

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DESARROLLO DE LA ELECTRÓNICA DE CONTROL PARA UNA
PEQUEÑA EMBARCACIÓN DE EXPEDICIONES CIENTÍFICAS
IMPULSADA POR ENERGÍA SOLAR**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

Benny Hammer Pérez Vásquez

ASESOR: Ing. Juan Jorge Gonzales Tello

Lima, Marzo del 2011

RESUMEN

Este trabajo de tesis se realiza con el objetivo de impulsar el desarrollo de la electrónica de control para una pequeña embarcación alimentada por energía solar; con el fin de utilizarla en expediciones científicas y reducir el costo de itinerario en cada expedición realizada.

Para ello se enfocará en el diseño de circuitos eléctricos que permitirán el movimiento de una pequeña embarcación; la cual, presentará cierta autonomía tanto en su locomoción como energéticamente; para esto se diseñarán circuitos de potencia, los cuales van a proporcionar energía eléctrica a las máquinas capaces de transformar energía eléctrica en energía mecánica (motores DC). Todos estos circuitos de potencia van a ser controlados a través de un microcontrolador (Atmega8L); el cual va a ser la parte central y de mando de todo el sistema a diseñar.

El diseño también se enfoca en la implementación de un circuito capaz de controlar el movimiento de una cámara de video y en acoplar ciertos elementos de medición como termómetros, barómetros, entre otros instrumentos de acuerdo con las limitaciones impuestas por el microcontrolador a utilizar y por la capacidad de instalación de tarjetas en la nave.

La nave tendrá autonomía energética por lo que se instalará un circuito conmutador para recargar la batería de la nave a través de un panel solar.

Tema de Tesis Aprobada por el Decano

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Desarrollo de la electrónica de control para una pequeña embarcación de expediciones científicas impulsada por energía solar
Área : Electrónica # 633
Asesor : Juan Jorge González Tello
Alumno : Benny Hammer Pérez Vásquez
Código : 20037145
Fecha : 17 de Noviembre de 2008



Descripción y Objetivos

En el Perú, la recolección de datos marítimos se realiza a través de métodos tradicionales como el uso de grandes embarcaciones (cruceros); los cuales están equipados con instrumentos necesarios para la toma de datos; así como, de personas para el monitoreo de datos climáticos. Luego estos datos son procesados y transmitidos al público en general a través de instituciones como IMARPE y SENAMHI.

Estos métodos de obtención de datos, son poco eficientes, pues para el desarrollo de una expedición se necesita de una gran cantidad de tiempo y dinero. Además en caso de condiciones climáticas adversas no está permitido el avance de una expedición, por lo que se produce retraso en la información transmitida a los usuarios.

En el presente tema de tesis se desea implementar la electrónica de control para una pequeña embarcación no tripulada de expediciones científicas e impulsada por energía solar. Permitirá reducir el gasto y el tiempo de planificación en las expediciones científicas; pues sería innecesario utilizar grandes embarcaciones para la toma de datos marítimos. Se contará con un equipo versátil y fácil de maniobrar.

Como objetivo secundario se añadirán sensores de presencia para detectar la cercanía de un objeto y también se añadirá un sensor de temperatura.

MÁXIMO 300 PÁGINAS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
SECCION ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA

Ing. ANDRES FLORES ESPINOZA
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica



TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Desarrollo de la electrónica de control para una pequeña embarcación de expediciones científicas impulsada por energía solar

Índice

Introducción

1. El proceso de toma de datos medio-ambientales, marítimos en el ámbito nacional y sus problemáticas.
2. Tecnologías a utilizar para la implementación del sistema de control de una pequeña embarcación e impulsada por energía solar.
3. Desarrollo del hardware y software que permitirá el funcionamiento del sistema y desarrollo del software de recepción de la señal RF.
4. Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

MÁXIMO 100 PÁGS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
SECCION ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA

Ing. ANDRES FLORES ESPINOZA
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	8
1. EL PROCESO DE TOMA DE DATOS MEDIO-AMBIENTALES MARÍTIMOS EN EL ÁMBITO NACIONAL Y SUS PROBLEMÁTICAS.....	9
1.1 CARACTERÍSTICAS DE CONTEXTO GENERAL DEL PROCESO DE OBSERVACIÓN DEL MEDIO-AMBIENTE MARINO	9
1.2 CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS QUE IMPIDEN UN PROCESO EFICIENTE DE TOMA DE DATOS.....	10
1.2.1 FALTA DE LOS MEDIOS ADECUADOS PARA, LA REALIZACIÓN DE UNA EXPEDICIÓN	10
1.2.2 CONDICIONES MEDIO-AMBIENTALES	10
1.3.1 VARIABLES EXTERNAS.....	11
1.3.2 VARIABLES INTERNAS	12
1.4 DECLARACIÓN DEL MARCO PROBLEMÁTICO.....	15
2. TECNOLOGÍAS A UTILIZAR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE UNA PEQUEÑA EMBARCACIÓN IMPULSADA POR ENERGÍA SOLAR	16
2.1 ESTADO DEL ARTE.....	16
2.1.1 SOFTWARE Y HARDWARE ACTUALES DE LOCOMOCIÓN.....	16
2.2 ELECTRÓNICA DE CONTROL DIGITAL PARA UN SISTEMA DE MOTORES....	20
2.3 PROTECCIÓN DE LOS CIRCUITOS FRENTE A TENSIONES Y CORRIENTES NO ADECUADAS.....	20
2.3.1 CONVERTOR DC – DC.....	20
2.3.2 PROTECCIÓN ANALOGO/DIGITAL.....	21
2.3.2 PROTECCIÓN FRENTE AL RUIDO TÉRMICO	22
2.4 MODELO TEÓRICO	22
3. DESARROLLO DEL HARDWARE Y SOFTWARE QUE PERMITIRÁ EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA, Y DESARROLLO DEL SOFTWARE DE RECEPCIÓN DE LA SEÑAL RF	28
3.1 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	28

3.1.1	HIPÓTESIS PRINCIPAL.....	28
3.1.2	HIPÓTESIS SECUNDARIAS.....	28
3.2	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
3.2.1	OBJETIVO GENERAL.....	29
3.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
3.3	UNIVERSO Y MUESTRA.....	30
3.4	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA.....	31
3.4.1	MOTOR DC.....	33
3.4.2	ELECTRÓNICA DE POTENCIA.....	38
3.4.3	DETECTOR Y ACTUADOR DEL NIVEL DE CARGA DE LA BATERÍA.....	45
3.4.4	CIRCUITO CONVERTOR DC/DC.....	48
3.4.5	SEÑAL DE CONTROL DIGITAL.....	51
3.4.5.1	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL.....	53
3.4.5.2	DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL PARA LA PROGRAMACIÓN DEL MICRO CONTROLADOR.....	55
3.4.5.3	DIAGRAMAS DE FLUJO DE LAS SUBROUTINAS MÁS COMPLEJAS.....	57
3.4.6	SENSOR DE APROXIMACIÓN.....	61
3.4.7	SENSOR DE TEMPERATURA.....	62
3.4.8	ORIENTACIÓN.....	62
3.4.9	ESTACIÓN BASE.....	62
3.4.10	TRANSMISOR (TX).....	62
3.4.11	RECEPTOR (RX).....	63
3.4.12	BATERÍA.....	63
3.4.13	PANELES SOLARES.....	64
3.5	PROTECCIÓN FRENTE AL RUIDO TÉRMICO.....	66
3.6	PROTECCIÓN FRENTE A LA INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA.....	68
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	69
4.1.1	SEÑAL DE CONTROL DIGITAL.....	69

4.1.2	SIMULACIÓN	74
4.1.2.2	AVANCE	74
4.1.2.3	RETROCESO	75
4.1.2.4	IZQUIERDA	76
4.1.2.5	MOVIMIENTO DE LA CÁMARA DE VIDEO.....	78
4.1.2.6	LECTURA Y GRABACIÓN DE LA TEMPERATURA.....	80
4.1.2.7	SENSOR DE PRESENCIA	81
4.1.2.8	DETECTOR DE CARGA DE LA BATERÍA	83
4.2	ELECTRÓNICA DE POTENCIA	84
4.3	CONVERSOR DC-DC	86
4.4	CARGADOR DE BATERÍA.....	87
4.5	SENSOR DE PRESENCIA	88
4.6	GRABACIÓN DE LA TEMPERATURA	89
	CONCLUSIONES:.....	91
	RECOMENDACIONES:	92
	BIBLIOGRAFÍA	93

INTRODUCCIÓN

Dada la importancia del mar en el clima y la actividad pesquera en la costa peruana; debido en principio, a la presencia de dos corrientes marinas; es necesario el desarrollo de mecanismos que funcionan como tele-operadores, que faciliten la extracción rápida y eficiente, de información de la superficie marítima sin la necesidad de requerir la presencia de seres humanos.

En países como EE.UU. ya se han realizado estudios para el desarrollo de mecanismos tele-operadores; en los cuales, se muestran las bases teóricas y principios de funcionamiento de este tipo de instrumentos, los cuales se realizan con múltiples propósitos como: para simulación de prototipos a pequeña escala, monitoreo de ambientes en los que el ser humano difícilmente podría llegar o permanecer por largos periodos, entre otros.

Dado que la toma de datos del medio ambiente marino resulta complicada por todo el planeamiento que se tiene que realizar; sobre todo, cuando es a cortas distancias del lecho marino, la imposibilidad de las grandes embarcaciones de desplazarse a zonas que están fuera del itinerario de una expedición; entonces, la implementación de una pequeña embarcación alimentada con energía solar y un sistema de control basado en lógica de control digital, permitirá un mejor sondeo de la zona marítima obteniendo diversos tipos de datos del medio ambiente, un aumento de la cantidad de datos obtenidos y de diferentes lugares; sin la necesidad de cambiar el itinerario de viaje de una expedición, permitirá obtener datos climáticos, a distancias cercanas o lejanas a la costa, constantemente y sin la necesidad de realizar una expedición para ello.

1. EL PROCESO DE TOMA DE DATOS MEDIO-AMBIENTALES MARÍTIMOS EN EL ÁMBITO NACIONAL Y SUS PROBLEMÁTICAS

1.1 Características de contexto general del proceso de observación del medio-ambiente marino

Para la obtención de datos climáticos marinos; en instituciones como IMARPE (Instituto del Mar Peruano) se utilizan grandes embarcaciones, las cuales sirven para albergar a gran cantidad de personas entre operarios y científicos; estos últimos van a recopilar la información de diferentes zonas marítimas utilizando instrumentos que se encargan de realizar las mediciones como presión atmosférica, temperatura, humedad, entre otros.

Otra técnica para la obtención de datos climáticos en el mar peruano se realiza a través de satélites como lo hace SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología en el Perú); en este caso los satélites realizan tomas fotográficas, estas imágenes son enviadas a tierra en donde una serie de antenas de SENAMHI distribuidas a lo largo y ancho del territorio nacional se encargan de recibir la información; posteriormente, esta institución, se encarga de realizar cálculos predictivos de las condiciones climáticas (no sólo en el mar sino también en el interior del país) para posteriormente ser distribuido entre los usuarios que requieren de esta información.

1.2 Características específicas que impiden un proceso eficiente de toma de datos

La obtención de datos climáticos en el Perú en comparación con otros países como: EE.UU., Venezuela, Colombia y Brasil, entre otros; se realiza de manera ineficiente pues se necesita de una embarcación tripulada, la cual demanda de la presencia de operarios, científicos, entre otros para poder llevar a cabo la recopilación de datos. A continuación se describe las principales causas.

1.2.1 Falta de los medios adecuados para la realización de una expedición

Como se describió anteriormente el proceso de recopilación de la información se realiza a través de embarcaciones y/o satélites.

En instituciones como IMARPE se usan grandes y medianas embarcaciones cuando se quiere realizar una expedición; el costo derivado del uso de estas naves, por expedición, supera los s/ 100,000 según datos obtenidos de esta institución es por ello que se realiza aproximadamente 10 expediciones en un año.

1.2.2 Condiciones medio-ambientales

Otro de los sucesos que imposibilitan la eficiente toma de datos es la presencia de condiciones medioambientales inadecuadas para el movimiento de la nave como: condiciones de neblina densa, presencia de oleaje fuerte, entre otros. Debido a ello las expediciones sufren retardos en el trabajo de exploración; pues se espera a que las condiciones climáticas medioambientales se tornen normales.

