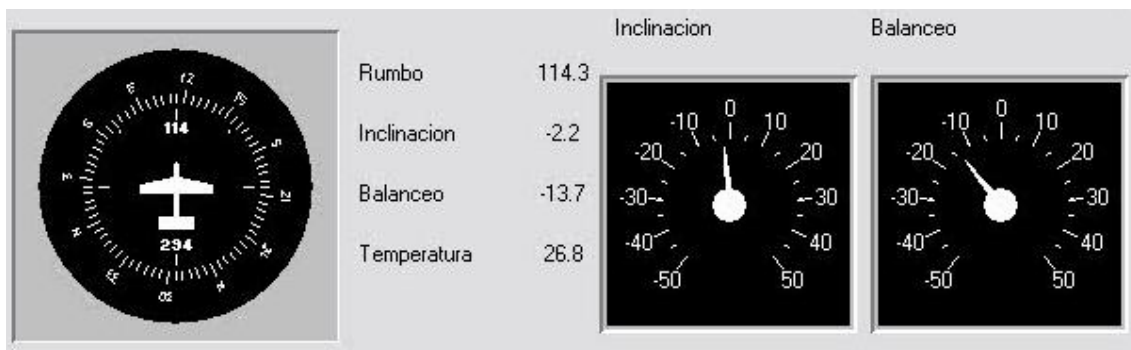


Figura 5.9 Datos referenciados en el software

Por tanto, se aprovechó el código del programa Brújula/Inclinómetro para gestionar todos los parámetros de la brújula electrónica, agrupando a estos en un mismo sector del programa. Se han añadido, además, 3 elementos gráficos que responden a la dinámica de estos parámetros, y que facilitan la visualización de los mismos.

Los elementos gráficos, que participan en la representación de los datos de los distintos sensores en la Estación de seguimiento, forman parte de la ActiveX Aircraft Library v1.1 de Global Majic Software. Esta librería está compuesta por controles ActiveX; éstos son objetos que se colocan en el formulario para habilitar o mejorar la interacción del usuario con una aplicación. Los controles ActiveX tienen eventos que se puede incorporar en otros controles. La extensión de su nombre de archivo es “.ocx”, por este motivo se conocen también como controles OCX.

La ActiveX Aircraft Library v1.1 es una librería formada por un conjunto de cuatro controles personalizables y específicos para aeronaves, pero que se pueden aprovechar totalmente para el AUV; diseñados para los programadores interesados en crear juegos, simulaciones o emulaciones de pilotaje. Estos cuatro controles son los siguientes: Aircraft Dynamics ActiveX Control, Aircraft Instruments ActiveX Control, Joystick ActiveX Control y Moving Map ActiveX

Control. En la siguiente figura se muestran ejemplos de componentes que pertenecen a alguno de estos controles.



Figura 2.10 Componentes de ActiveX Aircraft Library v1.1

Los componentes utilizados en la implementación la Estación de seguimiento forman parte de Aircraft Instruments ActiveX Control. Este control muestra doce pequeños instrumentos de navegación: altímetro, horizonte artificial, buscador automático de dirección, indicador de velocidad de escalada, brújula, indicador de ruta, indicador de rumbo, indicador de situación horizontal, indicador de orientación, indicador radio magnético y coordinador de giro.

Estos componentes pueden configurarse por el programador de manera fácil gracias a páginas dinámicas de configuración, que muestran el resultado de los cambios realizados inmediatamente después de cambiar la configuración de alguno de los parámetros.

Los instrumentos más ilustrativos a la hora de representar los datos de la brújula electrónica son el indicador de rumbo y el horizonte artificial. Por este motivo se incluyen en el software diseñado, de esta manera, representan el rumbo y la inclinación (cabeceo y balanceo) del vehículo, respectivamente.

Del mismo modo, en el módulo de horizonte artificial se relaciona la escala de cabeceo y balanceo a lo sensado por la brújula. Este hecho significa que si el punto central, que indica la parte delantera más extrema del vehículo, se encuentra en el límite, superior o inferior, de la escala del cabeceo, aparece el mensaje de error "Inclinómetro fuera de rango", ya que este límite ha sido configurado a $\pm 50^\circ$. Este mensaje también aparece si la punta de flecha que apunta hacia arriba llega a uno de los límites de la escala curva, que indica el balanceo, y cuyo valor es también de $\pm 50^\circ$. Estas cuatro posibles situaciones de "Inclinómetro fuera de rango" se muestran en la Figura 9.

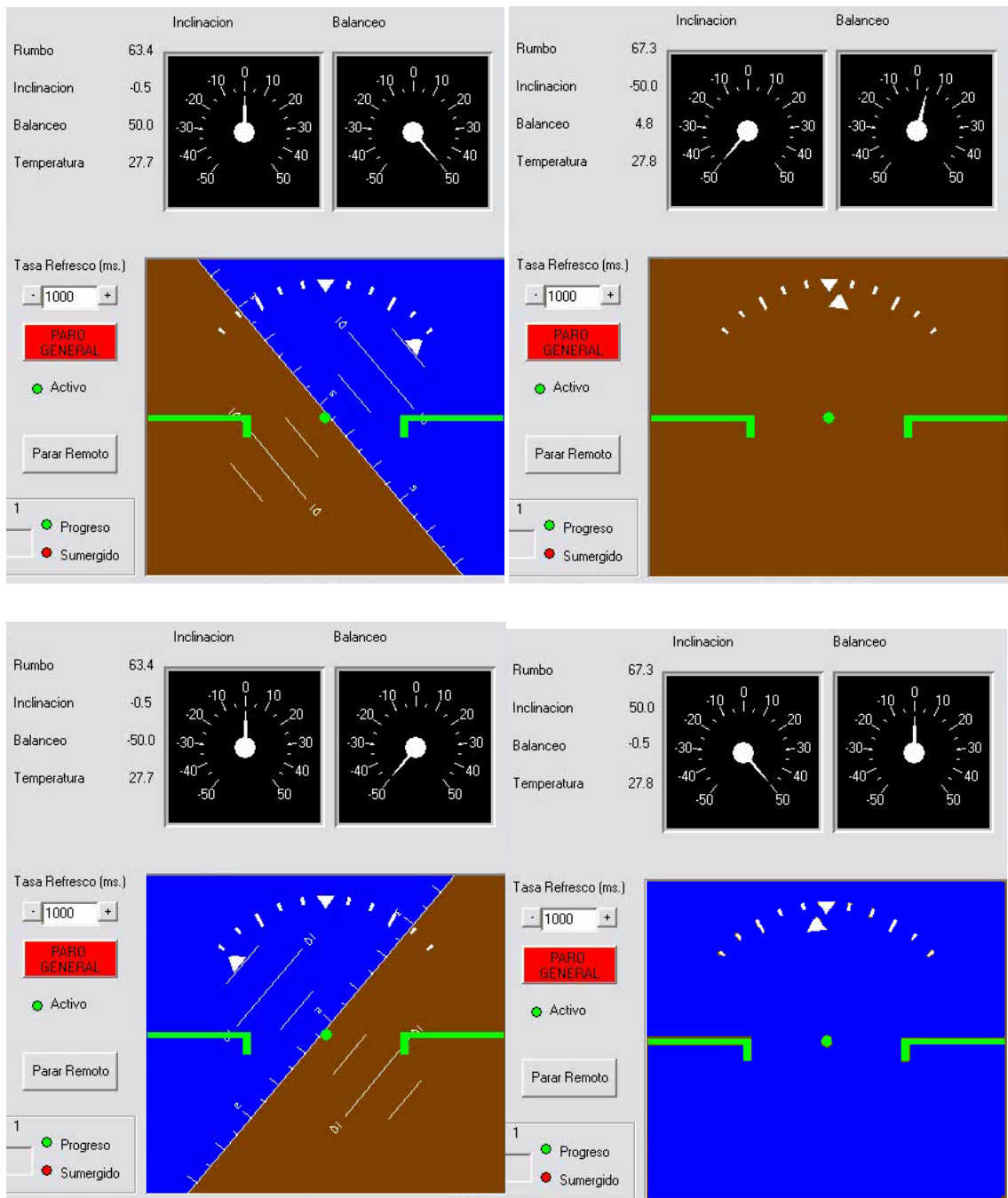


Figura 5.11 Valores extremos de inclinación y balanceo

5.7. Procesamiento de los datos del receptor GPS

El receptor GPS es indispensable para conocer en cada momento la posición del AUV, por este motivo los parámetros obvios que se deben obtener del mismo han de ser las coordenadas. Además, es interesante recibir datos sobre la altitud y el número de satélites detectados, ya que este último dato determina la exactitud del posicionamiento captado.

Existen numerosos comandos de configuración y petición de los diferentes parámetros del DG14. El grupo de comandos que resulta más útil es el de comandos NMEA, ya que proporcionan los datos requeridos en un formato estándar fácilmente interpretable.

Los comandos que más se ajustan a nuestra aplicación son los que permiten obtener las coordenadas en formato UTM, ya que a partir de sus magnitudes es posible diseñar un mapa georreferenciado de manera menos compleja que con la utilización del sistema de coordenadas tradicional (latitud y longitud). Así pues, el comando de petición que ha de enviar el usuario al receptor GPS DG14 para obtener las coordenadas UTM es:

- \$PASHQ,UTM,[c1]: Este comando realiza la petición del mensaje UTM, donde “c1” es un campo opcional que hace referencia al puerto de salida de la respuesta. Si este puerto no se especifica, el receptor envía la respuesta por el puerto utilizado al enviar el comando.

El mensaje de respuesta a al comando enviado por el usuario no es transmitido por el DG14 a menos que el mensaje contenga las coordenadas traducidas a UTM, más el tiempo UTM, el número de los satélites utilizados en el cómputo de la posición, el modo de la fijación de la posición (por ejemplo, autónomo o corregido), y más. El mensaje de salida se muestra en el siguiente formato:

```
$PASHR,UTM,m1,m2,f3,f4,d5,d6,f7,f8,m,f9,m,d10,s11*hh
```

La descripción de cada uno de los campos que forman el mensaje de respuesta del receptor GPS DG14 se observan en la Tabla 2.

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

Parámetros	Descripción	Rango
m1	UTC (Universal Time Coordinated) de la posición en horas, minutos y segundos (hhmmss.ss)	0 a 2355959.90
m2	Número de la zona de coordenadas	1 a 60, 99 N – North S – South
f3	Coordenada Este UTM	-999999.999 a +9999999.999
f4	Coordenada Norte UTM	-999999.999 a +9999999.999
d5	Indicador del modo de posición fija 1 – Posición sin procesar 2 – Diferencial RTCM o CPD flotante 3 – Fase de carga diferencial (CPD) fija	1, 2, 3
d6	Número de satélites GPS utilizados para computar posiciones	3 a 14
f7	Precisión de la disolución horizontal	0.00 a 999.9
f8	Altura de la antena	-99999.999 a +99999.999
m	Unidades de la altura de la antena	M = metros
f9	Separación geoidal	±999.999
	Unidades de la separación geoidal	M
d10	Edad de las correcciones diferenciales	0 a 999
s11	Estación ID de referencia diferencial	String de 4 caracteres
*hh	Checksum	-

Tabla 5.2 Campos del mensaje de respuesta del receptor GPS DG14 Board

5.8. Datos GPS

Si anteriormente se ha explicado la traducción de los datos de la brújula del programa Estación de seguimiento, que organiza los datos recibidos por la brújula electrónica, ahora en el menú Posicionamiento, que aúna los diferentes parámetros detectados por el receptor GPS y que se presenta en la Figura 10.

 GPS Status	Posición	Zona	Este	Norte	Satélites	Altura
	150608.80	31T	393836.8103	4564300.0511	5	+00074.05

Figura 5.12 Datos GPS de la Estación de seguimiento

Los parámetros de la trama de respuesta del receptor GPS DG14 a la consulta de las coordenadas UTM que se visualizan en este menú son, además de la trama en sí, la posición (hhmmss.ss), la zona, las magnitudes Este y Norte, el número de satélites y la altura de la antena, que, sabiendo que ésta ha de situarse dentro del AUV, es idéntico a hablar de la altura del AUV, aunque en principio, este no es un dato importante ya que a pesar del dato de la imagen, el vehículo sólo se situará sobre los 0 metros.

Para obtener estos datos de manera periódica se ha utilizado, al igual que con la brújula/inclinómetro, un componente Timer configurado a 1 s. Las funciones que se ejecutan al habilitar este componente, presionando inicio en el menú archivo, son el envío, a través del puerto serie del portátil al que se encuentra conectado el DG14, del comando de consulta "\$PASHQ,UTM" seguido de los caracteres ASCII correspondientes a <CR><LF>; y la lectura, y posterior organización, de la trama de respuesta del receptor GPS.

Hay que tener en cuenta que el envío del comando de consulta de coordenadas UTM tan solo ha de realizarse desde la Estación de seguimiento si el DG14 se encuentra conectado al portátil de la estación base. Sin embargo, este comando ha de ser transmitido por la aplicación del AUV si el receptor GPS está conectado al módulo CPU perteneciente al mismo.

Previamente a la organización de cada parámetro de la trama de respuesta, ha de aplicarse un control de error que detecte si la trama recibida es correcta. La manera de proceder es aplicando la función Instr a la trama en busca de los caracteres "\$PASHR", que siempre corresponden al inicio del mensaje de respuesta.

Una vez pasado este control, cada campo de la trama se divide mediante la función *Split*, utilizando como delimitador el carácter ",". A diferencia de la trama correspondiente a la brújula electrónica, que contiene diferentes caracteres para delimitar cada uno de sus parámetros, la trama transmitida por el DG14 cumple el formato NMEA dividiendo sus campos con una coma y, por tanto, solo es necesario aplicar la función *Split* una vez.