1.3.1 Variables externas

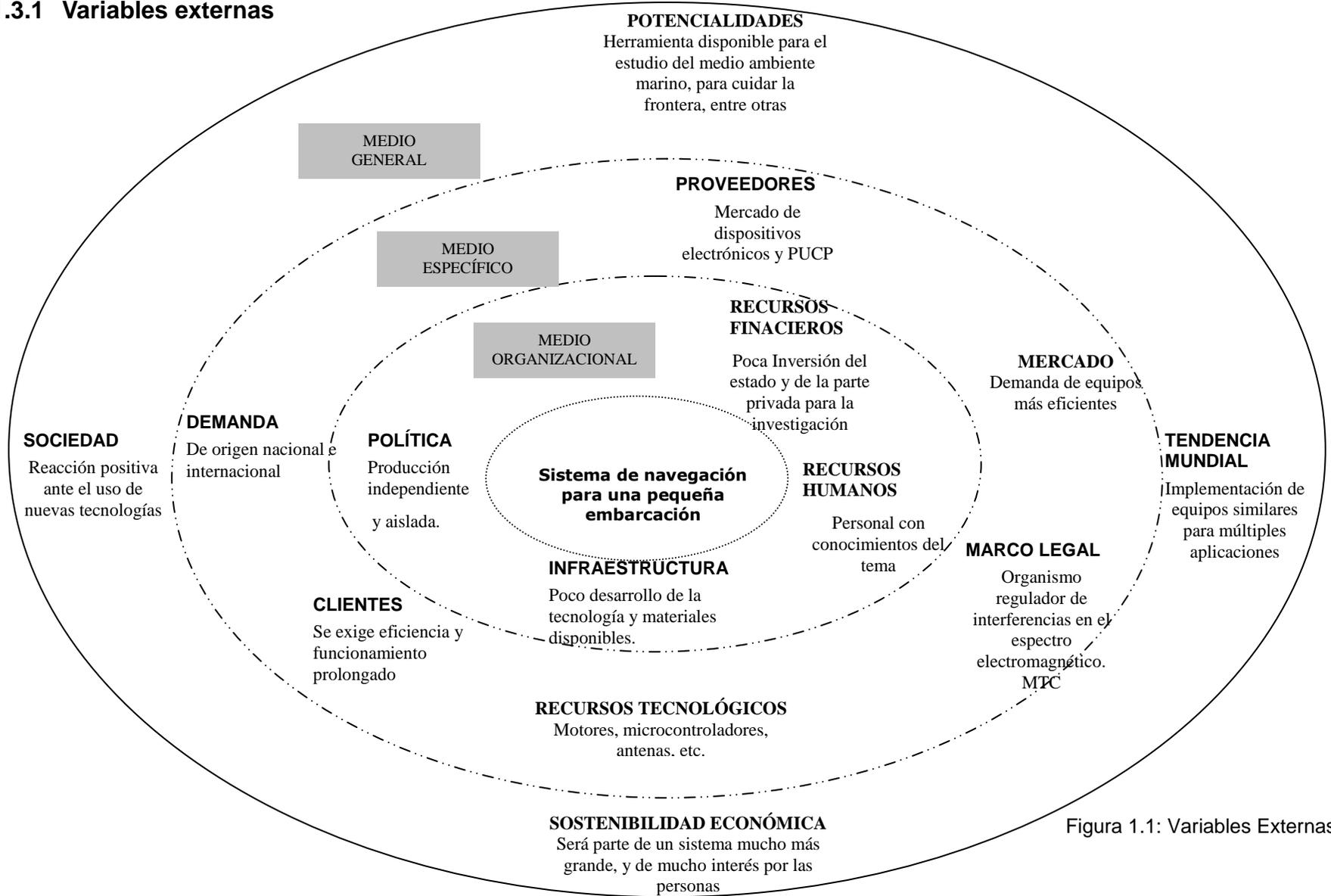


Figura 1.1: Variables Externas

1.3.2 Variables internas

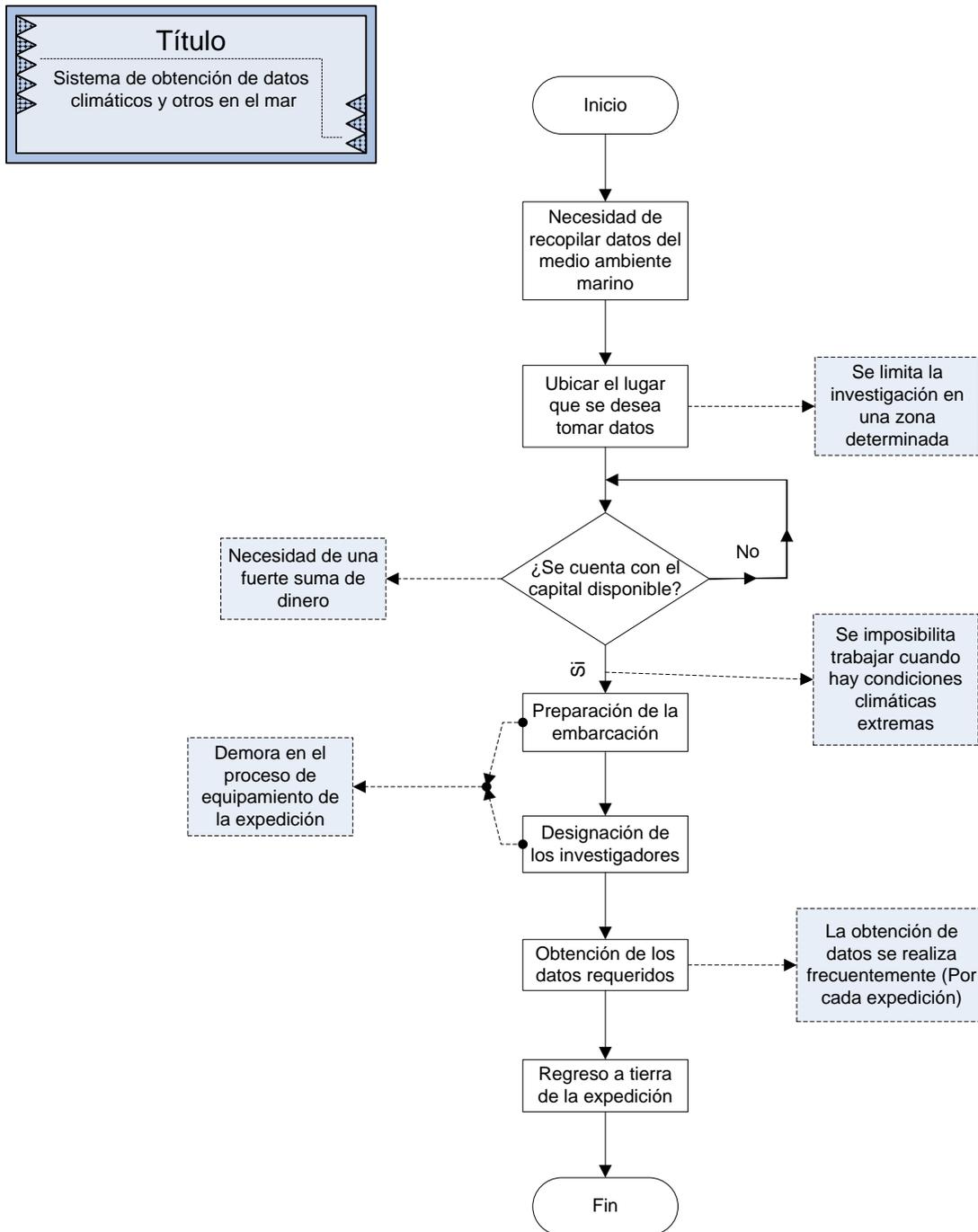


Figura 1.1: Variables Internas

Tabla 1.1: Variables que hacen deficiente la toma de datos en el mar peruano

Problemas	Características y Causas
Se limita la investigación a una zona determinada	En una expedición de investigación sólo se limita la investigación en una zona determinada; pues se está imposibilitado de explorar otras zonas debido a que aquello implica el desplazamiento de la nave y a su vez se resume en un mayor costo en la exploración.
Necesidad de una fuerte suma de dinero	Según datos de IMARPE (Instituto del Mar Peruano) se invierte cuantiosas sumas de dinero en expediciones; pues cada expedición es realizada por un crucero el cual alberga a una cuantiosa cantidad de personas.
Se imposibilita trabajar cuando hay condiciones climáticas extremas.	Ante la presencia de mareas fuertes, presencia de neblina demasiado densa, huracanes, entre otros; se imposibilita el viaje de expedición; debido a que, se arriesgaría la vida de los tripulantes.
Demora en el proceso de equipamiento de la expedición	Existe demora en la planificación de viaje, puesto que se requiere reunir el dinero suficiente y a todas las personas que van a participar en la expedición.

<p>La obtención de datos se realiza frecuentemente (por cada expedición)</p>	<p>La expediciones se realizan cada cierto periodo de tiempo (por lo general, 10 expediciones en un año); es decir, los datos climáticos son tomados en un periodo de cada 1,2 meses, lo cual implica una menor cantidad de información que si se realizara constantemente o cuando se requiera estos datos.</p>
--	--

1.4 Declaración del Marco Problemático

Muchos fenómenos climáticos que ocurren en el Perú tienen su origen en el medio-ambiente marino (como el fenómeno del niño); para poder monitorear las condiciones climáticas en este medio, se requiere de varias personas unas para el manejo de la nave y otras para la recopilación de datos; lo cual, resulta sumamente costoso (los gastos en el suministro de combustible de la nave, en el aprovisionamiento y pago de salarios a las personas que realicen dicho trabajo); además sólo van a permanecer un cierto periodo de tiempo en el lecho marino; es decir, se va a obtener información acerca de las condiciones climáticas marinas cada cierto periodo de tiempo; pues, según datos del IMARPE se realizan aproximadamente diez expediciones al año.

Actualmente se cuenta con equipos pequeños capaces de realizar estas labores; pero resultan ser demasiado costosos, debido a que están equipados con la más alta tecnología; por ello, es muy difícil de adquirir por los investigadores y/o instituciones dedicadas al estudio del medio-ambiente en la superficie marina.

Inclusive en países de Centro América resulta peligroso para los investigadores monitorear personalmente las condiciones climáticas en la superficie marina. Esto debido a la presencia de fenómenos climáticos extremos como Huracanes, tifones, etc.

A todo lo anteriormente mencionado, en el Perú se prescinde de tecnología eficiente, capaz de monitorear las condiciones climáticas del ambiente marino y además en el mercado peruano se prescinde de instrumentos y equipos adecuados para poder elaborar robots tele-operadores; por lo que muchas veces hay que importar instrumentos y todo ello eleva el presupuesto de implementación de un robot tele-operador.

2. TECNOLOGÍAS A UTILIZAR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE UNA PEQUEÑA EMBARCACIÓN IMPULSADA POR ENERGÍA SOLAR

2.1 Estado del Arte

En el presente estudio se muestra las diferentes tecnologías y modelos que han sido desarrolladas para los fines antes mencionados. Se muestra las diferentes tecnologías para el control de estos equipos; en los cuales se utiliza métodos sencillos y complejos, todo ello con el fin de proponer el diseño de un sistema de navegación a pequeña escala, para su posterior uso en aguas marinas para la recopilación de datos a través de una cámara de video y otros instrumentos de medición.

2.1.1 Software y Hardware actuales de locomoción

En la actualidad muchos países como Italia, España, Portugal, EEUU, entre otros; están invirtiendo cuantiosas sumas de dinero en la modernización de equipos que permitan un control digital de sus barcos, ya sea en el monitoreo de su velocidad, nivel de combustible, etc.

Hasta la actualidad se han desarrollado numerosos prototipos de barcos, todos con el fin de mejorar su desempeño y para los cuales se usan diferentes tecnologías para lograr, eficaz y eficientemente, la locomoción de estos.

Uno de estos trabajos realizados es el de aplicación de Arquitectura de software para el control de botes robot. Estos robots funcionan como tele-operadores; es decir, son equipos destinados a la recopilación de información sobre el medioambiente marino. En este tipo de robots usan la tecnología "ACROSET" (Arquitectura software de referencia para unidades de control de robots de servicios tele-operados), la cual identifica cuatro niveles de diferente granularidad, en los que definen los componentes que forman parte de lo que se denomina subsistema CCAS (Coordinación, control y abstracción de dispositivos). Esta arquitectura cuenta con 4 niveles; en el primer nivel se describen las características abstractas de componentes elementales, tales como

sensores y actuadores; en el segundo nivel se encuentra el controlador de Unidad de Dispositivo Simple, SUCs (*Simple Unit Controller*); en el tercer nivel se encuentra el controlador de unidad de mecanismo, MUCs (*Mechanism Controllers*); y en el nivel cuatro encontramos el Controlador de Unidad de Robot, RUCs (*Robot Controllers*), este último nivel es el que controla toda posibilidad de acción del barco. Esta tecnología es aplicable a cualquier otro tipo de vehículo que trabaje en lugares donde es muy difícil el acceso humano [2].

Otra tecnología utilizada para el control de la locomoción de las embarcaciones es la utilizada en los Ferrys (Barco que realiza un trayecto entre dos puertos relativamente cercanos transportando mercancías, personas y vehículos). En esta, se controlan los movimientos de asfarda, cabeceo y balanceo; para el desarrollo de esta tecnología se ha empleado un sistema de muestreo y control autónomo. Con el fin de lograr un sistema eficiente, se ha empleado una PC en esta embarcación; a la cual van conectados los diferentes sensores y actuadores; y un emisor-receptor para la comunicación con el sistema de monitorización y órdenes a tierra. También se ha desarrollado un software de monitorización en alto grado de detalle, para ello se ha utilizado el open-GL, el cual es una multiplataforma utilizada para escribir aplicaciones que produzcan gráficos 2D y 3D; y de esta manera conocer en directo que está ocurriendo en la embarcación (prototipo). Para el control de esta pequeña embarcación, se cuenta con sistemas electrónicos (a bordo y en tierra); a bordo se ha desarrollado un sistema electrónico completo, para la monitorización y control de una réplica autónoma; además, se ha desarrollado otro sistema para apoyo experimental (ESS), desde fuera de la réplica. Las misiones del sistema a bordo son las siguientes:

- Toma de datos, incluye acondicionamiento de señales y su grabación. Se toma información de todos los sensores de la réplica.
- Control de actuadores.
- Transmisión de datos a distancia, vía radio, por paquetes de datos digitales. En tiempo real.

- Transmitir la grabación íntegra de datos al final de los experimentos, por el mismo sistema de radio.
- Obedecer las órdenes dadas por el sistema de apoyo experimental (ESS).

La arquitectura del sistema abordo consiste en 7 nodos conectados entre sí, vía el bus CAN (Bus que utiliza el protocolo de comunicaciones CANBUS); cada nodo está gobernado por un micro controlador PIC18F458, que incluye un módulo capaz de implementar el protocolo CANbus (Protocolo de comunicaciones normalizado, con lo que se simplifica y economiza la tarea de comunicar subsistemas de diferentes fabricantes sobre una red común o bus); el ordenador conectado comunica con el bus a través de un microcontrolador. El uso del Bus CAN se debe a la complejidad del sistema y a las largas distancias que pueden separar los nodos en su aplicación de barcos reales. El único sistema desconectado es la unidad inercial “Crossbow” (Sensores y sistemas que proporcionan soluciones inerciales para la navegación); la cual va conectada directamente a los canales A/D de la PC; en la popa de la nave hay dos “waterjets” (Sistemas propulsores que utilizan chorros de agua), dos servomotores para la orientación de los “waterjets”, dos servos para invertir el flujo de agua y dos servos para mover las aletas. Para el control de velocidad y orientación de los “waterjets” se ha utilizado PWM (*Modulación por ancho de pulso*); además este sistema cuenta con acelerómetros; además otro nodo CAN se encarga de recoger los datos de otro tipo de sensores como Inclinómetros (sensores de aceleración), medidores de velocidad, sensores del nivel de las olas con respecto al barco, entre otros sensores [7].

Actualmente, también se cuenta con trabajos realizados para el monitoreo del medio ambiente a través del diseño de un modelo de sistema de control para un bote robot encargado de recopilar información del medio ambiente marino. Este sistema muestra el uso de controladores PID para maniobrar los servomotores (velocidad); además, mediante el PID se maniobra el control del bote; el sistema de rastreo de la posición de este bote se realiza mediante un GPS, el cual tiene un alcance de 10Km [6].

Por otro lado, un proyecto desarrollado en la Pontificia Universidad Católica del Perú muestra la implementación de una nave controlada desde la superficie la cual era capaz de rescatar un objeto, de un peso menor o igual a 1Kg. Este vehículo constaba de cuatro partes: Locomoción, Control de cámara, Tenaza mecánica y sistema de reflotación [1]. La parte que más interesa es la de Locomoción por lo cual solamente nos enfocaremos en ello. El sistema de Locomoción permite al vehículo avanzar, retroceder, girar a la izquierda o a la derecha. Estos movimientos se realizan gracias a dos motores DC que funcionan a 24 VDC y 2A. Cada motor carga con una hélice que dependiendo del sentido de giro de cada uno de los motores se produce los movimientos mencionados. Estos motores se encuentran en la base del prototipo (bajo del agua), por ello cada uno de estos está embebido en recipientes plásticos herméticamente sellados para evitar el ingreso del agua. El control de cada uno de los motores es a través de un puente H de transistores con sus respectivos controladores, además se uso un circuito integrado LM238; gracias a este chip se logró el control de giro y velocidad de los dos motores DC en forma independiente, la cual generaba señales PWM y TTL. En cada una de los motores se controló la velocidad y el giro. Básicamente para lograr todo ello se usó dos circuitos “puente H” de transistores y un chip. Se tuvo un especial cuidado al momento de hacer la inversión de giro pues estaría imposibilitado de hacer un cambio de giro brusco debido a la posibilidad de dañar la vida útil del motor; por lo que se añadió un pequeño intervalo de tiempo antes de hacer la conmutación para evitar que actúen dos fuerzas contrarias en el eje del motor, los cuales son: Inercia versus Fuerza Electromotriz.

2.2 Electrónica de control digital para un sistema de motores

Constituye una parte muy importante en el diseño de controladores de locomoción, hoy en día; pues se realiza de manera sencilla y sin la utilización de gran cantidad de recursos; y con ello se disminuye el riesgo de problemas de ruido que pueden originar otros instrumentos. Además utilizando electrónica digital se reduce en gran medida el coste de implementación aumentando las prestaciones de un sistema.

Actualmente el microcontrolador está presente en numerosos instrumentos usados en la vida diaria, estos instrumentos son usados desde equipos simples que no llegan a utilizar al 100% la capacidad del microprocesador; hasta instrumentos que requieren una gran complejidad en donde se requiere más de un microcontrolador.

Dentro de los parámetros de uso de un microcontrolador está el de observar y controlar las señales eléctricas de un motor DC; con el cual se permite un control eficiente y sin la utilización de una gran cantidad de recursos; de esta manera se reduce el costo de implementación de un sistema.

2.3 Protección de los circuitos frente a tensiones y corrientes no adecuadas

2.3.1 Conversor DC – DC

Su uso es importante para proteger circuitos de baja potencia, evita posibles problemas de alto voltaje o altas corrientes por cortos periodos de tiempo (dV/dt , dI/dt , interferencia electromagnética, entre otros); pues el usar este tipo de circuitos ayuda enormemente al buen funcionamiento del sistema.

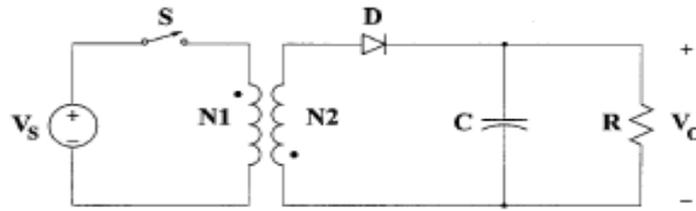


Figura 2.1: Conversor DC DC (Flyback converter)

Fuente: Power Electronics Handbook, Rashid, 2001

Este tipo de convertidores también son usados para proporcionar dos referencias de voltaje; y de esta manera lograr la protección de los circuitos de electrónica digital frente a circuitos que en su operación funcionan con corrientes inadecuadas para la tecnología digital.

2.3.2 Protección Analogo/Digital

Es importante en el diseño de circuitos electrónicos; pues los niveles de corriente y voltaje proporcionados a circuitos de potencia son distintos a los de los circuitos de electrónica digital; por tal motivo se usa dispositivos semiconductores para separar eléctricamente la corriente de los circuitos de potencia de la corriente de los circuitos de electrónica digital. Este circuito permite separar eléctricamente los circuitos, pero a la vez permite que los circuitos puedan interactuar entre ellos gracias a la luz emitida por su led interno, que permite activar o desactivar un fototransistor. Estos, son dispositivos de emisión y recepción de luz; su funcionamiento es similar a la de un interruptor excitado con luz. Esta luz es emitida por un diodo LED que satura un componente opto-electrónico, normalmente un fototransistor.

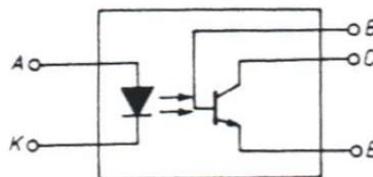


Figura 2.2: Opto-acoplador

Fuente: <http://www2.uah.es/vivatacademia/antiores/veintitres/docencia.htm>, 2001

2.3.2 Protección frente al Ruido Térmico

El ruido térmico es otra de las formas de ruido que impiden el correcto funcionamiento de los circuitos electrónicos, esto es producido por la energía interna que, en general, se disipa en forma de calor. Este tipo de ruido es complicado reducirlo en su totalidad; para contrarrestar en cierta medida este ruido se añaden a los dispositivos semiconductores disipadores de calor.

2.4 Modelo Teórico

El primer paso en el desarrollo de un sistema de navegación para barcos, está dedicada a la parte de locomoción, pues se necesitará que la nave se desplace distancias lejanas; para ello se debe tener un sistema de control de velocidad; así como, controlar su dirección. Para esto se utilizarán motores DC los cuales pueden ser controlados con dispositivos semiconductores.