Es útil emplear otro control de error una vez divida la trama de respuesta, comprobando que ésta se ha separado en quince elementos. La función a utilizar para este objetivo es *Length*, esta función obtiene un número entero que representa el número total de elementos del vector al que se aplica. De este modo, se asegura que la trama es la adecuada y se ha recibido de manera completa, a pesar de que alguno de sus campos pueda estar vacío. Si el mensaje transmitido por el DG14 no supera este control de error o el explicado anteriormente, aparece el mensaje "Trama incorrecta" y se omite el procesamiento de los parámetros hasta la obtención de una trama apropiada.

Si la trama de respuesta supera ambos controles de error, los parámetros obtenidos al ser ésta dividida se organizan en el TextBox correspondiente. Además, se ha añadido un elemento gráfico de la librería ActiveX explicada anteriormente. Este componente es un altímetro que se ha configurado para representar la altura detectada por el DG14. Éste solo se activa si el parámetro altura no se transmite vacío, puesto que los valores de zona, coordenadas Este y

Norte y altura no se reciben hasta que el receptor GPS puede utilizar un mínimo de cuatro satélites para el cómputo de los mismos.

5.9. Representación de coordenadas

Además de presentar al usuario cada uno de los parámetros de interés que proporciona el receptor GPS mediante el uso de TextBox y altímetro gráfico en el menú Posicionamiento, se ha ideado una georreferenciación de diversos mapas para poder observar, en todo momento y de manera clara, la posición en la que se encuentre.

A este fin, una vez separadas las magnitudes de las coordenadas Este y Norte, y comprobado que no hayan llegado vacías, éstas han de pasarse una función que se ha llamado Almacenar coordenadas, la cual habilita un evento que permite trazar en el mapa la posición transmitida por el GPS

Los mapas utilizados para representar la posición que indica el DG14 son unas ortofotos, es decir, unas presentaciones fotográficas de una zona de la superficie terrestre, en la que todos los elementos presentan la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico. Se han escogido las ortofotos a escala 1:5000 de Vilanova i la Geltrú, lugar donde se encuentra el edificio Neapolis en el que se efectúan las pruebas experimentales y la EPSEVG.

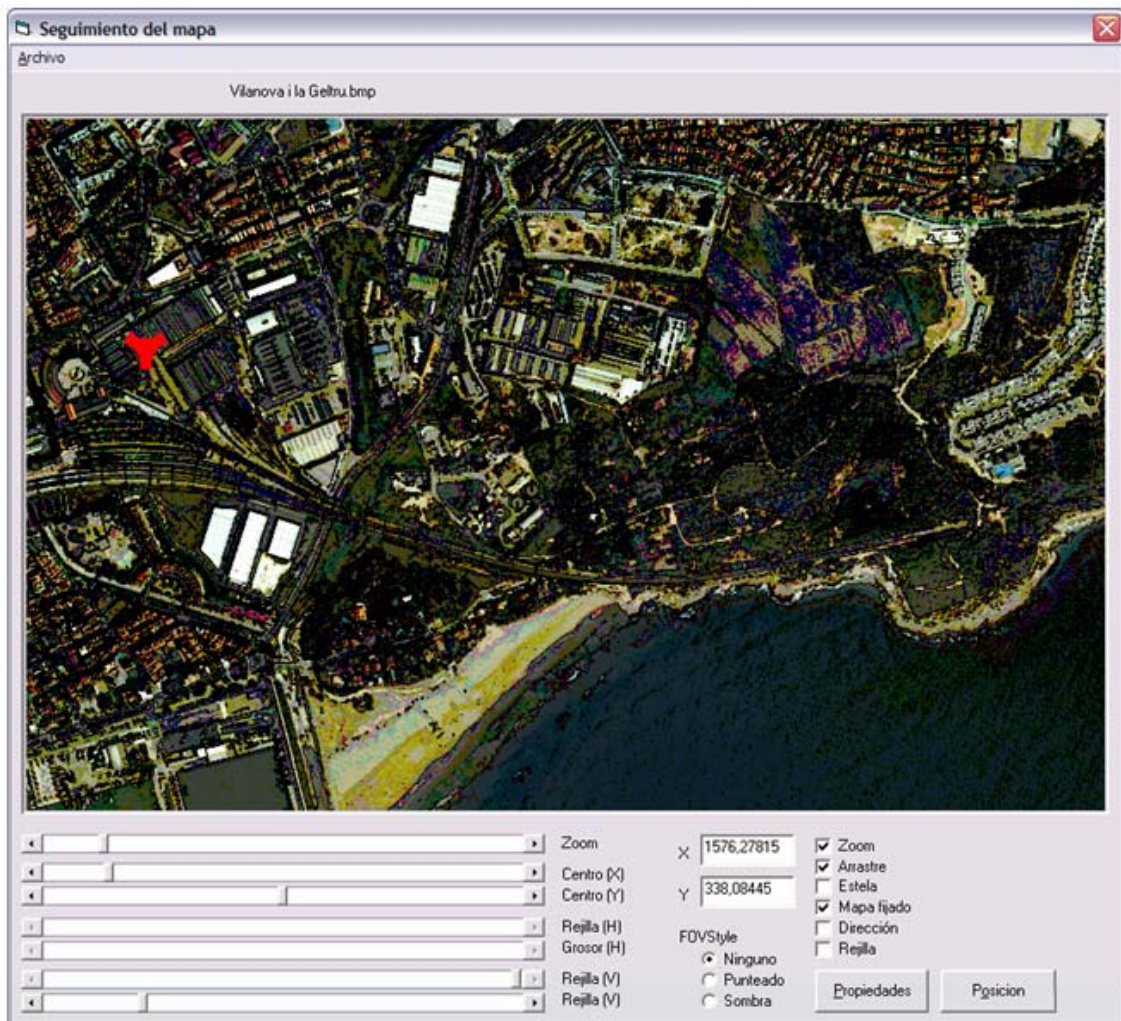


Figura 5.13 Referenciación en el mapa

5.10. Generación de históricos

Por tal de tener visualizados los resultados obtenidos en las pruebas a realizar, se decidió el incluir también dentro del programa de la estación de seguimiento una salvaguarda de históricos de los valores obtenidos cada 5 segundos, como mínimo por la brújula, concretamente rumbo, inclinación y balanceo que se pueden representar de la siguiente forma:

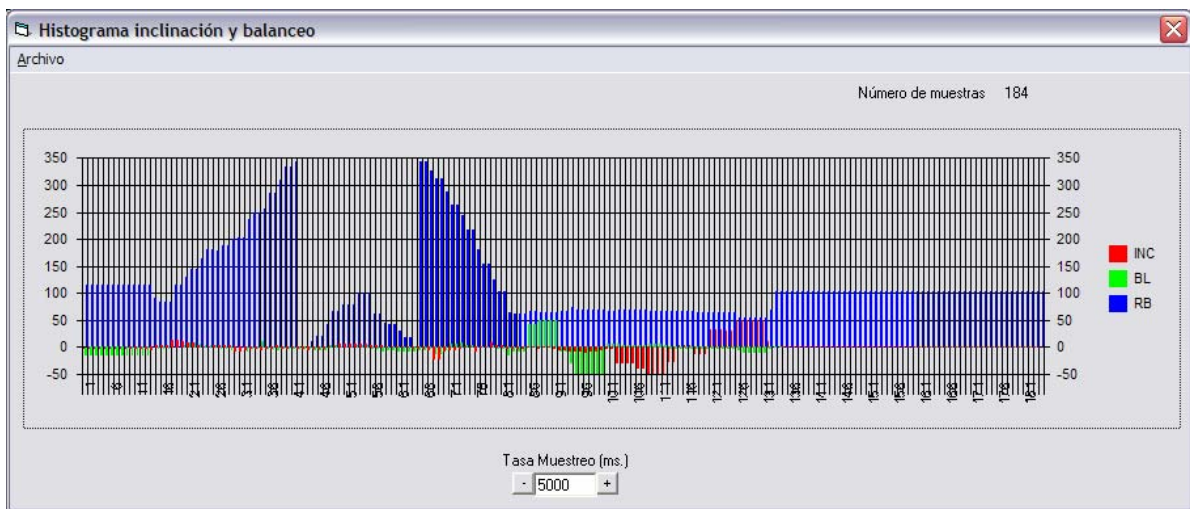


Figura 5.14 Creación de históricos

O incluso exportar a un programa de manipulación de tablas tipo Microsoft Excel o similar para poder realizar un gráfico de los valores obtenidos y de esta forma tener una representación aún más visual que la obtenida directamente en el aplicativo de históricos.

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

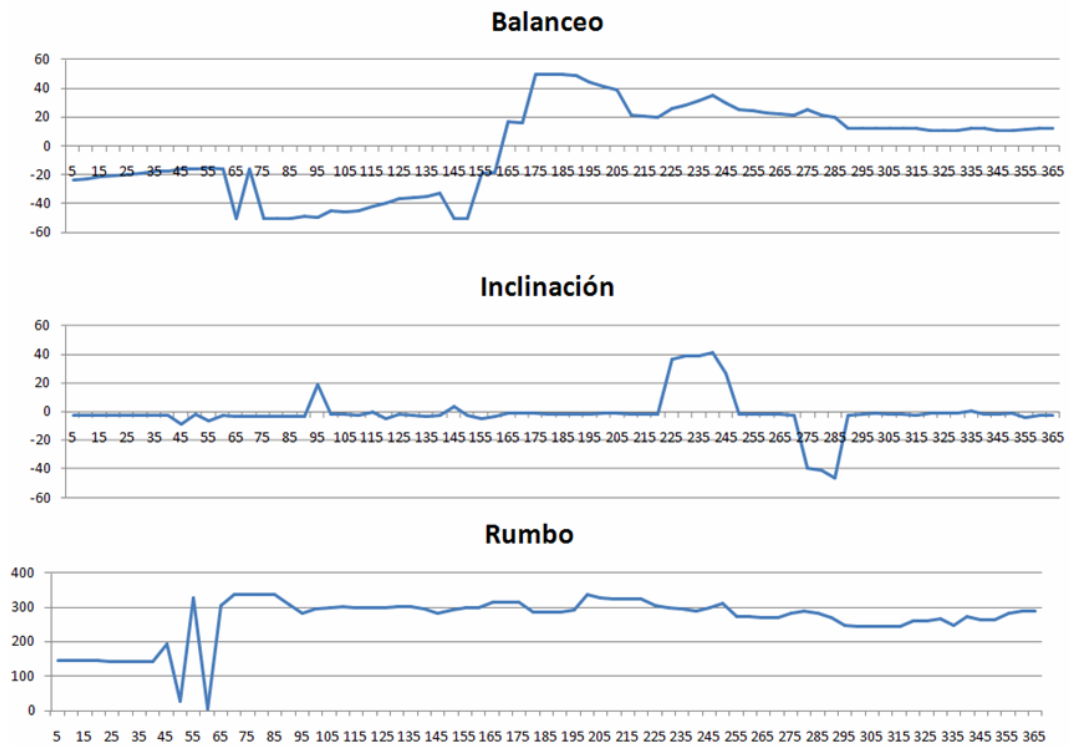


Figura 5.15 Realización de un gráfico a partir de Microsoft Excel

5.11. Control de motores

El control de los motores del vehículo submarino esta también incluido dentro de la estación de seguimiento, tal y como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 5.16 Vista del control de motores

A nivel general se puede distinguir 4 elementos diferentes:

Control de nivel de potencia

Está basado en barras verticales y que de manera visual se puede desplazar para obtener una mayor o menor potencia en los motores, que tal y como está descrito se puede controlar de esta manera, los dos motores laterales (izquierdo y derecho) y el motor principal.

Control del valor de servos

El control del valor de servos está íntimamente ligado con el control del nivel de potencia, ya que a cierto valor, se representará en una mayor o menor potencia transmitida, se puede ver este valor en el cuadro Control de valores, en el que se distinguen 4, Motor principal, Motor lateral derecho, Motor lateral Izquierdo y Pistón, que también de forma intuitiva en cada cambio de valor el dispositivo rojo cambiará a verde.

Control del pistón

De forma intuitiva, simplemente se trata de 3 botones de acción, Inmersión, PARO y Emersión, al apretar inmersión o emersión, el boton de acción contraria quedará completamente inhabilitado, a no ser que en caso de emergencia se tenga que recurrir al botón de paro, en este caso se podra realizar cualquiera de las dos opciones.

Parada de emergencia

Existe un elemento para este fin, el botón de PARO GENERAL, con el que se pararán todos los motores, ya se trate de avance, giro o control de inmersión.

5.12. Algoritmo del programa

A nivel intuitivo, se puede generar el siguiente algoritmo de programa en el que existen varias bifurcaciones, ya que se puede realizar un control manual o automático del sistema así como apagar remotamente del PC104 instalado en el vehículo. Todos los detalles de utilización de este programa se explicarán con detenimiento en el tema 6 de la presente memoria.

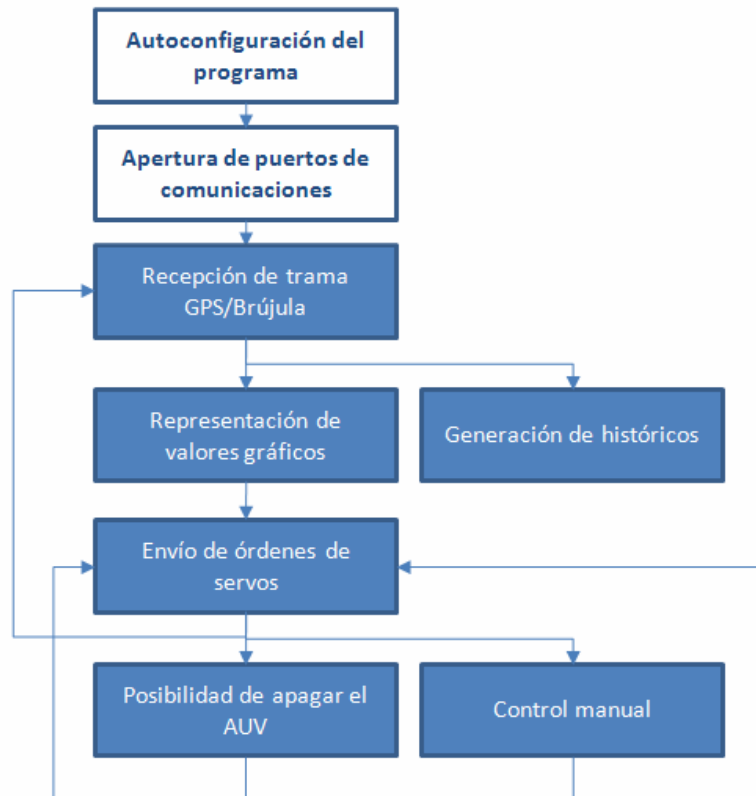


Figura 5.17 Algoritmo de programa

6. Pruebas del sistema y manual de usuario

Las pruebas realizadas consistieron en el funcionamiento del AUV en primer lugar por partes, es decir, se probaron todos los sistemas por separado antes de realizar una prueba total que conllevara riesgos.

En primer lugar se probaron los sistemas de navegación, que se compone de la brújula, el GPS y radiomodem, todo ello controlado a distancia mediante el constante envío de tramas del programa de telemetría y el también constante recibimiento y posterior interpretación de lo recibido. En la figura 6.1 es posible comprobar los resultados de la primera prueba de navegación.