Para controlar la velocidad de estos motores se utilizará una onda del tipo PWM; se tendrá que hallar la frecuencia óptima de trabajo en la cual el motor responda adecuadamente; además del control de la velocidad se requiere que la nave se desplace hacia atrás; para ello se utilizará un circuito de inversor de giro, el cual permita cambiar la dirección de giro del motor que en el sistema permitirá que la nave mueva sus hélices en dos sentidos una para avanzar y otra para retroceder.

Para controlar el direccionamiento de la nave se utilizará un motor DC accionado por una onda PWM, y además contará con un circuito de inversión de giro para mover la paleta de direccionamiento.

La nave está destinada para tomar grabaciones del ambiente marino, por lo cual obligatoriamente tendrá que llevar a bordo una cámara de video; esta cámara deberá girar para obtener mayor cantidad de información, para lo cual se contará con un motor DC y un Puente H para controlar la inversión de giro.

Toda la información registrada por la cámara deberá ser enviada hacia una base ubicada en tierra por lo que a bordo de la nave también se dispondrá de una antena de transmisión.

Todo el sistema a implementar tendrá cierta autonomía por lo que se requiere el uso de paneles solares, los cuales recargarán a la batería; y de esta manera evitar que el navío tenga que regresar a tierra para proveerse de energía eléctrica.

El sistema de flotación de la nave se realizará a través de la instalación de dos cámaras de aire, los cuales permitirán mantener a flote la nave; esto sucede gracias al principio de Arquímedes que es el siguiente:

El principio de Arquímedes afirma que todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de fluido desalojado.

Este principio se representa gráficamente en la siguiente figura:

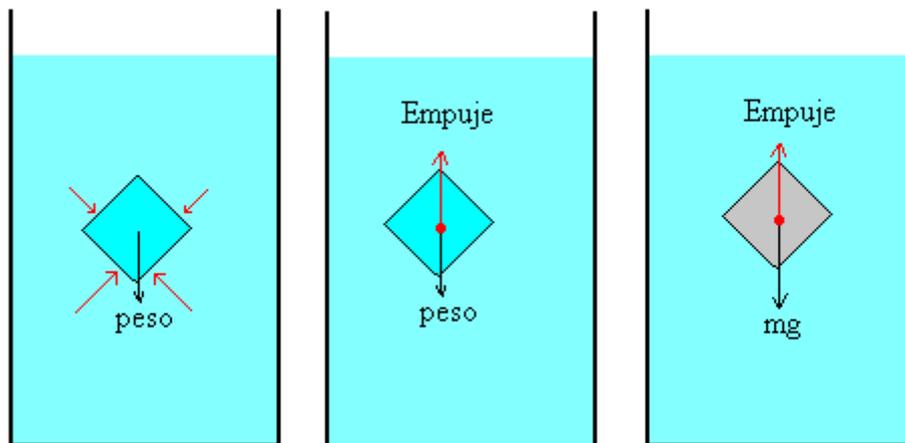


Figura 2.3: Principio de Arquímedes

Fuente: www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/arquimedes/arquimedes.htm, 2004

En la figura 2.4, se muestra las dimensiones de la embarcación para una mayor apreciación de la estructura del sistema.

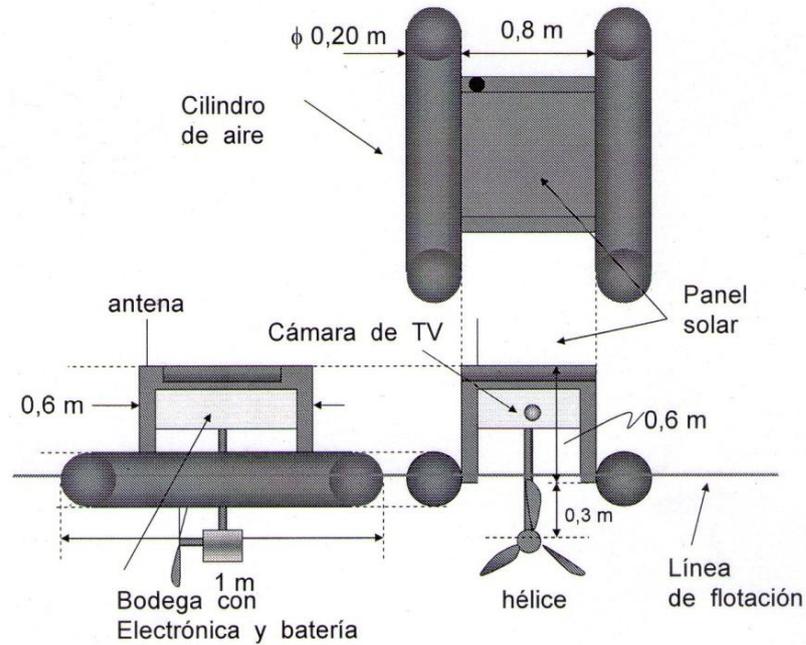


Figura 2.4: Vistas inferior, lateral y frontal de la embarcación

Fuente: Prof. Juan Jorge Gonzales Tello

En la figura 2.5, se muestra la posición en donde van a ir embebidos los dispositivos de control y suministro de energía de la nave.

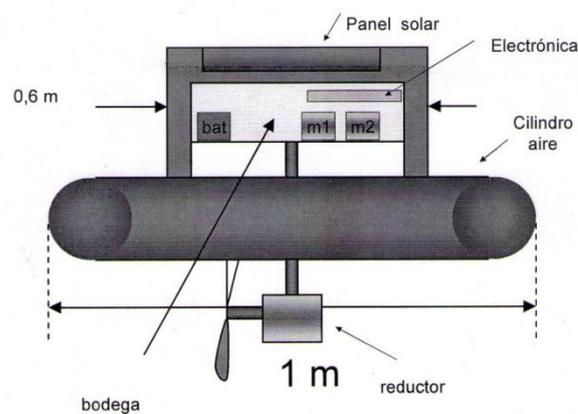


Figura 2.5: Acondicionamiento de los motores, batería, panel solar y circuitos dentro de la nave.

Fuente: Prof. Juan Jorge Gonzales Tello

La ecuación que simplifica el flotamiento de la nave es el siguiente:

$$\text{Empuje}=\text{peso}=r_f \cdot gV \quad (2.1)$$

Donde:

g: Gravedad

r_f : Densidad del fluido

V: Volumen del fluido

De esta ecuación se concluye que si el peso de toda la nave es menor al peso del fluido desplazado por el instrumento; entonces la nave va a flotar.

Para la selección de la potencia (HP) de los motores se debe tener en cuenta la masa total de la nave y las fuerzas que van a impedir su movimiento como:

- Fuerza de fricción de agua: F_{rv}
- Fuerza de fricción de aire: F_{ra}
- Masa de la nave: m_n

La ecuación de movimiento viene dada por la siguiente ecuación:

$$F - F_{rv} - F_{ra} = m_n * \frac{dv}{dt} \quad (2.2)$$

Donde F: Fuerza proporcionada por el motor

Fuente: [15]

En este caso la fuerza de fricción del aire es equivalente a cero ó nula debido a que la velocidad de la pequeña embarcación es pequeña.

Además añadimos las fórmulas, con las cuales es posible determinar la potencia necesaria para que el motor instalado logre mover la embarcación.

Cálculo de la velocidad de carena (Carena: Volumen sumergido del barco)

$$V = R \times E_f \quad (2.3)$$

Siendo:

V: Velocidad de Carena (En nudos)

E_f: Eslora de Flotación (En metros)

R: Es el grado de velocidad; como se trata de una pequeña embarcación el valor de R es 1.98

Cálculo de la resistencia del avance de la nave

$$Const = \frac{D}{\left(\frac{E_f}{100}\right)^3} \quad (2.4)$$

Const: Relación Desplazamiento/Eslora

D: Desplazamiento en toneladas

Con esta constante se va a obtener la Resistencia al avance (Res), en daN/t (decanewtons/tonelada), a través del gráfico: Resistencia versus Relación Desplazamiento/Eslora, el cual se encuentra en los anexos.

Luego para hallar la resistencia total tenemos:

$$R(daN) = Res \times D \quad (2.5)$$

Potencia necesaria del motor:

Se debe calcular la potencia de la hélice con la siguiente fórmula:

$$Ph(Kw) = (R)(V)(0.005) \quad (2.6)$$

Luego se calcula la potencia necesaria en el eje:

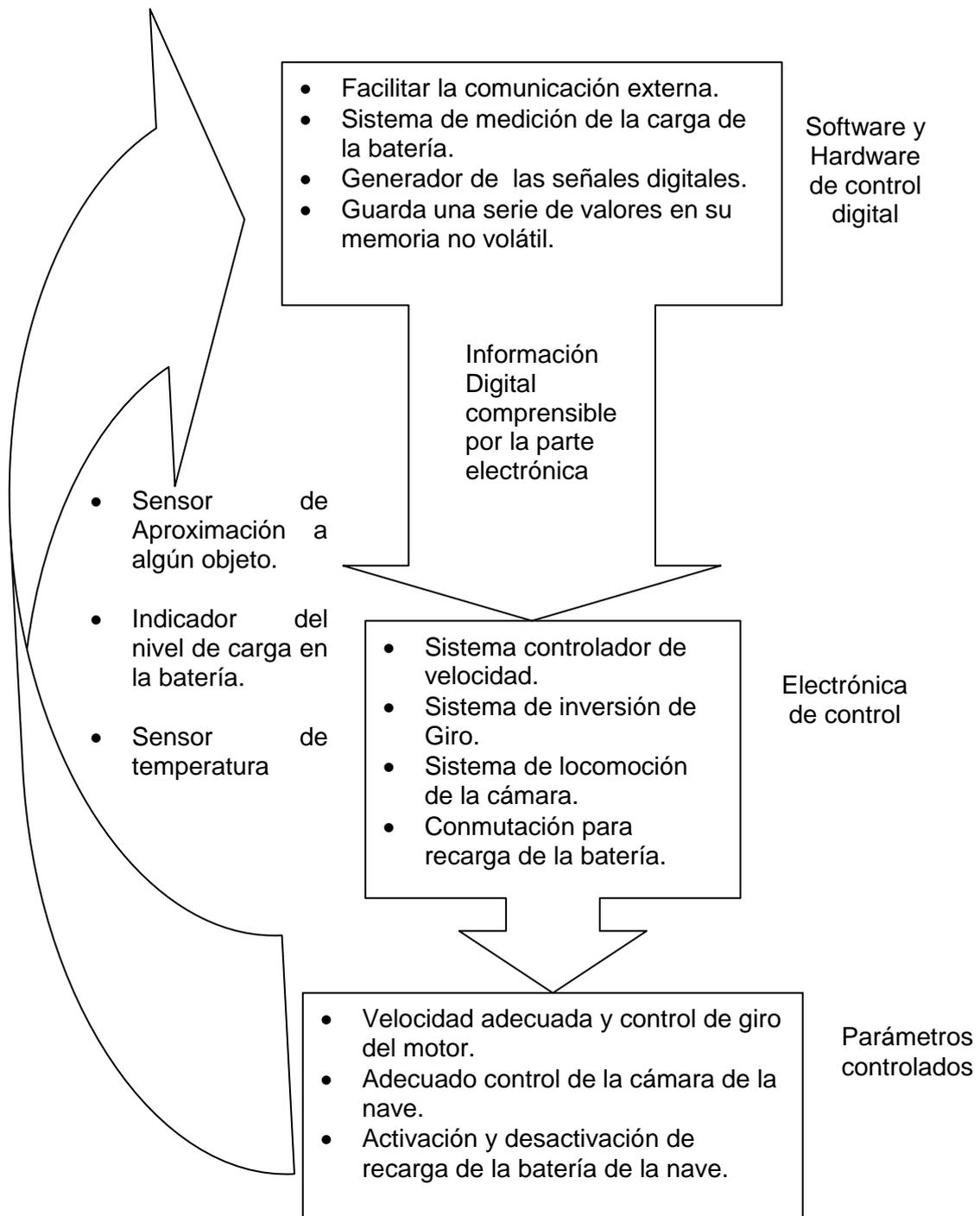
$$Pe(Kw) = Ph / 0.45 \quad (2.7)$$

Finalmente la potencia necesaria descartando las pérdidas en los engranajes es:

$$Potencia = Pe / 0.94 \quad (2.8)$$

A continuación se muestra la representación gráfica del modelo teórico de todo el sistema.

Representación gráfica del modelo teórico



Elaboración propia

Figura 1.5: Representación del modelo teórico

3. DESARROLLO DEL HARDWARE Y SOFTWARE QUE PERMITIRÁ EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA, Y DESARROLLO DEL SOFTWARE DE RECEPCIÓN DE LA SEÑAL RF

3.1 Hipótesis de la investigación

3.1.1 Hipótesis principal

Dado que la toma de datos del medio ambiente marino resulta complicada por todo el planeamiento que se tiene que realizar, sobre todo cuando es a cortas distancias del lecho marino; además de la imposibilidad de las grandes embarcaciones de desplazarse a zonas que están fuera del itinerario de una expedición, surge la idea de la implementación de una pequeña embarcación alimentada con energía solar y un sistema de control basado en lógica de control digital. Con esto se permitirá un mejor sondeo de la zona marítima, obteniendo diversos tipos de datos del medio ambiente.

Un aumento de la cantidad de datos obtenidos de diferentes lugares, sin la necesidad de cambiar el itinerario de viaje de una expedición permitirá obtener datos climáticos a distancias cercanas o lejanas a la costa, constantemente, y sin la necesidad de realizar una expedición para ello.

3.1.2 Hipótesis secundarias

- 1) El control velocidad e inversión de giro de los motores facilitará el movimiento de la nave; pues ello permitirá desplazarse sobre la superficie marina.

- 2) El desarrollo de un programa de control, permitirá el control de movimiento de la nave; también este programa permitirá la transmisión y recepción de bits de datos para el control de movimiento, de la nave y de la cámara de video instalada en ella.

- 3) El monitoreo de datos climáticos en el lecho marino, utilizando para ello, pequeñas embarcaciones generan un bajo costo, que el utilizar el sistema tradicional de monitoreo.
- 4) El desarrollo de la industria robótica en el Perú es deficiente, por lo que se desea, mediante el desarrollo de este documento iniciar y/o contribuir con el desarrollo de ésta y además ser guía de futuras investigaciones.

3.2 Objetivos de la investigación

3.2.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un mecanismo electrónico para el movimiento de motores de una pequeña embarcación, alimentada por energía solar y controlada remotamente, utilizando para ello tecnología digital.

3.2.2 Objetivos específicos

- 1) Diseñar e implementar un circuito de control de velocidad e inversión de giro para motores de corriente directa.
- 2) Implementar un sistema de protección para los circuitos con tecnología digital, frente a niveles de corriente no adecuadas.
- 3) Diseñar e implementar un circuito de carga de batería, al cual va a ir acoplado un panel solar. Todo ello para garantizar autonomía de la nave en la superficie marina.
- 4) Desarrollar mediante la electrónica digital, un programa para la recepción e interpretación de las órdenes, desde la unidad de control de la nave y además tomar las acciones necesarias para cumplir lo requerido por el usuario.
- 5) Desarrollo de un circuito de control de un motor DC, para el movimiento de una cámara de video.
- 6) Monitoreo y registro básico de la temperatura del medio ambiente.

3.3 Universo y muestra

El universo está basado en las diferentes tecnologías que existen en el mundo, de robots tele-operadores que sean usados para recopilar datos climáticos de lugares donde difícilmente un ser humano podría permanecer largos periodos de tiempo o simplemente un ser humano no podría llegar; se observa que muchos países desarrollados, están invirtiendo en este tipo de tecnologías que a largo plazo permitiría reducir el coste de obtención de datos, y a la vez, estas tecnologías utilizan energía limpia, por lo cual, se reduce el efecto contaminante de cada expedición. Como muestra hemos considerado conveniente tomar en cuenta dos Robots; uno de ellos es el robot tele-operador “iRobot Seaglider” [31], el cual es un robot submarino usado para recopilar datos sobre las condiciones físicas del mar, en las costas Gallegas (España), este robot tele operador es capaz de enviar la información, a través del satélite, a los científicos del instituto de Investigaciones marinas de Vigo (CSIC); este robot no cuenta con hélices que permitan su movimiento, utiliza su flotabilidad para desplazarse; además esta sonda no utiliza combustible; pues, la alimentación de sus dispositivos internos se realiza a través de una batería cuyo tiempo estimado de funcionamiento es de 6 meses. Otro de los robots tomados para la muestra es el Phoenix [32], este robot fue enviado a Marte en el 2007 por la NASA y desde el momento que llegó transmite información sobre las condiciones medioambientales del planeta rojo, este robot, cuenta con paneles solares, los cuales suministran de energía a los motores que van a permitir la locomoción de la nave. De estas muestras y de la información obtenida de ella se rescata la importancia del uso de robots tele-operados remotamente para investigaciones científicas; y sin la necesidad de la presencia de un ser humano para ello, dado que, implicaría un coste elevado, y en otro sentido, existen lugares donde un ser humano no podría permanecer.

3.4 Diagrama de Bloques del sistema

En la figura 3.1, se muestra el diagrama de bloques del sistema a implementar y que a su vez permitirá el control de los motores para la locomoción de la nave. También se muestra el bloque de transmisión de datos, el cual no es asunto de esta tesis, sino que se le incluye para una mejor representación de todo el sistema de control y de mando de la pequeña embarcación.

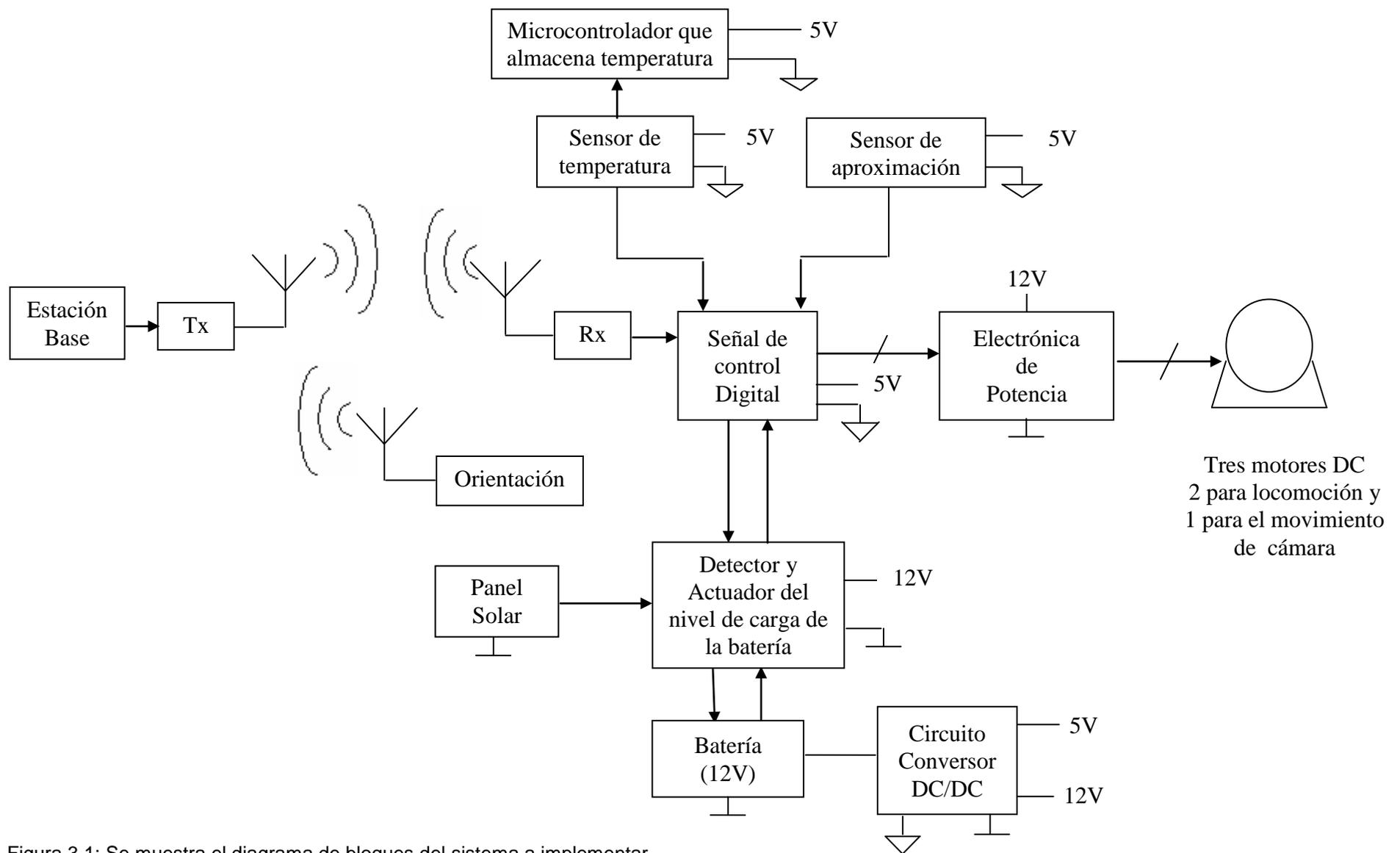


Figura 3.1: Se muestra el diagrama de bloques del sistema a implementar

3.4.1 Motor DC

Es una máquina capaz de convertir la energía eléctrica en energía mecánica mediante el movimiento rotativo de su eje. Es una de las más versátiles de la industria por su fácil control de posición, par de arranque y velocidad. La principal característica es la posibilidad de regular la velocidad desde vacío a plena carga.

Un motor de corriente continua se compone de dos partes: Un estator y un rotor. El estator es el soporte mecánico de la máquina y presenta una cavidad cilíndrica en el centro. En el estator, también se encuentran los polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro. El rotor generalmente, es de forma cilíndrica; también presenta un devanado y con núcleo, al que llega la corriente mediante escobillas [8].

Para la implementación a desarrollar en esta tesis nos interesa ciertos parámetros de estos motores como:

- **Corriente de Arranque I_a (A):** El arranque es el régimen transitorio en el que se eleva la velocidad del motor, desde que el rotor se encuentra detenido hasta que este se encuentre girando a la velocidad de régimen permanente. Es la corriente que absorbe instantáneamente el motor, cuando partiendo de reposo ($\omega=0$) se le aplica una tensión determinada (en principio nominal). Por tanto se puede calcular como el cociente entre la tensión aplicada y la resistencia de devanado [9].

$$I_A = V_A / R_A \quad (3.1)$$

- **Corriente sin carga I_0 (A):** Es la corriente que el motor absorbe sin carga (sin proporcional par útil alguno). Depende de la fricción en las escobillas y en los cojinetes. Varía ligeramente con diferentes velocidades [9].

- **Potencia de salida máxima P_{2max} (W):** Es la máxima potencia mecánica desarrollada en el eje del motor, recomendada por el fabricante sin que se produzcan problemas de conmutación, que desemboquen en un fallo prematuro del motor [9].
- **Tensión nominal U_n (V):** Es la tensión de referencia a la que se proporcionan otros datos nominales del motor. Los valores nominales mostrados en la hoja de datos solo se cumplen teniendo en cuenta esta tensión nominal. Ésta ha sido escogida para que el motor no sobrepase la máxima velocidad girando sin carga [9].
- **Velocidad en vacío ω_0 (rpm):** Es la velocidad del eje del motor, a la tensión nominal y sin carga externa aplicada. En la práctica esta velocidad es proporcional a la tensión externa aplicada [9].

Para determinar la potencia del motor necesaria para mover la nave se realizarán los siguientes cálculos, dados en el modelo teórico:

Velocidad de Carena

$$E_f = 1\text{metro}$$

$$R = 1.98$$

De acuerdo a la ecuación 2.3 tenemos:

$$V = 1.98x1 \quad (3.2)$$

$$V = 1.98\text{nudos} \quad (3.3)$$

$$D = 0.06\text{toneladas}$$

Resistencia de avance

Hallando la relación Desplazamiento/Eslora de acuerdo a la ecuación 2.4

$$Const = \frac{0.06}{\left(\frac{1}{100}\right)^3} \quad (3.4)$$

$$Const=60000 \quad (3.5)$$

Con el valor de “Const”, se verifica con una aproximación en el grafico Resistencia versus Desplazamiento/Eslora (la tabla Resistencia versus Desplazamiento/Eslora se encuentra en los anexos), el cual se obtiene un valor de Res de 50.6daN/t; a partir de ello se calculó la resistencia al avance en decanewtons, teniendo en cuenta la ecuación 2.5.

$$R = 50.6 \times 0.06 \quad (3.6)$$

$$R = 3 \text{ daN} \quad (3.7)$$

Con el valor de R podemos obtener la potencia en la Hélice, utilizando para ello la fórmula 2.6.

$$Ph = 3 \times 1.58 \times 0.005 \quad (3.8)$$

$$Ph = 0.0237 \text{ Kw} \quad (3.9)$$

Luego obtenemos la potencia en el eje, a través de la ecuación 2.7

$$Pe = 0.0237 / 0.45 \quad (3.10)$$

$$Pe = 0.0526 \text{ Kw} \quad (3.11)$$

A continuación, calculamos la potencia del motor teniendo en cuenta las pérdidas en los engranajes, con la ecuación 2.8.

$$Potencia = 0.0526 / 0.94 \quad (3.12)$$

$$Potencia = 0.0559 \text{ Kw} \quad (3.13)$$

$$Potencia = 0.074 \text{ Hp} \quad (3.14)$$

Con ello tenemos la potencia necesaria de los motores para el movimiento de avance de la nave; de acuerdo a ello se elige un motor de 1/8Hp, debido a que es el valor más próximo, comercial.

Los motores a utilizar para el movimiento de la nave y movimiento de la cámara de video, son de Imán Permanente y presenta las siguientes características:

Motores de movimiento de la nave

Resistencia de armadura (R_a):	60 Ω
Corriente de Arranque (I_a):	5A
Voltaje nominal (V_n):	36V
Corriente nominal (I_n):	2.59A
Velocidad en vacío (ω_0):	300RPM
Potencia (P_a):	1/8 HP

En la siguiente figura se muestra el motor a utilizar para el avance o retroceso, y para el giro de la nave, se va a utilizar un motor de las mismas características.



Figura 3.2: Se muestra el motor a utilizar para la locomoción de la nave
Fuente: Juan Jorge Gonzales Tello

Para calcular la potencia del motor a utilizar para el movimiento de la cámara, partimos de la premisa de que para hacer girar la cámara, el motor debe de ser capaz de vencer la inercia de la cámara y además se sabe que la fuerza de inercia es menor a la fuerza que se necesita para levantar el peso de la cámara. En la definición de “HP”

(Caballos de Fuerza), dice que el motor debe de ser capaz de levantar el peso de 75Kg una altura de un metro en un segundo. Tenemos que el peso aproximado de la cámara a utilizar es de 2Kg como máximo; a partir de ello podemos deducir que con un motor de 1/32HP es capaz de levantar un peso de 75/32Kg; es decir, un peso de 2.34Kg; de ello podemos colegir que un motor de 1/32 HP suministra la suficiente potencia para vencer la inercia de una cámara de 2Kg, en su estado de reposo. A continuación se muestran las características del motor.

Motor de movimiento de la cámara

Resistencia de armadura (R_a):	35 Ω
Corriente de Arranque (I_a):	1.3A
Voltaje nominal (V_n):	12V
Corriente nominal (I_n):	1.8A
Velocidad en vacío (ω_0):	200RPM
Potencia (P_a):	1/32 HP

El motor para el movimiento de la cámara es el siguiente:



Figura 3.3: Motor para el movimiento de la cámara
Fuente: <http://www.superpbenavides.com/catalogo/componentes-electromecanicos/motores>

3.4.2 Electrónica de potencia

En esta etapa se cuenta con dos circuitos, uno para el movimiento de la nave, y otro para el movimiento de una cámara de video. El “puente H”, es un circuito que es capaz de controlar motores DC, y además, este circuito es capaz de variar la velocidad e invertir el sentido de giro de los motores; este circuito es implementado con transistores Mosfet de potencia, estos transistores son capaces de soportar corrientes de hasta 22 amperios.

En el circuito usado para el movimiento de los motores que van a permitir en movimiento de la nave, se cuenta con dos “puente H”; uno de ellos para controlar el avance y retroceso de la nave, y el otro para mover la aleta de dirección de la nave; es decir, con este circuito se pueden controlar hasta 2 motores DC (funcionando uno a la vez) [18]. Además este circuito cuenta con cinco entradas, cuatro para elegir que motor se desea hacer funcionar y el sentido de giro; y uno (general), para variar la velocidad del motor que se esté utilizando; a este último se le hace ingresar una señal de entrada configurada como una señal PWM [19] (*Pulse Width Modulation*) que es proporcionada por la etapa de Control Digital, estrictamente, por el microcontrolador en uno de sus pines [10]. Cabe mencionar que en la entrada de cada puente H se cuenta con un circuito de protección que evita activar el movimiento de en ambos sentidos del motor y, de esta manera, evitar dañar los circuitos con electrónica de potencia.

Para lograr el funcionamiento del motor de dirección de la nave, se usa un circuito con un puente H, pues solamente se desea controlar el movimiento de un motor; además, este circuito, cuenta con un circuito de protección como en el caso anterior, el cual está basado en compuertas “XOR”. A continuación se muestra en la imagen un circuito de protección basado en compuertas “XOR” y también se mostrará una tabla con las entradas y salidas del circuito de protección.

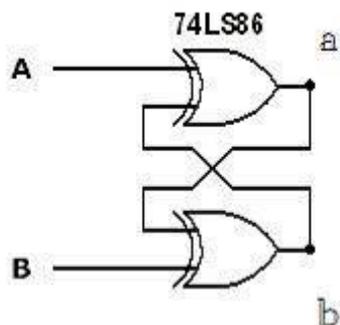


Figura 3.4: Circuito de protección para puente H
 Fuente: http://robots-argentina.com.ar/MotorCC_PuenteH.htm

Tabla 3.1: Entradas y salidas del circuito de protección del Puente H

Entradas		Salidas	
A	B	a	b
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	x	x

En el estado “X”, se activa se activa uno de los sentidos de marcha sin que se pueda prever cual será. Si hay una señal que ha llegado primero se habilita la que ha llegado primero; pero si ambas señales han llegado simultáneamente no se puede prever si se activará “a” o “b”; pero si se sabe que solo uno de ellos se activará; y de esta manera, se resuelve el problema de que se activen ambas ramas del puente H.

A continuación se describirán los dispositivos que conforman esta etapa:

- **Mosfet de potencia (IRF540):** Es un transistor canal “N”. Este dispositivo soporta corrientes de hasta 22 Amperios y un voltaje de máximo de 100 voltios. La elección de este dispositivo se debe a que presenta una adecuada respuesta en frecuencia, soporta la cantidad de corriente necesaria para poner en marcha los motores a utilizar para la nave y además se encuentra a un

precio bajo en el mercado peruano. Cabe mencionar que este dispositivo soporta medianas corrientes y altos voltajes por cortos periodos de tiempo [24].

- **Mosfet de potencia (IRF9540):** Es un transistor canal “P”, a diferencia del anterior, este dispositivo soporta corrientes de 19 Amperios y voltajes de 100 Voltios entre Surtidor y Drenador. El IRF9540 soporta la corriente necesaria para poner en marcha los motores de la embarcación, y se encuentra a un precio bajo en el mercado peruano [25].
- **Opto-acoplador (4N35):** Es un dispositivo para separar eléctricamente los circuitos de potencia de la nave de los circuitos de control digital. Este dispositivo en el mercado peruano se encuentra a un precio bajo y además presenta un buena respuesta en frecuencia [26].
- **Compuerta Lógica XOR(74LS86):** Es un dispositivo que contiene internamente 4 compuertas lógicas “XOR”, las cuales se utiliza para elaborar un circuito de protección para el “puente H” [27].

La hoja de datos de los dispositivos mencionados anteriormente se encuentra en anexos.

Para una mejor apreciación en la figura 3.5, se mostrará el circuito básico de inversión de giro (Puente H), y en la figura 3.6 se acoplará este circuito como un bloque; para mostrar, finalmente, el circuito que permitirá la locomoción de la nave (control de velocidad de inversión de giro).