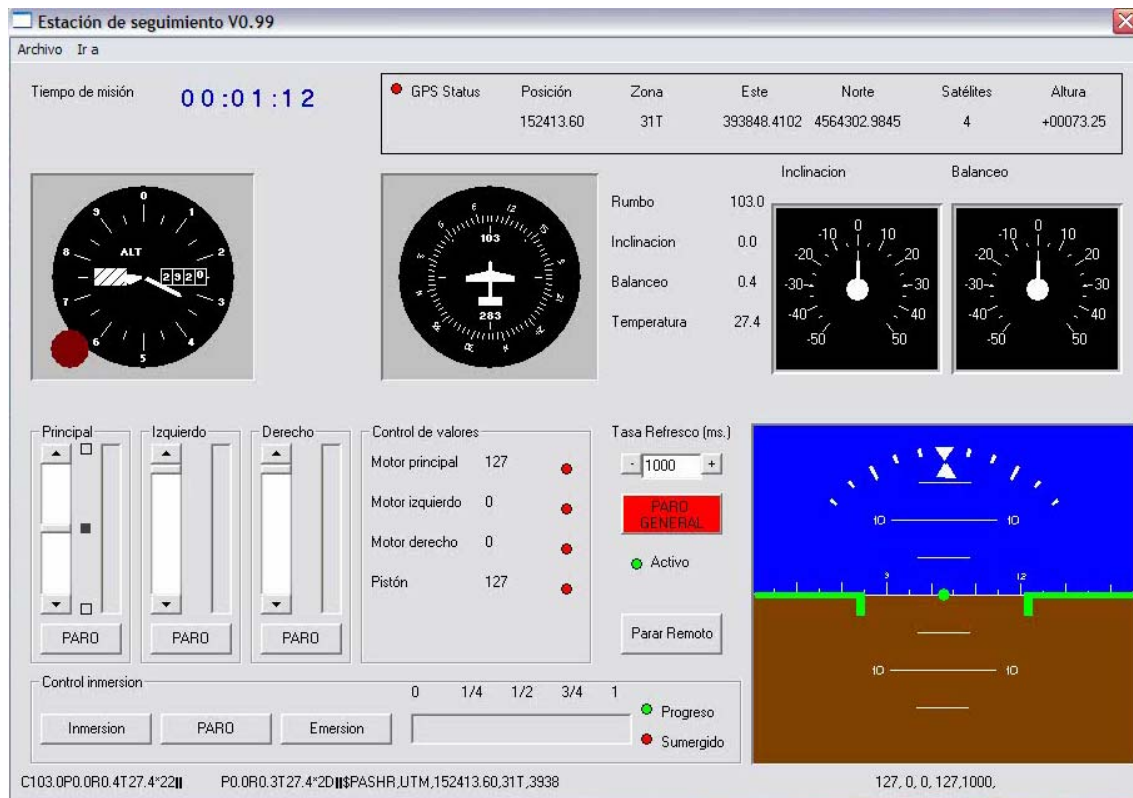


Figura 6.1. Primeros resultados de funcionamiento

6.1. Pruebas de la brújula

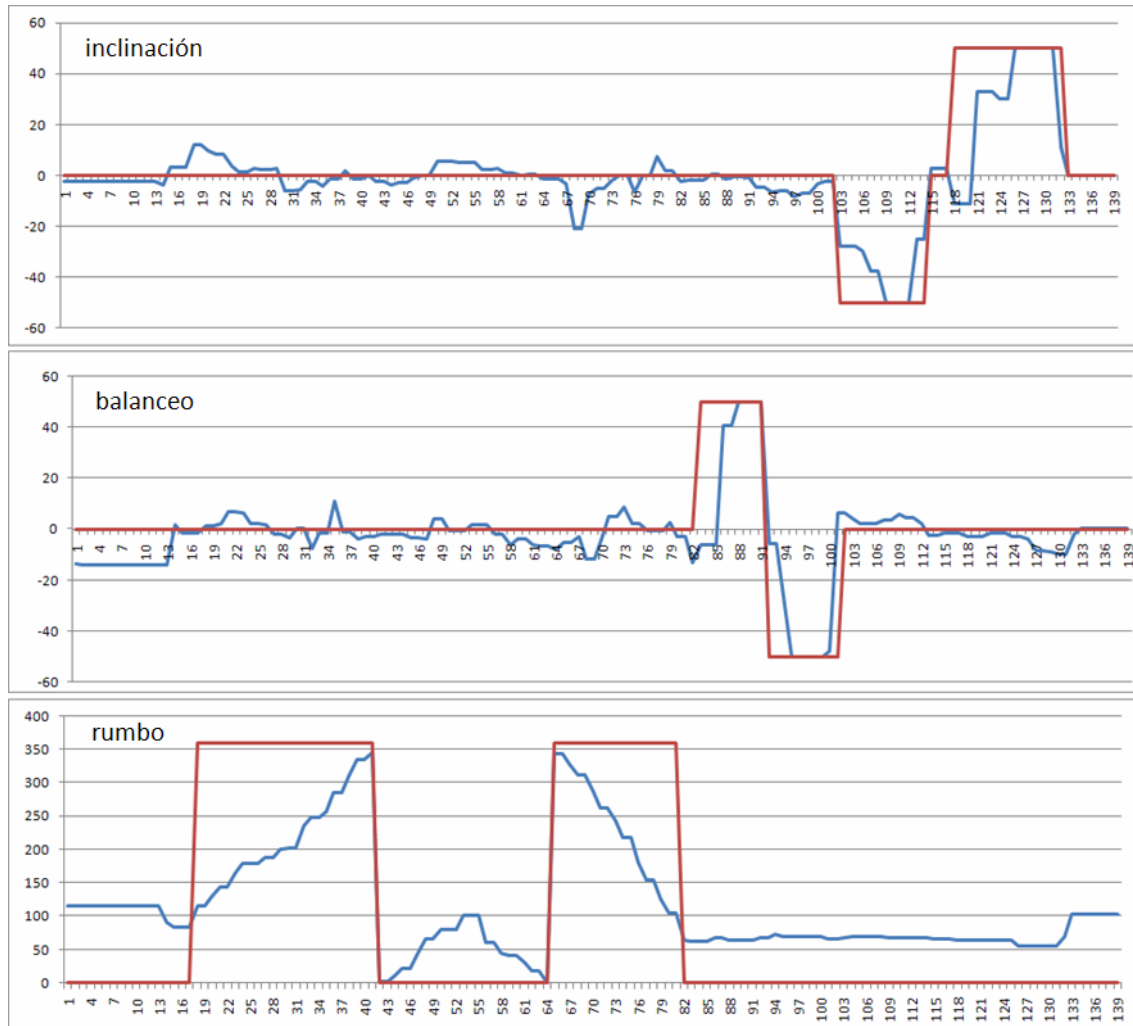


Figura 6.2. Histórico de datos obtenidos de la brújula

En la figura anterior se puede comprobar de forma intuitiva la posición relativa del submarino en cada instante, es conveniente puntualizar que en el eje horizontal se representan los datos recibidos, cada cifra equivale a unos valores obtenidos cada 5 segundos. También se ha incluido una línea guía de color rojo por tal de marcar los límites máximos y mínimos establecidos por la brújula por tal de ver variaciones temporales dentro de estos límites.

6.2. Pruebas del GPS

Para la realización de pruebas del sistema GPS, será necesario poder situar un punto en el mapa georeferenciado de Vilanova, es conveniente recordar que los detalles del posicionamiento GPS se ofrecieron con todo detalle en el capítulo 3 y 5.

En la siguiente imagen se representan las coordenadas se obtuvieron unas coordenadas del GPS, y que posteriormente se podrían referenciar en un mapa previamente estudiado, esto quiere decir que se tienen que saber con la mayor exactitud posible todas las coordenadas límite por tal de situar el punto en un mapa escalado correctamente.

GPS Status	Posición	Zona	Este	Norte	Satélites	Altura
●	152413.60	31T	393848.4102	4564302.9845	5	+00073.25

Figura 6.3. Datos obtenidos del GPS

6.3. Pruebas de motores

En este caso se obtienen detalles de la posición dada por el GPS y los datos ofrecidos por la brújula incluyendo también el accionamiento de motores, como es posible comprobar en la figura 6.2, la trama enviada hacia el AUV, tiene valores de servo diferentes a los equivalentes a parada, que implican movimiento en todos los motores.

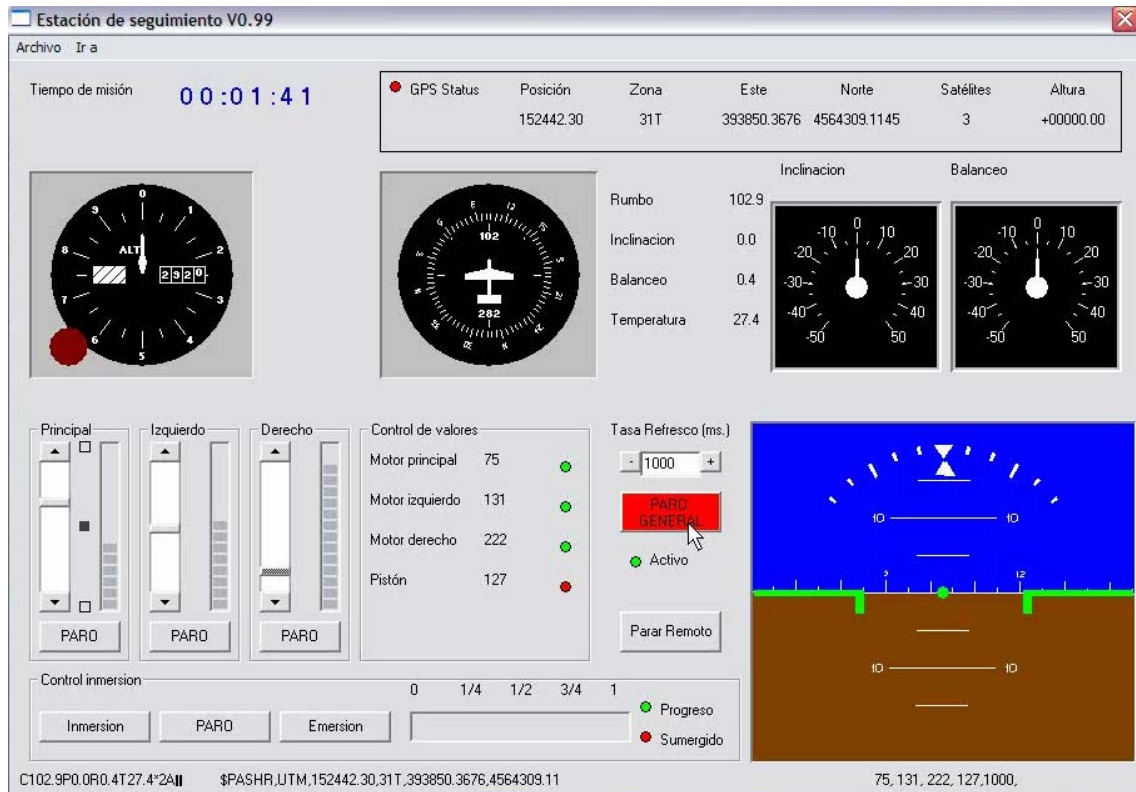


Figura 6.4. Funcionamiento de motores

6.4. Manual de usuario

En primer lugar se ha de cargar la aplicación “Estación de seguimiento V0.99” que puede ser instalada en cualquier lugar del PC, ya sea en el disco fijo o bien en una memoria flash.

Una vez lo arranquemos se tiene que arrancar seleccionando Archivo, Start. Igualmente se podrá parar temporalmente haciendo clic en Archivo, Stop.

Por defecto estará seleccionado el modo Automático, se puede seleccionar el manual en Archivo, Manual, también es posible revertir el orden y volver a modo automático. Dentro del modo manual únicamente, se podrán maniobrar los motores.