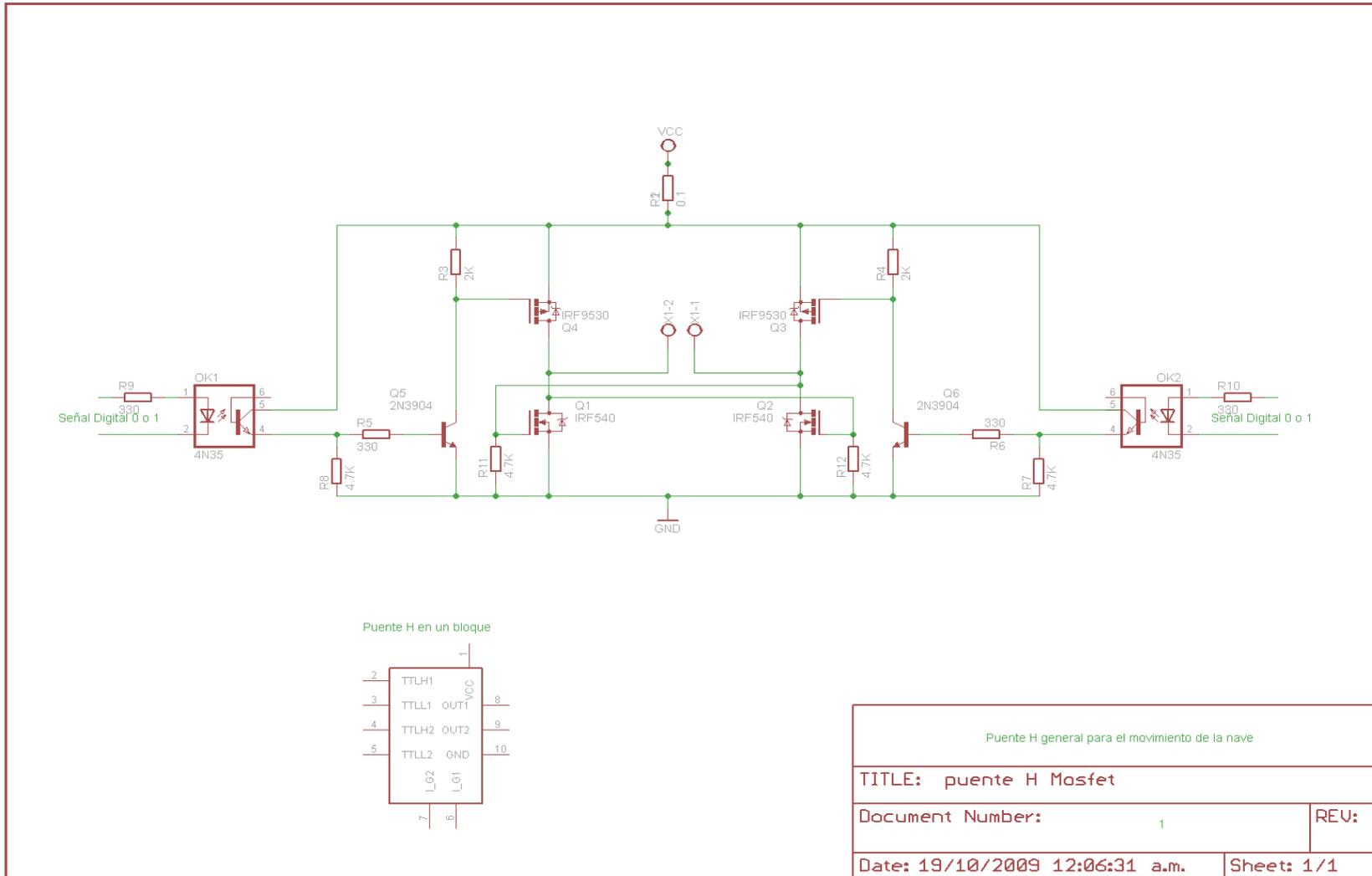


Figura 3.5: En la parte inferior izquierda, se muestra el circuito del Puente H que en la siguiente figura será acoplado a otro circuito
Fuente: Elaboración propia

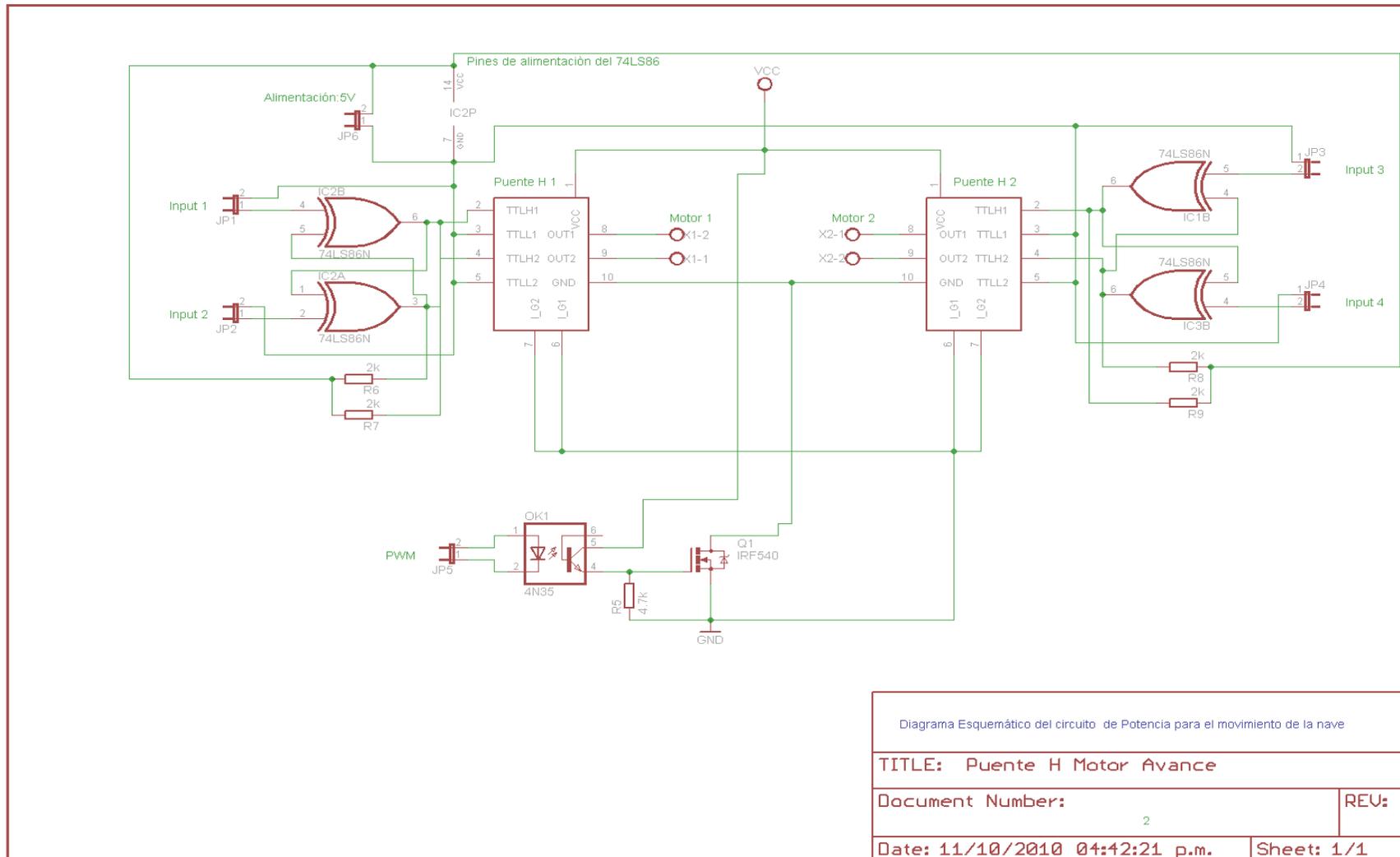


Figura 3.6: Circuito de Potencia Utilizado para la locomoción de la nave
Fuente: Elaboración propia

Para el funcionamiento del circuito anterior se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones:

- El bloque de circuitos mostrado en la figura anterior (puente H 1), implementa un circuito en configuración “Puente H”, el cual es utilizado como un bloque en la figura “Puente H 2”; este circuito (Puente H 2) dará funcionamiento al motor de avance, retroceso y movimiento de la aleta de dirección de la nave.
- Para variar la velocidad de los motores se ingresa una señal PWM a la frecuencia de 300HZ, la cual es la frecuencia óptima de funcionamiento de los motores en esta etapa.

En la siguiente tabla se describe el funcionamiento del circuito mostrado anteriormente.

Tabla 3.2: Entradas y salidas que van a controlar el funcionamiento de los motores de locomoción de la nave

Entradas					Salidas	
Input 1	Input 2	Input 3	Input 4	PWM	Motor 1	Motor 2
0	0	0	0	Si	No Hay movimiento	No Hay movimiento
1	0	0	0	Si	Horario	No Hay movimiento
0	1	0	0	Si	Anti-Horario	No Hay movimiento
0	0	1	0	Si	No Hay movimiento	Horario
0	0	0	1	Si	No Hay movimiento	Anti-Horario
x	x	x	x	No	No Hay movimiento	No Hay movimiento

Cabe resaltar que el consumo en corriente de este circuito es de 150mA.

En la siguiente figura se muestra el circuito que controla al motor que va a dar movimiento a la cámara de video, instalada en la embarcación.

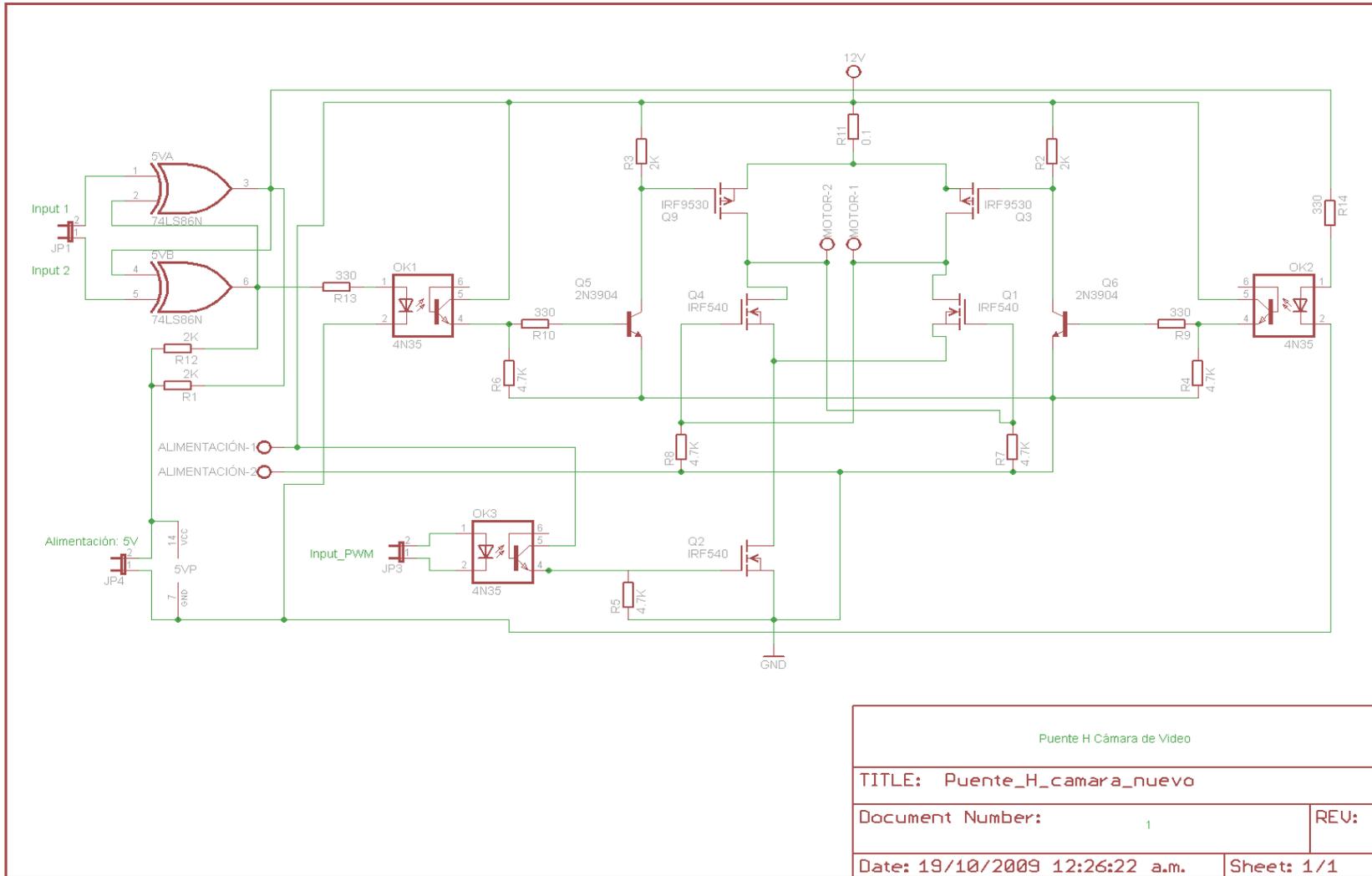


Figura 3.7: Diagrama esquemático del circuito que va a permitir a girar a la cámara
Fuente: Elaboración propia

El consumo de corriente de este circuito es de aproximadamente 125 mA.

En la tabla 3.3 se detalla los valores proporcionados, por el microcontrolador, hacia el circuito de electrónica de Potencia, para el movimiento de la cámara de video.

Tabla 3.3: Esquema de funcionamiento de la nave

Entradas			Salidas
Input 1	Input 2	Input_PWM	Movimiento de la Cámara
0	0	Si	Sin movimiento
1	0	Si	Horario
0	1	Si	Anti-Horario
X	X	No	Sin movimiento

3.4.3 Detector y Actuador del nivel de carga de la Batería

Este circuito es capaz de detectar si el nivel de voltaje de la batería es el adecuado para el funcionamiento de todo el sistema eléctrico de la nave y ,a su vez, enviar una señal de aviso hacia el microcontrolador (Electrónica Digital), el cual, dependiendo de la señal de aviso, retornará una señal de control para conectar el circuito de carga de la batería, el cual está unido a un panel solar; y cuando la batería haya terminado de recargarse enviará una señal de control para desconectar el circuito de carga y así evitar dañar la batería. De esta manera se lograría que la nave pueda abastecerse de energía por un largo periodo de tiempo, aumentando la vida útil de la batería. Este circuito está conformado, básicamente, de un comparador (LM339) el cual compara el nivel de voltaje de la batería con un voltaje de referencia; en caso de que el voltaje de referencia sea mayor al obtenido de la batería, se procede a activar un relay, a través del microcontrolador; activando para ello al transistor (2N2222) para dejar fluir la corriente a través del relé; y cuando el voltaje de la batería sea mayor al voltaje de referencia se restringirá el paso de corriente por el relé a través del transistor.

El consumo en corriente de este circuito es de 70mA.

Los elementos que conforman este circuito son los siguientes:

- **Relay (JZC-4123F):** Funciona a 12VDC y soporta corrientes de hasta 12A, este elemento conecta al panel solar con el circuito de carga de la batería.
- **Transistor NPN (2N2222):** Es un transistor que puede soportar corrientes de hasta 1A, es de conmutación rápida y además presenta un bajo costo en el mercado; en el circuito se utiliza para activar o desactivar el relé.
- **Comparador de voltaje (LM339):** Es un dispositivo comparador el cual detecta si el nivel de carga de batería es el adecuado para el funcionamiento del sistema. En el mercado peruano tiene un bajo costo. A diferencia de los “OPAMP” este circuito solamente se alimenta con “0” o “5” voltios.
- **Diodo (FR305):** Diodo rápido, utilizado para proporcionar al relé, un circuito de descarga y, de esta manera, evitar el daño a otros dispositivos por la corriente almacenada en la bobina de este. Y además evitar una polarización incorrecta en el relé.
- **Opto-acoplador (4N35):** Sirve para separar eléctricamente los circuitos de potencia con los que poseen electrónica digital.

La hoja de datos de los dispositivos mencionados anteriormente se encuentra en anexos.

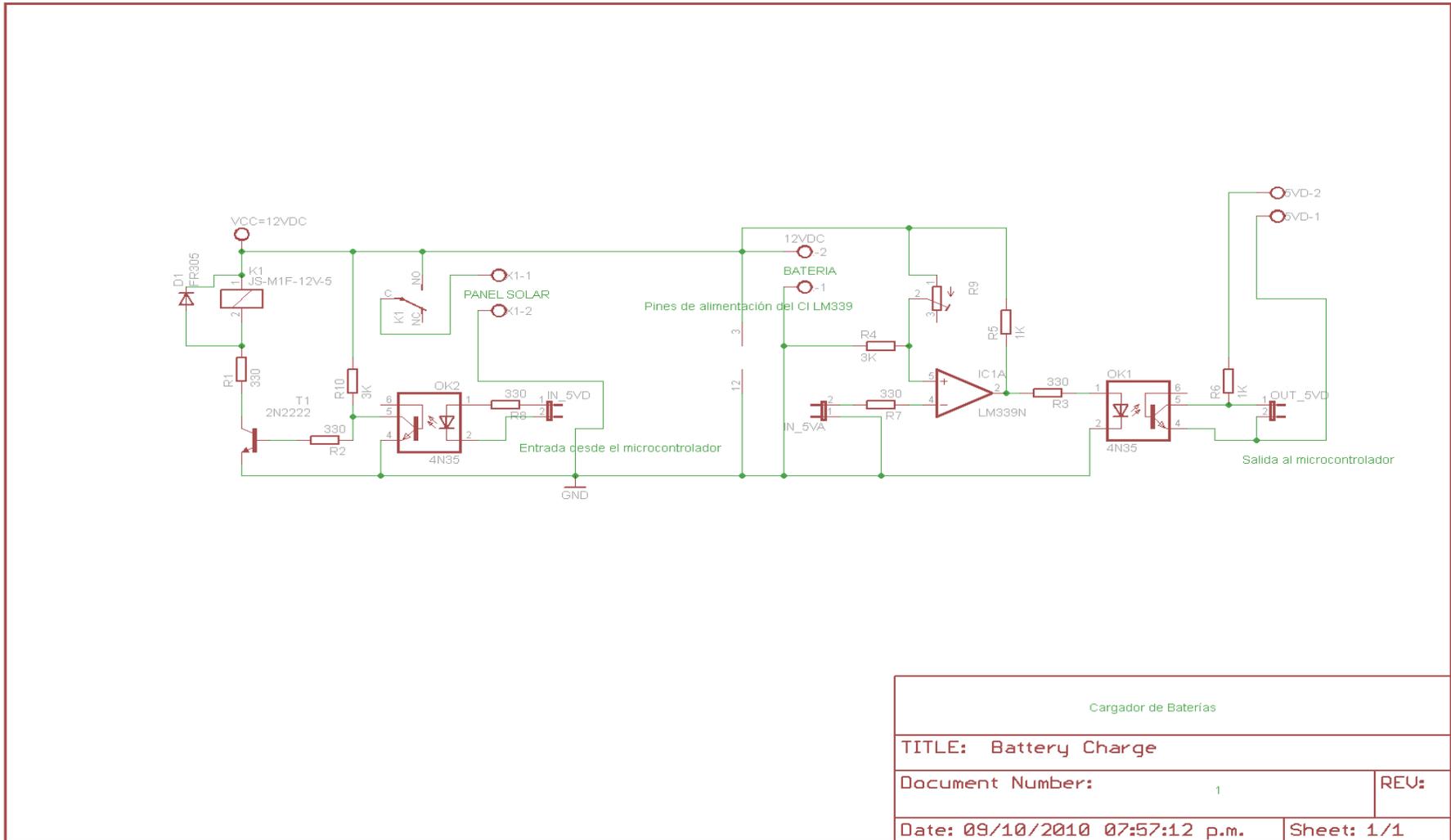


Figura 3.8: Diagrama esquemático del circuito cargador de la batería
Fuente: Elaboración propia