Es posible que las coordenadas GPS se retarden incluso 1 minuto, esto es debido a que hasta no se tenga un número de satélites correcto no se podrá centralizar una posición.

En el momento que se tenga una posición centralizada, se podrá visualizar en el mapa seleccionando Ir a, Mapa, en el menú. Una vez dentro de este aplicativo se tendrá que seleccionar el mapa en cualquier tipo de imagen guardado, una vez acabe el proceso de carga se podrá centralizar la posición en el mapa, y se verá un distintivo rojo sobre la posición marcada por el GPS.

Finalmente se puede visualizar el control de históricos seleccionando Ir a, Gráfico, en el menú, será entonces cuando aparezca el gráfico de históricos que se podrá copiar y exportar a cualquier editor tipo Microsoft Excel, dando así un mayor dinamismo al control de datos proporcionado.

Se puede concluir el presente apartado comentando los dos últimos detalles de la aplicación, el control de refresco de datos, que por defecto está a 1 segundo, y se puede incrementar con los botones de + y -. Por último, en caso de finalizar la misión del AUV o bien simplemente apagarlo, se puede realizar a distancia, mediante el botón Parar Remoto, y aceptando la condición impuesta por el mensaje que aparecerá seleccionando SI, el PC104 quedará apagado hasta nuevo arranque.

A pesar de las explicaciones, el programa diseñado es muy intuitivo y fácil de manejar dando pie a que cualquier persona sea capaz de utilizarlo.

7 Conclusiones

El objetivo inicial del presente proyecto consistía en el estudio y la implementación de los sistemas electrónicos y de la programación necesaria para realizar el control autónomo de un vehículo submarino (AUV).

Los objetivos del proyecto se han conseguido de manera satisfactoria, dotando al AUV de los sistemas y hardware y software necesarios para ofrecer una ~~total~~ autonomía en su navegación.

Se ha conseguido:

- Pc104

Como pieza central del sistema de navegación del vehículo, controla todos los elementos conectados a él, así como la brújula, placa de servos y GPS. Interpretando los valores obtenidos y siendo capaz de transmitirlos hacia la estación base.

- Sistema de navegación

Dicho sistema, compuesto de la brújula o inclinómetro y GPS, responde correctamente a las exigencias propuestas, es decir, se consigue una precisión notable de los valores de rumbo, inclinación, balanceo y temperatura, por parte del inclinómetro, y por parte del GPS se obtiene un posicionamiento de gran precisión que se puede representar correctamente en el mapa georeferenciado.

- Sistema de propulsión

Todos los componentes de dicho sistemas, básicamente los motores que impulsan o hacen girar a la nave funcionan según las expectativas previstas, probando todas las combinaciones posibles de motores y controlando también la exigencia energética de estos elementos, que se encuentra también dentro de las previsiones

- Sistema de comunicación

En este punto, entran en juego los radiomodem y antenas del sistema, que funcionan de forma totalmente transparente entre el AUV y la estación, que son los elementos que interconectan.

- Alimentación

El sistema eléctrico del AUV tal y como se describió en el tema 4, compuesto por baterías, y convertidores, elegidos para cumplir las expectativas previstas y que cumplen de forma correcta.

La realización de este proyecto ha proporcionado conocimientos en programación orientada a objetos y georreferenciación, así como nuevos conocimientos en distintas áreas de electrónica, telecomunicaciones, y mecánica). Este hecho ha resultado de gran interés, ya que a lo largo de los estudios son escasas las oportunidades de integrar conocimientos de distintos campos.

Cabe mencionar que no se ha realizado una prueba de navegación del vehículo con el control desarrollado debido a que, la estanqueidad del prototipo quedó dañada a causa de que en las pruebas realizadas en una cámara hiperbárica el módulo estanco no superó una presión de 3 Atmósferas, por causa de un deterioro en su construcción

Líneas Futuras de desarrollo.

En lo referente a las líneas futuras de desarrollo del proyecto expuesto este permite la implementación de diferentes algoritmos de control del vehículo, que tengan en cuenta una buena estabilidad, un ajustado seguimiento de trayectorias, así como una buena robustez a las perturbaciones medioambientales.

Además, actualmente se está construyendo un chasis exterior de fibra de vidrio, que proporcionará un mejor comportamiento hidrodinámico del vehículo y un nuevo módulo estanco de aluminio que garantizará una estanqueidad de 30 Atmósferas.

A continuación se ofrece una perspectiva visual del nuevo módulo exterior (figura 7.1, 7.2) y módulo estanco (figura 7.3).

Diseño de un sistema autónomo de control para un vehículo submarino AUV

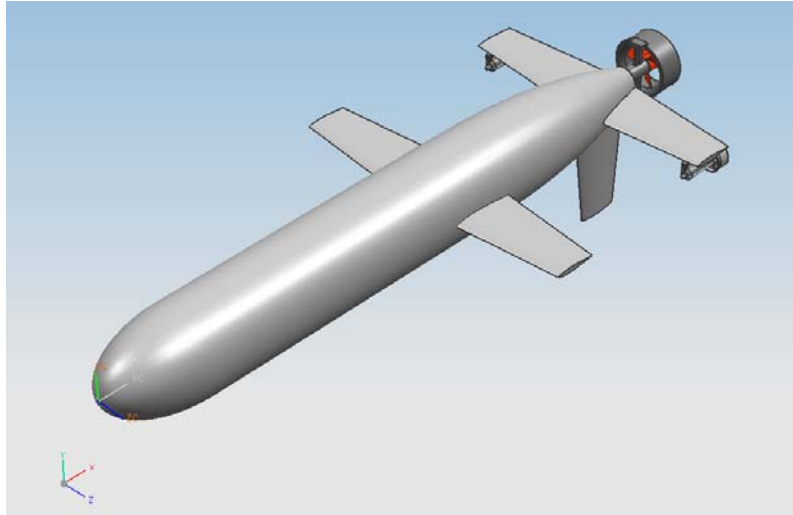


Figura 7.1. Nuevo diseño del chasis de fibra de vidrio



Figura 7.2 casco en fibra construido

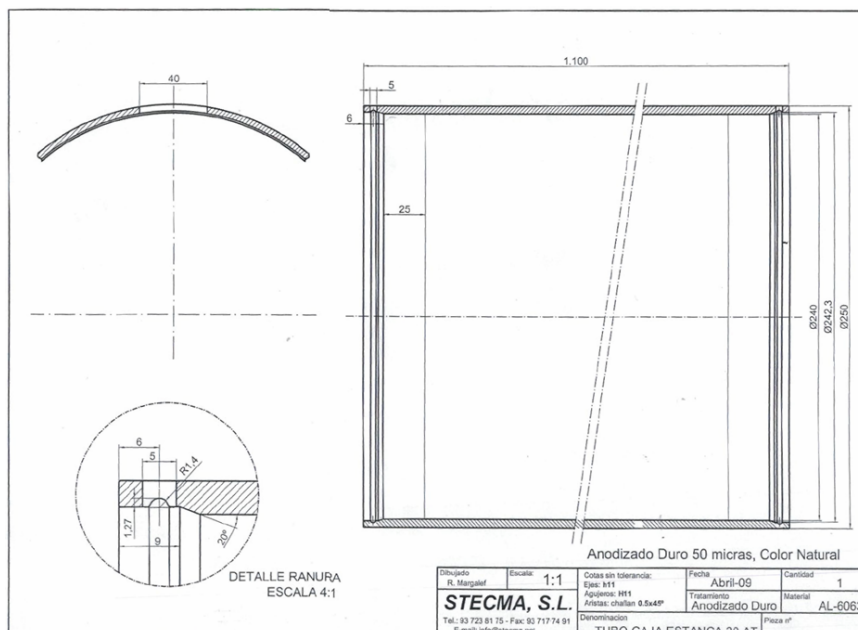


Figura 7.3 plano del módulo estanco.