3.4.4 Circuito conversor DC/DC

Este circuito es capaz de proporcionar voltajes de 12 y 5 VDC, y además proporcionar dos distintos niveles de referencia, al cual llamaremos: Tierra Digital y Analógica. Este circuito es muy importante dentro del sistema, pues permite aislar la alimentación de los circuitos de electrónica digital de los de potencia, a través de un distinto nivel de referencia; y en el caso de producirse una sobre corriente en uno de los circuitos, no afectaría el comportamiento de los circuitos del otro lado. Esta etapa es de bastante utilidad, pues; es posible proteger a los circuitos digitales de los sobre voltajes o sobre corrientes que se presentan como di/dt ó dV/dt [10]. Este circuito está conformado por un inversor de onda cuadrada, el cual es diseñado en base de un circuito generador de onda cuadrada y este tiene como dispositivo principal al circuito integrado NE555, en la salida de este dispositivo obtenemos una señal cuadrada de 0 y 5VDC, luego esta señal es dividida en dos y en cada división la señal pasa a través de una y dos compuertas lógicas de colector abierto (74LS06), que permite a través una entrada de voltaje 0 y 5VDC, tener a la salida un voltaje de 0 y 12VDC (configurada adecuadamente); después de pasar por las compuertas lógicas la señales se encuentran desfasadas 180 grados una respecto de la otra. Gracias al tratamiento realizado por las compuertas lógicas "NOT", se obtiene una señal de 12VAC, en el lado primario del transformador; para obtener en el lado secundario un voltaje 9 VAC; luego esta señal es rectificadas para obtener una señal de 9 VDC y para completar el proceso esta señal pasa por el regulador KA7805, el cual regula la señal a 5 VDC. Cabe mencionar que el elemento principal de este circuito es el transformador, pues este permite separar eléctricamente las señales de cada lado del transformador.

El consumo en corriente de este circuito es de 2A.

Este circuito lo conforman los siguientes elementos:

- **Temporizador (NE555):** Es un dispositivo que configurado adecuadamente y alimentado con 5V, genera una señal cuadrada a una frecuencia, en este caso se utiliza a una frecuencia de 60Hz, la cual es aproximadamente la frecuencia óptima del trabajo del pequeño transformador acoplado al circuito.

- **Regulador de Voltaje (KA7805):** Es un dispositivo, el cual tiene como entrada 12 VDC y proporciona una señal de salida de 5VDC.

- **Compuerta lógica (74LS06):** Es un dispositivo, de colector abierto, negador de voltaje que proporciona una señal digital en nivel alto cuando tiene por entrada un nivel bajo de voltaje y viceversa.

- **Mosfet de Potencia (IRF540):** Dispositivo de potencia, capaz de soportar hasta 22A de corriente. Presenta un bajo costo en el mercado. Se utiliza principalmente, para administrar la corriente que pasa por el transformador.

- **Transformador con toma central:** Este instrumento es el principal en este circuito, pues permite aislar eléctricamente los circuitos de potencia con el de electrónica digital.

- **Condensador:** Ayuda a filtrar las señales de ruido a la salida del conversor DC/DC; además permite obtener una señal una señal deseada porque almacenan energía en forma de voltaje.

La hoja de datos de los dispositivos mencionados anteriormente se encuentra en anexos.

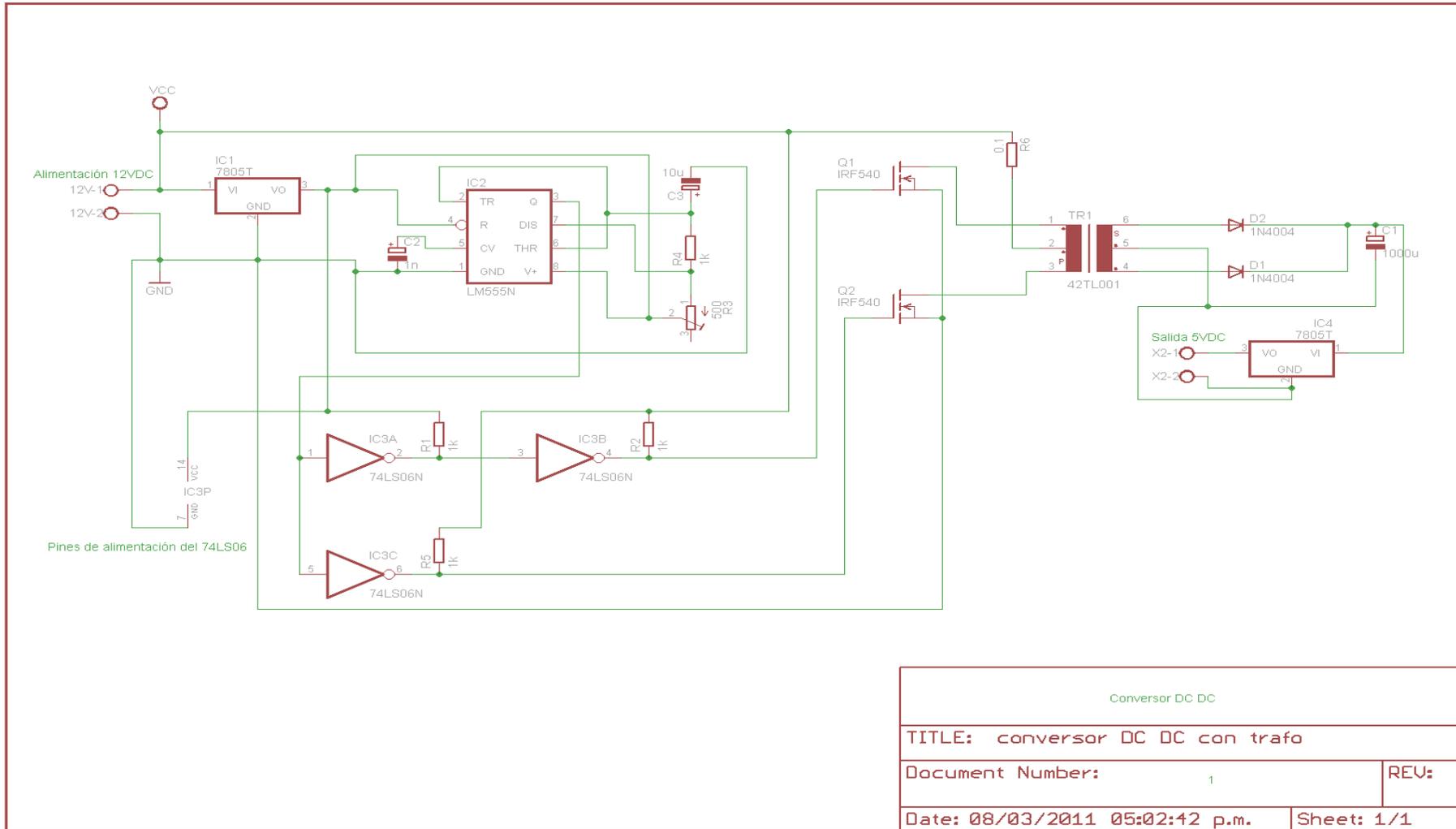


Figura 3.9: Diagrama esquemático del circuito conversor DC/DC.
Fuente: Elaboración propia

3.4.5 Señal de Control Digital

Se alimenta con 5VDC y además tiene una referencia diferente de los circuitos de potencia. El elemento más importante de esta etapa es el microcontrolador (Atmega-8L), el cual envía señales de control hacia los “drivers” de los circuitos de potencia para controlar el sentido de giro de ambos motores; así como la velocidad de giro de estos. También controla la velocidad de giro de un motor para el movimiento circular de una cámara de video; para ello se envía señales de control hacia el circuito de potencia que se encarga de controlar dicho motor. La cámara de video gira alrededor de un eje en intervalos de 30 grados. El microcontrolador, también, recibe una señal por parte del circuito detector del nivel de carga de la batería; este, a su vez, responde con una señal de activación para el circuito que se encarga de recargar la batería, en caso de que la batería se encuentre descargada.

Además recibe una señal de voltaje (VDC), proporcionada por un sensor de presencia, para detener la nave, en caso se encuentre con algún objeto, y de esta manera evitar que la nave colisione.

Otra de las tareas de esta etapa es la de guardar en la memoria EEPROM del microcontrolador un registro de temperatura cada media hora, proveniente de la etapa “Sensor de temperatura”, cabe mencionar que para la etapa de grabación de temperatura, se utilizará otro microcontrolador, debido a las limitaciones impuestas por el este y por la necesidad de utilizar una memoria EEPROM externa, en el futuro; con el fin de tener mayor capacidad de grabación.

- **Microcontrolador (Atmega-8L):** Es un circuito integrado que incluye en su interior un CPU, Memoria RAM, memoria no volátil (FLASH y EEPROM), y Unidades de entrada y salida. Este dispositivo es el encargado de controlar todas las operaciones que se deseen realizar en la nave, Ya que recibe instrucciones por su puerto serial, las decodifica, procesa y según ello emite

una acción por sus puertos de Entrada/Salida. Todo ello de acuerdo al programa grabado en su memoria "FLASH".

Existen diversas familias de microcontroladores, cada uno de ellos con una serie de características que definen su uso. Entre las principales marcas que fabrican estos dispositivos tenemos: Motorola, Atmel, Intel, AMD, Nacional Semiconductor, Hitachi, Texas Instruments, entre otras.

La elección de este dispositivo se debe, principalmente, a las siguientes características y necesidades.

- El dispositivo cuenta con un número adecuado de puertos de Entrada/Salida que cubre las necesidades de este proyecto.
- Cuenta con tres temporizadores uno de 16 bits (Timer1) y dos de 8 bits (Timer 0 y Timer 2)
- Se puede Generar tres señales PWM (PB1, PB2 y PB3)
- Cuenta con seis Conversores Análogo Digital
- Presenta 8KB de capacidad de memoria, lo suficiente como para grabar toda la lógica del sistema (FLASH).
- Presenta memoria EEPROM (512 bytes), la cual permite grabar 512 valores de temperaturas proporcionadas por un sensor.
- El reloj de este microcontrolador puede trabajar hasta 16MHz.
- El precio de este dispositivo en el mercado peruano es de S/ 11.
- Se puede editar programas, para este microcontrolador, con lenguajes de bajo nivel como "Assembler" y de alto nivel como "C++", "Borland Pascal", entre otros.
- La universidad cuenta con el circuito grabador de programas para este microcontrolador. [28]

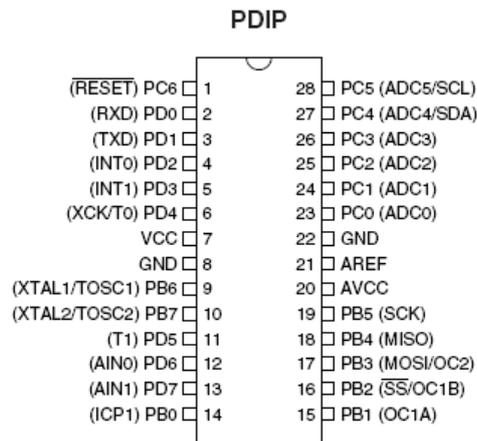


Figura 3.10: Microcontrolador Atmega-8L
Fuente: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf

Además este dispositivo cuenta con 1Kilobyte de memoria SRAM, 32 registros de propósito general, bus de datos de ocho bits e interrupciones internas y externas.

3.4.5.1 Descripción del programa de control

El microcontrolador utilizado en esta etapa es el Atmega-8L, el cual, va a tener las siguientes entradas y salidas.

Entradas:

Por el puerto serial (PD0), por donde se va a recibir las señales externas que van a controlar la velocidad de los motores para la locomoción de la nave; así como el movimiento de la cámara de video que va a ser instalada en la nave.

Además, contará con una entrada para detectar si el nivel de carga de la batería es el idóneo.

Con relación al circuito del sensor de presencia, este tendrá como salida un nivel de voltaje DC, el cual varía de cero a cinco voltios; en este sentido, el programa es capaz de interpretar esta señal y determinar la distancia de un objeto cercano a una distancia no mayor de 80 centímetros, limitación impuesta por el sensor utilizado (hoja técnica), usando solamente el nivel de voltaje dado por el sensor; para esta aplicación se utilizará el pin "PC0" del

microcontrolador. En caso de que la nave se encuentre a una distancia cercana a un obstáculo, el micro controlador será capaz de detener la nave.

Para la grabación de la temperatura, se optará por la integración de otro microcontrolador, y en la entrada "PC1" se le añadirá el voltaje de un transductor de temperatura, internamente el programa convertirá esta señal en un valor en grados centígrados y lo guardará en su memoria no volátil (EEPROM); la elección de un microcontrolador más, es para proporcionar al sistema la grabación de los datos de temperatura, además de otros datos atmosféricos que se deseen implementar como presión, humedad, entre otros; estos datos serían grabados en una memoria externa al microcontrolador, en el futuro.

Salidas:

Salida de una señal PWM por el puerto PB3 y PB1 del micro-controlador, una para la locomoción de la nave y la otra para la locomoción de la cámara.

Cuatro pines del microcontrolador para activar el movimiento e inversión de giro, de cada uno de los motores de locomoción (PD3, PD4, PD5 Y PD6); Y dos pines para controlar el movimiento de la cámara (PB6 Y PB7).

Además se activará el circuito de carga de la batería con el pin PB5.

3.4.5.2 Diagrama de flujo general para la programación del micro controlador

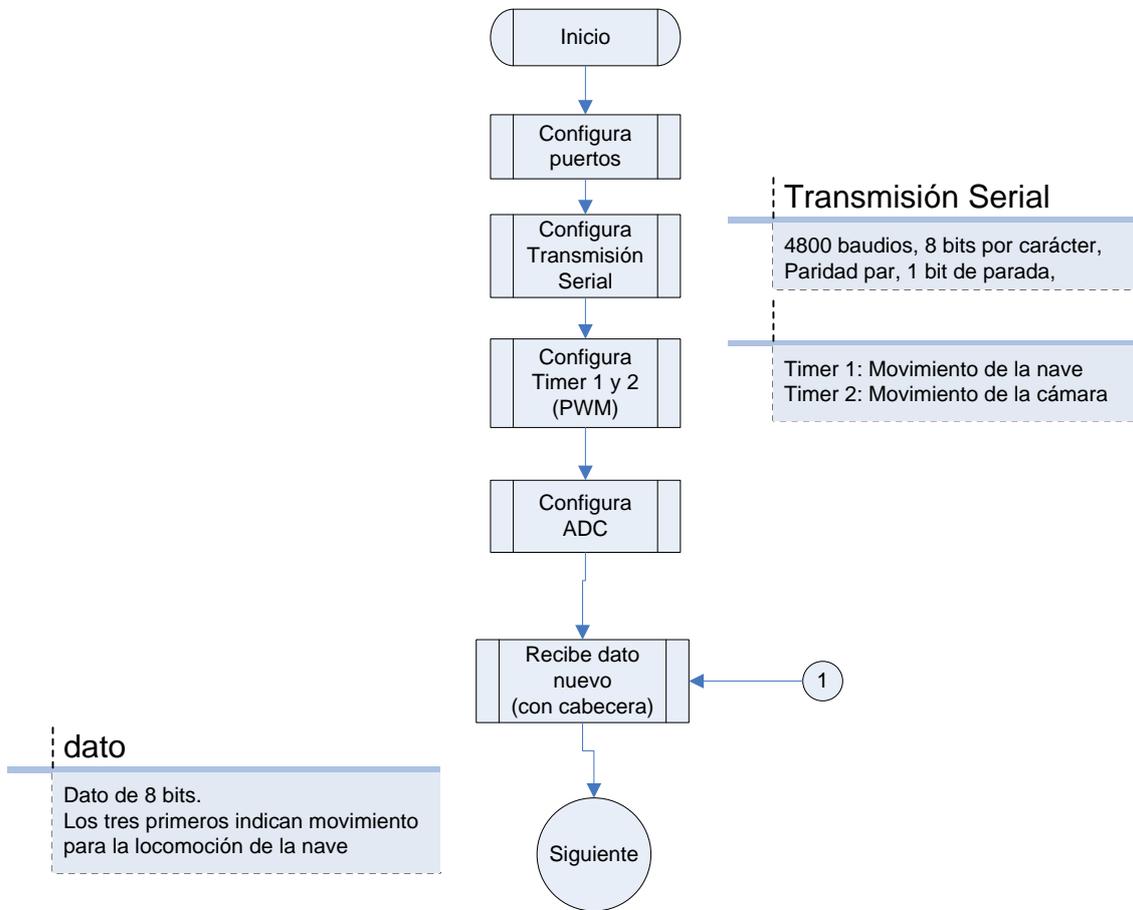


Figura 3.11-a: Primera parte del diagrama de flujo general para el movimiento de cada uno de los motores de la nave