Agradecimientos

En primer lugar un agradecimiento muy especial para Spartacus Gomáriz Castro por su confianza depositada, también por su gran ayuda y voluntad durante todo este proyecto y por haber sido pieza clave de la adquisición de todos los componentes necesarios.

Un especial agradecimiento a la escuela de ingeniería de Vilanova, EPSEVG, por permitir las labores del presente proyecto en un espacio tan novedoso y de tantos recursos como es el edificio Neapolis.

A Daniel Mata Palliser por haber mostrado todo su apoyo y ayuda, y sobretodo por ser un gran compañero. Finalmente también agradecer a Oriol Pallarés y Carlos Viñolo el apoyo mostrado en la fase final de pruebas.

Referencias

- [1] S. Gomáriz, J. Prat , J. Sole and P.Gayá “An autonomous vehicle development for submarine observation”. Journal of maritime research (JMR). Spanish Society of Maritime Research (SEECMAR) Proyecto subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia, 2003.
- [2] D. Marrugat Solé, *Detecció i Seguiment d’Objectes amb Visió Artificial*, Proyecto de fin de carrera, Escola Politècnica Superior de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, 2007.
- [3] S. Gomáriz, J. Prat , J. Sole and P.Gayá “An autonomous vehicle development for submarine observation”. Journal of maritime research (JMR). Spanish Society of Maritime Research (SEECMAR). Proyecto de Escola Politècnica de Vilanova I la Geltrú, Congreso Martech 2007
- [4] Wikipedia, La tortuga de David Brusnell, http://es.wikipedia.org/wiki/David_Bushnell
- [5] The World Almanac <http://www.worldalmanac.com>
- [6] Water Encyclopedia, “Submarines and Submersives” www.encyclopedia.com/doc/1G2-3404707753.html
- [7] Wikipedia, Resurgam & Resurgam II, <http://en.wikipedia.org/wiki/Resurgam>
- [8] D. Richard Blidberg, *The Development of Autonomous Underwater Vehicles (AUV)*; Proyecto de investigación del Autonomous Undersea Systems Institute, Lee New Hampshire, USA
- [9] Blidberg, D.R. Jalbert, J.C. and Ageev. *A solar powered autonomous underwater vehicle system*, Proyecto del International Advanced Robotics Program (IARP), 1998
- [10] A. Barrientos, J. del Cerro, P. Gutiérrez, R. San Martín, A. Martínez, C. Rossi, *Vehículos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones*, Grupo de Robótica y Cibernética, Universidad Politécnica de Madrid.
- [11] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) agencia federal estadounidense centrada en el control de los océanos y de la atmosfera. <http://www.noaa.gov/>
- [12] NOAA, The NOAA Fisheries AUV with custom fisheries survey instrumentation, http://www.noaaworld.noaa.gov/scitech/aug2008_scitech_5.html
- [13] Transit-Port, Lista de empresas e investigadores mundiales, <http://www.transit-port.net/Lists/AUVs.html>
- [14] Canadian Navy, AUV financiado con 100% capital del gobierno canadiense https://oceanography.navy.mil/legacy/web/auv/auv_main.html
- [15] U.S. Navy, Investigación con AUV financiada con 100% capital de la marina de los EEUU <http://www.usag.livorno.army.mil>
- [16] Hydroid, Remus 100 <http://www.hydroidinc.com/remus100.html>
- [17] Carbon made, Protipos salvavidas Mantra <http://www.carbonmade.com>
- [18] Proyecto AIRSUB del Ministerio de Educación y Ciencia, <http://eia.udg.es/~pere/airsub/descargas/presentaciones/Martech05Presentaci%C3%B3n.pdf>

- [19] P.Ridao, G.Oliver, A.Montferrer, Robot Autónomo para la inspección de presas, Proyecto final de carrera, Universitat de Girona, 2003
- [20] Gabriel Oliver, Alberto Ortiz, Javier Antich, Guiado y Posicionado de un AUV para Inspección de Cables y Emisarios Submarinos, Proyecto de investigación de la Universitat de les Illes Balears
- [21] Alexandre Monferrer, Santiago Ordàs y Eduard Montseny, Inspecciones de cascos de buques y muelles, Proyecto de investigación de la Facultat de Nàutica de Barcelona, FNB, Universitat Politècnica de Catalunya.
- [22] S. Gomàriz, J. Solé, P.Gayà, J.Prat, J. Del Río, *Development of an autonomous oceanic observation platform*, Proyecto de investigación, Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú, Universitat Politècnica de Catalunya, Congreso OCEANS 2009.
- [23] AEWIN, PM-6100: http://www.aewin.com.tw/htm/news_products_pm6100.htm
- [24] O. Pallarés, C. Viñolo, Disseny d'un sistema electrònic pel control de rumb i de posicionament d'un Autonomous Underwater Vehicle, Proyecto final de carrera de la Escola Politècnica Superior de Vilanova i la Geltrú, Universitat Politècnica de Catalunya, 2009.
- [25] Wikipedia, NMEA: <http://es.wikipedia.org/wiki/NMEA>
- [26] Wikipedia, Sistema de Posicionamiento Global: <http://es.wikipedia.org/wiki/GPS>
- [27] AeroAntenna Technology, Inc., Aviation: <http://www.aeroantenna.com/html/aviation.html>
- [28] Lynxmotion, SSC-32 Ver. 2.0: <http://www.lynxmotion.com/images/data/ssc-32.pdf>
- [29] Farell Instruments TMOD C48, Guía usuario http://www.farell-i.com/farell/esp/pro_view.php?id=7
- [30] Wikipedia, Rechargeable battery: http://en.wikipedia.org/wiki/Rechargeable_battery
- [31] Conectores herméticos <http://www.seabed.nl/documents/Subconn.pdf>
- [32] Wikipedia, Ingress Protection http://en.wikipedia.org/wiki/IP_Code
- [33] Wikipedia, Microsoft Visual Basic: http://es.wikipedia.org/wiki/Visual_Basic