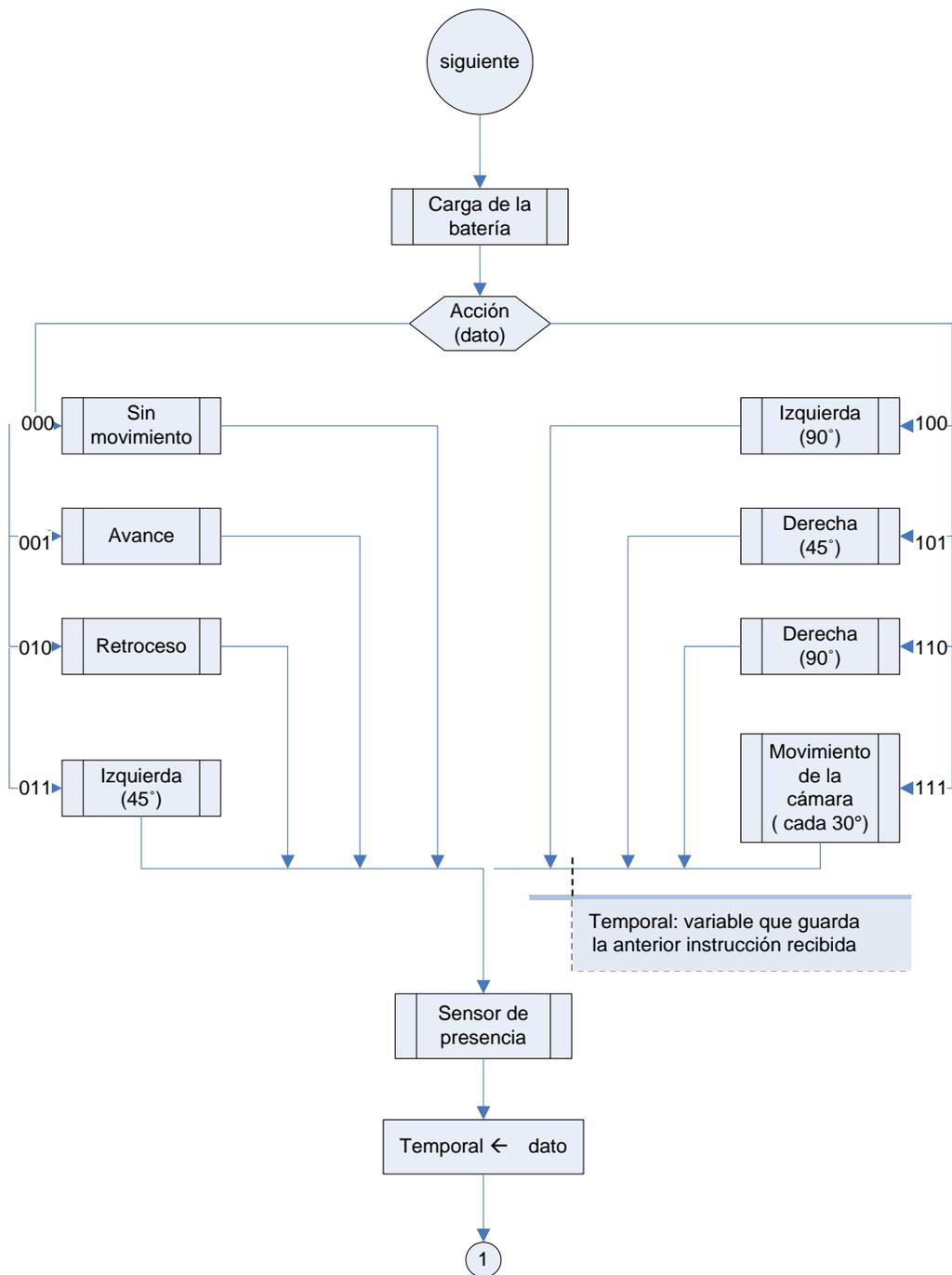


Figura 3.11-b: Segunda parte del diagrama de flujo general para el movimiento de cada uno de los motores de la nave

3.4.5.3 Diagramas de flujo de las subrutinas más complejas

- Diagrama de flujo para el avance y retroceso de la nave

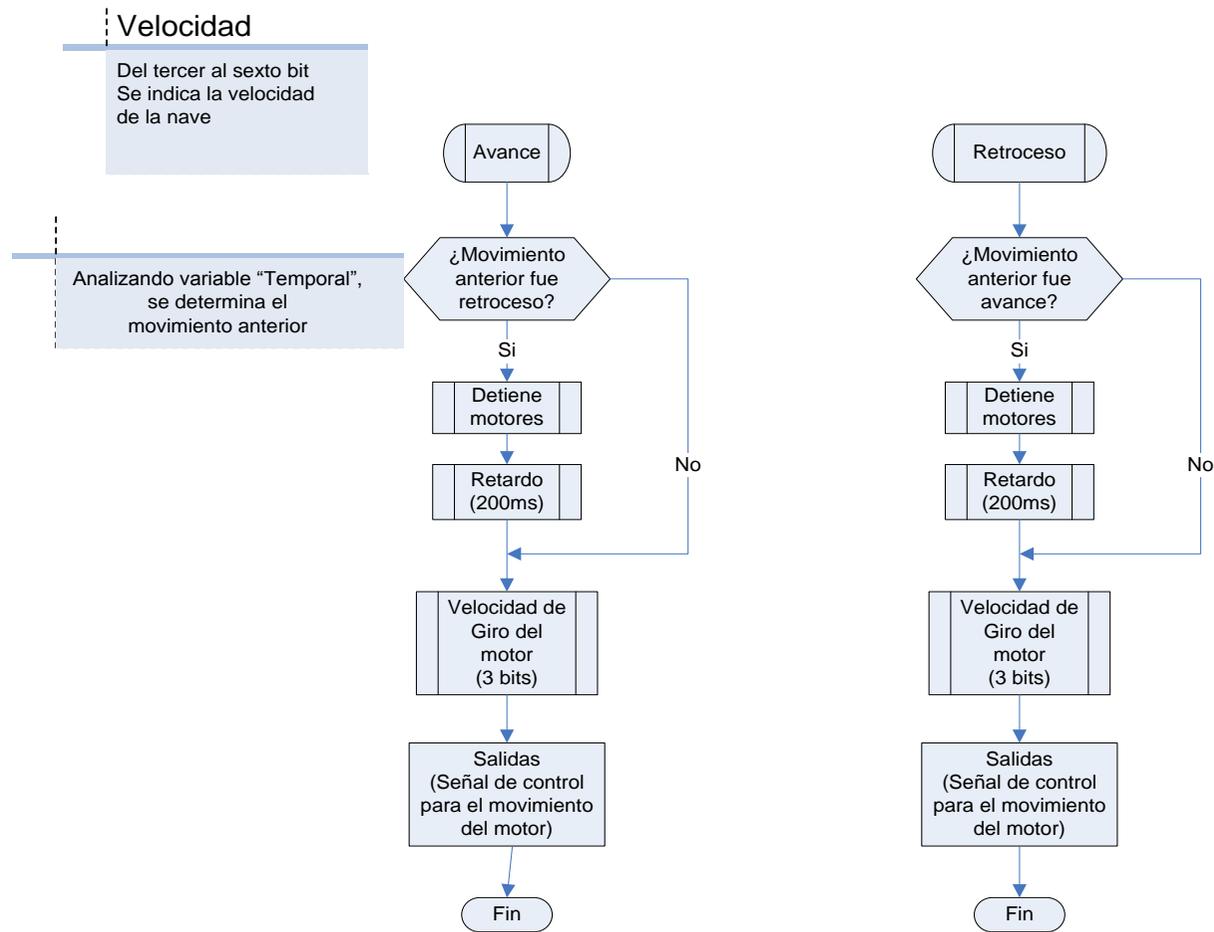


Figura 3.12: Diagramas de flujo para el movimiento de avance y retroceso de la nave

- **Diagrama de flujo que permite el movimiento anti-horario de la nave**

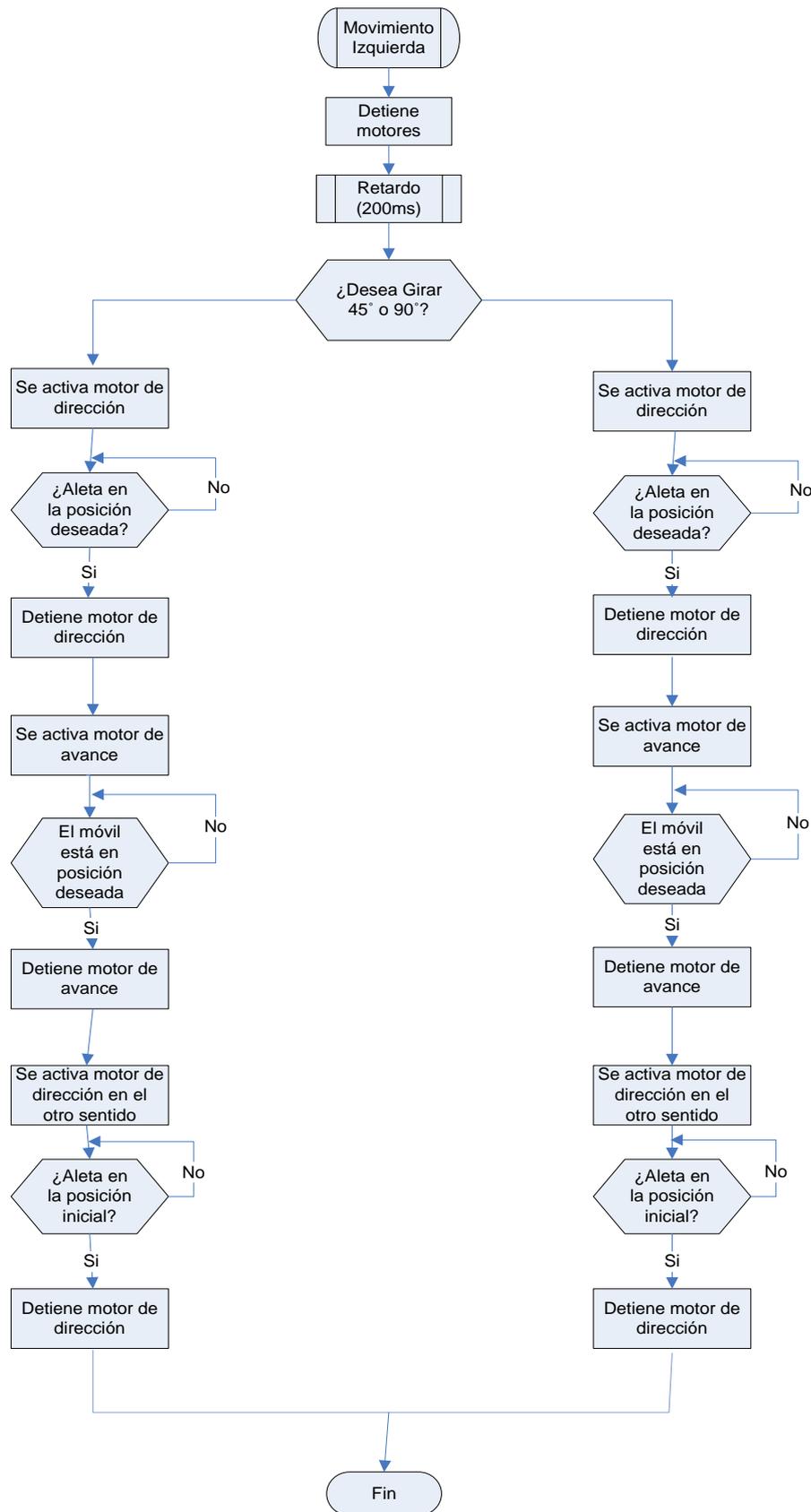


Figura 3.13: Diagrama de flujo para el movimiento horario de la nave

- Diagrama de flujo de flujo que permite el movimiento horario de la nave

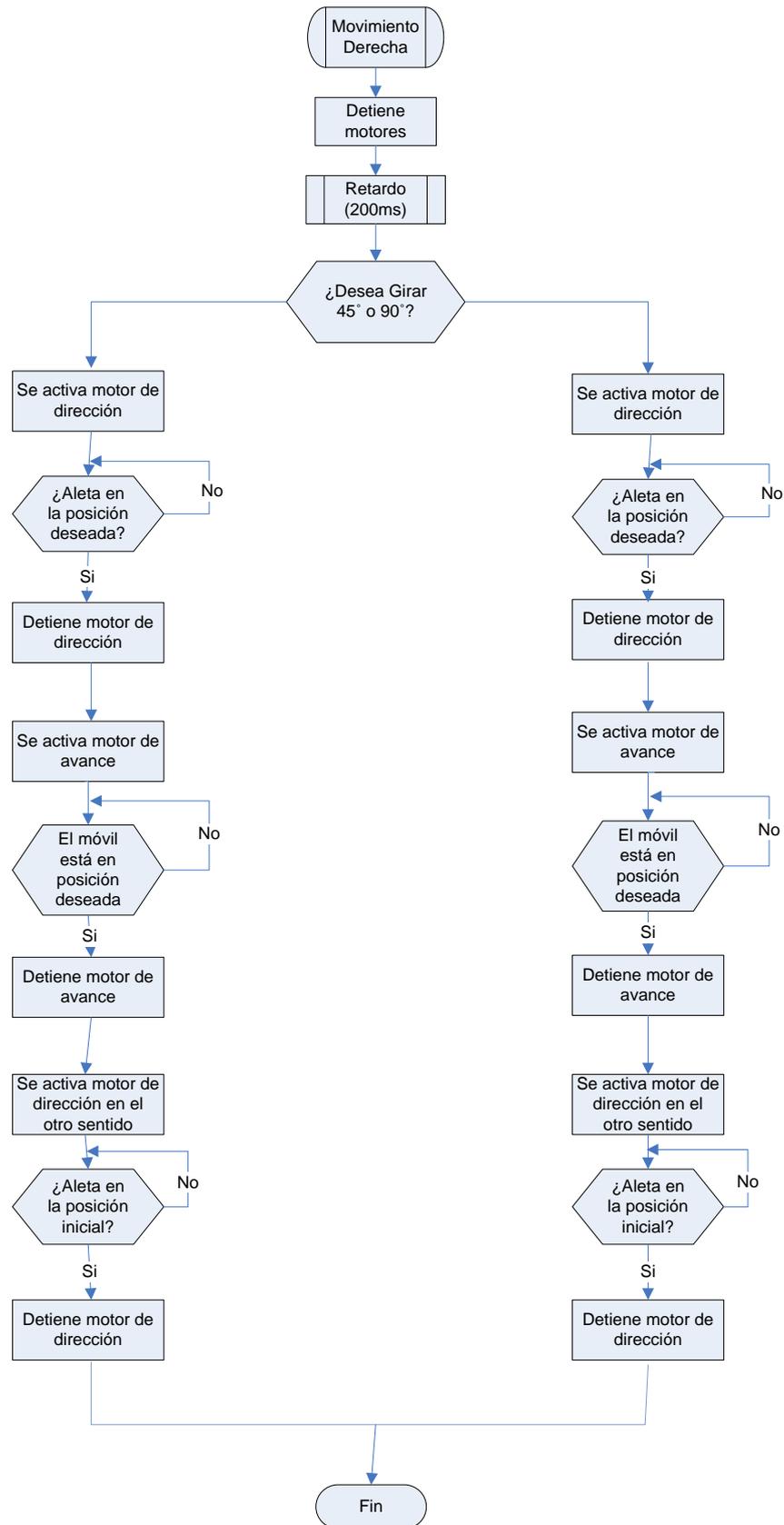


Figura 3.14: Diagrama de flujo para el movimiento anti horario de la nave

La subrutina “Retardo (200ms)” permite retrasar el tiempo de cambio de giro, para que el eje del motor se encuentre detenido cuando se requiere invertir el giro y, de esta manera, evitar posibles daños tanto a los circuitos como a los motores.

- **Diagrama de flujo para el movimiento de la cámara**

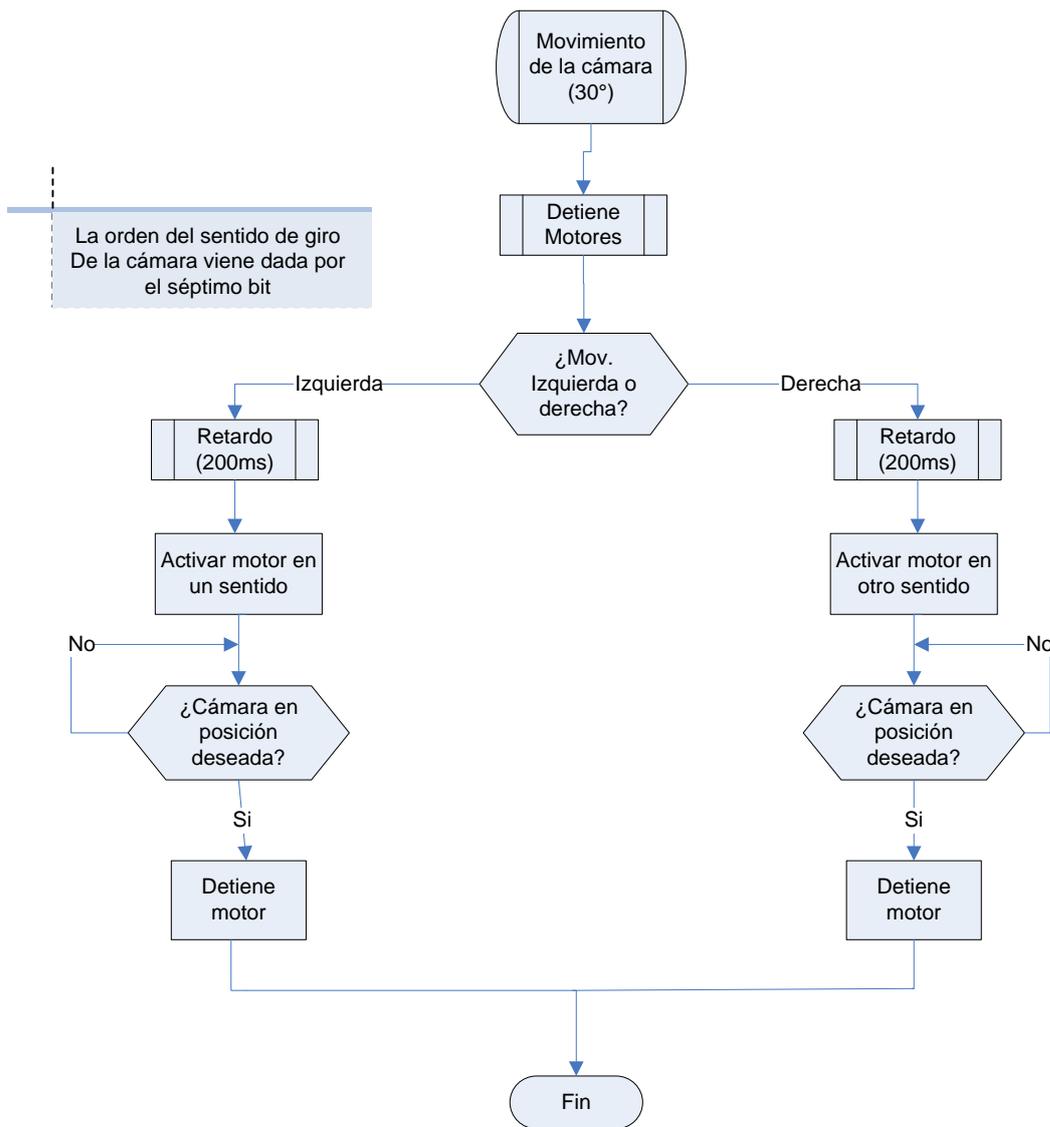


Figura 3.15: Diagrama de flujo para el movimiento de la cámara de video

3.4.6 Sensor de aproximación

La nave va a tener un sistema de detección de objetos; para ello se añadirá un sensor de presencia, el cual detectará la proximidad de un objeto cercano para evitar colisionar, y evitar cualquier daño que pueda ocasionarse a la nave. El diseño de esta etapa se basa en sensores de presencia que utilizan luz infrarroja; todo ello para lograr la detección de un objeto a una distancia aproximada de 80cm de la nave. Para el diseño de esta etapa se utilizará el sensor de presencia “GP2Y0A21YK0F”, del fabricante SHARP.

- **GP2Y0A21YK0F (sensor de presencia):** Se usa para la detección de objetos a una distancia no mayor a 80cm. El uso de este dispositivo se debe a que abarca una mayor distancia que los del sensor de presencia basado en ultrasonido, con este sensor se puede realizar la detección de un objeto, de manera óptima, hasta una distancia de 80cm. El consumo típico de corriente de este instrumento es de 30mA.
- **Microprocesador (Atmega-8L):** Usado para detectar el nivel de voltaje que se tiene como salida del sensor de presencia. Se utiliza el microcontrolador, específicamente el conversor AD, para detectar y realizar una acción en caso se detecte la presencia de algún objeto. En este caso la acción a realizar es la de detener el avance de la nave.

La hoja de datos de los dispositivos mencionados anteriormente se encuentra en los anexos.



Figura 3.16: Se muestra el sensor de presencia GP2Y0A21YK0F
Fuente: Hoja de datos GP2Y0A21YK0F

3.4.7 Sensor de temperatura

En esta etapa, mediante un sensor de temperatura, se medirá la temperatura de medio ambiente para codificarlo en un nivel de voltaje y transmitirlo, para su registro, hacia la memoria EEPROM del microcontrolador. El diseño de esta etapa no se avocará en este documento; pero se diseñara un circuito simple para efectos de prueba con el microcontrolador.

3.4.8 Orientación

En esta etapa se transmitirá una señal para su ubicación mediante satélite, y de esta manera, poder maniobrar la nave a grandes distancias. Esencialmente el elemento más importante de esta etapa es el GPS, el cual va a comunicar al satélite de la posición de la pequeña embarcación; todo ello, para poder maniobrar a la embarcación desde distancias muy lejanas. El desarrollo de esta etapa no se explica en el presente documento.

3.4.9 Estación base

Es el lugar desde donde se darán las órdenes a la nave, a través de una antena. El documento no incluye esta información.

3.4.10 Transmisor (Tx)

Para efectos de prueba, en esta etapa se hará un circuito simple de transmisión serial, utilizando para ello el microcontrolador Atmega-8L; básicamente mediante 8 interruptores se indicará la orden que será enviada serialmente hacia el receptor serial del micro controlador (Receptor) que interpretara la orden. En este caso la prueba se realizará mediante un cable, por el cual se transmitirán los datos seriales hacia el micro controlador receptor.

3.4.11 Receptor (Rx)

Como se mencionó en el ítem 3.4.10, la transmisión de datos se realizará mediante un cable, con el fin de simular la transferencia de datos seriales; en esta etapa el microcontrolador va a recibir una trama de datos, la cual será analizada e interpretada por el micro controlador, para posteriormente activar el funcionamiento de los motores a través de los circuitos "Puente H".

3.4.12 Batería

Es un acumulador eléctrico, que almacena energía eléctrica usando procedimientos electroquímicos y que posteriormente la devuelve, aproximadamente, en su totalidad; este ciclo puede repetirse por un determinado número de veces. Se le suele denominar generador secundario, pues para que funcione se tiene que haber suministrado de energía eléctrica previamente, mediante lo que se denomina ciclo de carga.

Cálculo de autonomía utilizando una batería de de 7 AH.

Cantidad de corriente consumida por los motores en Vatios (Asumiendo el máximo consumo de corriente). Según el diagrama de flujo, dos motores no pueden funcionar al mismo tiempo.

$$Potencia (W) = \frac{1}{8} HP * 746 \frac{W}{HP} = 93.25W \quad (3.15)$$

$$I_n = \frac{93.25W}{12V} = 7.77A \quad (3.16)$$

Sólo trabaja un motor a la vez; es decir, si un motor está en funcionamiento los demás estarán en reposo.

La batería es de 7AH

Asumiendo que el microcontrolador trabaje al máximo de su capacidad (400mA)

Los circuitos de Puente H, conversor DC/DC, de carga de la batería, sensor de temperatura y de presencia, no consumen una corriente mayor a 2A.

$$I(\text{total}) = 7.4 \text{ A}$$

Añadiendo los microcontroladores llegamos a una corriente total aproximada de:

$$I(\text{carga total}) = 8 \text{ A}$$

$$t^*(8A) = 7AH \quad (3.17)$$

$$t = 0.875\text{horas} \quad (3.18)$$

$$t(\text{minutos}) = 52.5\text{minutos} \quad (3.19)$$

La nave sólo podrá operar por tiempo aproximado de 52 minutos.

La batería a ser utilizada es de Plomo y Ácido, y se muestra en la siguiente figura:



Figura 3.17: Batería de 7Ah

Fuente: <http://img.deremate.com.ar/user/images/1887/18879615.jpg>

3.4.13 Paneles Solares

Es un módulo que aprovecha la energía de la radiación solar. Este término comprende a los colectores solares utilizados para producir agua caliente, y a los paneles fotovoltaicos utilizados para generar electricidad.

Los últimos están formados por un conjunto de celdas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos. La potencia máxima que puede suministrar un

módulo, se denomina potencia pico. La efectividad de estas placas fotovoltaicas depende del tamaño, peso, grosor y coste.

Cálculo del tiempo que demora en cargar el panel solar la batería de la nave.

El Panel elegido es de 12V a 20W. La batería de la nave es de 7AH.

$$I_{Panel}(A) = \frac{20W}{12V} = 1.67A \quad (3.20)$$

$$(1.67A) * t = 7AH \quad (3.21)$$

$$t = 4.19Horas \quad (3.22)$$

El panel solar cargaría su batería en 4.2 horas.



Figura 3.18: Muestra un panel solar

Fuente:http://uverismo.tripod.com/sitebuildercontent/sitebuilderpictures/.pond/panel_solar.jpg.w300h300.jpg

3.5 Protección frente al ruido térmico

En el siguiente esquema se presenta el circuito de disipación del semiconductor de potencia (Mosfet).

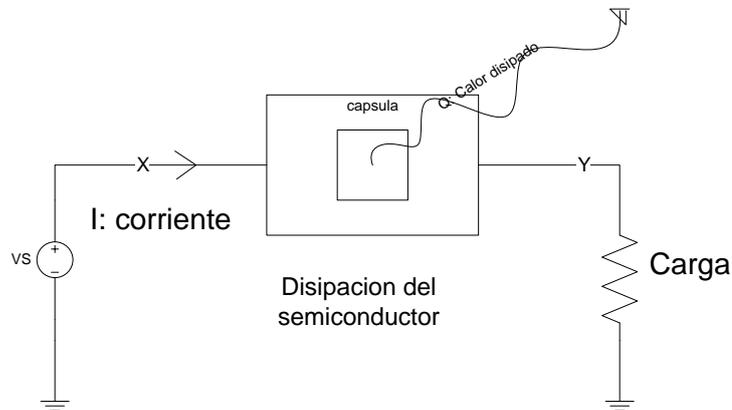


Figura 3.19: Se muestra un esquema de disipación de un semiconductor

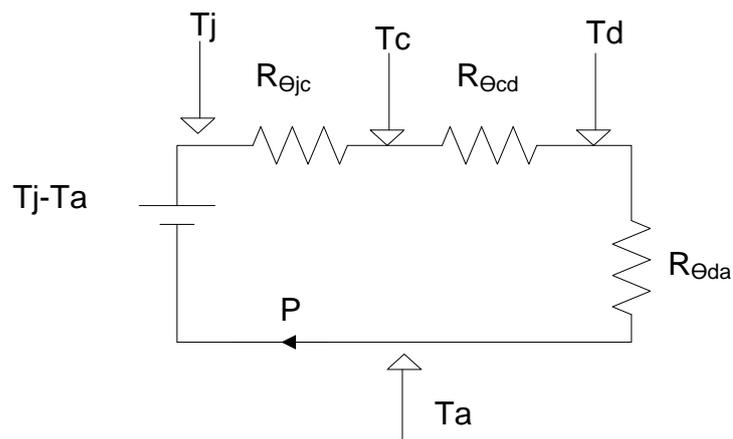


Figura 3.20: Se muestra el circuito de disipación de un semiconductor

Donde:

- P: Potencia disipada en forma de calor por el transistor.
- Tj: Temperatura de la unión semiconductor.
- Tc: Temperatura de la cápsula del transistor.
- Td: Temperatura del disipador.
- Ta: Temperatura circundante (Temperatura ambiente)
- R θ jc: Resistencia térmica entre la unión y la cápsula.
- R θ cd: Resistencia térmica entre la cápsula y el disipador.
- R θ da: Resistencia térmica entre el disipador y el aire.

Por analogía a los circuitos se puede ver que:

$$R_{total} = R_{\theta_{jc}} + R_{\theta_{cd}} + R_{\theta_{da}} \quad (3.23)$$

Análogamente a la Ley de Ohm podrá expresarse así:

$$T_j - T_a = P(R_{\theta_{jc}} + R_{\theta_{cd}} + R_{\theta_{da}}) \quad (3.24)$$

Lo que se pretende hallar es la resistencia térmica entre el disipador y el ambiente para de esta manera obtener el disipador deseado para esta aplicación. Debido a que vamos a utilizar un disipador en el exterior y vertical multiplicamos a T_{jmax} por una constante $k = 0.7$.

$$T_j = k * T_{j \max} \quad (3.25)$$

$$R_{\theta_{da}} = \frac{k * T_{j \max} - T_a}{P} - (R_{\theta_{jc}} + R_{\theta_{cd}}) \quad (3.26)$$

$T_a = 25^\circ C$ (Temperatura ambiente aproximadamente)

$T_{j \max} = 175^\circ C$ (Según hoja técnica)

Potencia máxima de disipación del Mosfet es: 6.55W, según datos proporcionados en la gráfica V_{sd} (Voltaje Surtidor-Drenador) versus I_{sd} (Corriente Surtidor-Drenador) de la hoja técnica, a una temperatura de $0^\circ C$.

La cantidad de temperatura disipada por cada uno de los elementos de circuito de disipación es:

$$R_{\theta_{da}} = \frac{0.7 * 175^\circ C - 25^\circ C}{6.55W} - (1.76C/W + 1^\circ C/W) \quad (3.26)$$

$$R_{\theta ja} = 12.12^{\circ}\text{C}/\text{W} \quad (3.27)$$

Y según la tabla de disipadores [29], se elige el disipador:



Figura 3.21: Disipador elegido para los transistores de potencia

Fuente: <http://www.aavidthermalloy.com/cgi-bin/stdisp.pl?Pnum=590302b03600g>

3.6 Protección frente a la interferencia electromagnética

Estos circuitos van a ir en una capsula localizada en el interior de la embarcación; esta tiene la propiedad de actuar como una “Jaula de Faraday”, la cual va a proteger a todos los circuitos de la interferencia electromagnética y de esta manera lograr un óptimo funcionamiento de las tarjetas, que a su vez va a influir en un mejor desempeño de la nave.

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1.1 Señal de control Digital

Como se mencionó en el capítulo anterior, el bloque de señal de control, es el control maestro de todo el sistema, el cual va a estar gobernado por el microcontrolador Atmega-8L.

Este dispositivo tiene como entradas y salidas:

Entradas

- Recepción de la señal de control, para lo cual se ha usado el pin (PD0) del microcontrolador para recibir por el puerto serial las instrucciones dadas desde una base localizada en tierra.
- Una señal digital (1 ó 0 en el terminal PD7), con el cual se va a detectar si el nivel de carga de la batería es el óptimo, en caso el nivel de la carga sea inferior al esperado se procederá a conectar el panel solar a los bornes de la batería para recargarla.
- Recepción de voltaje variable de 0 a 3.5 VDC, por parte del sensor de presencia (terminal PC0).
- Recepción de voltaje variable, en el microcontrolador secundario, de 0 a 5 VDC, por parte del sensor de temperatura (terminal PC1).

Salidas

- Conmutación de bits para la activación de inversión de giro del motor de control de la aleta, los cuales se realizará a través de los pines PD5 (horario) y PD6 (anti-horario) del microcontrolador; todo esto para controlar la aleta de dirección de la nave.

- Conmutación de bits para la activación de inversión de giro del motor de avance y retroceso de la nave; ello se realizará a través de los pines PD3 (horario) y PD4 (anti-horario).
- Conmutación de bits para el giro horario y anti-horario de la cámara de video instalada en ella, estos bits son PB6 (horario) y PB7 (anti-horario).
- También se cuenta con los pines PB1 (movimiento de la cámara de video) y PB3 (giro de los motores de la aleta y de avance y retroceso de la nave).
- Además se cuenta como salida el terminal PB5 del microcontrolador para activar o desactivar un relé para la recarga de la batería.

A continuación se muestran los resultados de la programación del microcontrolador, en el simulador Vmlab 3.14.

La trama recibida en el receptor serial del microcontrolador es de 8 bits. En esta trama los 3 primeros bits corresponden a:

- 000 : No hay movimiento
- 001 : Avance de la nave
- 010 : Retroceso de la nave
- 011 : Movimiento hacia la izquierda (45°)
- 100 : Movimiento hacia la izquierda (90°)
- 101 : Movimiento hacia la derecha (45°)
- 110 : Movimiento hacia la derecha (90°)
- 111 : Movimiento de la cámara de video (30°)

Los 3 siguientes bits corresponden a la velocidad de la nave en caso de avance o retroceso; siendo estos los únicos que lograrán cambiar la velocidad del motor, para

los otros casos se tomara una PWM con un *Duty Cycle* del 50%. El porcentaje de *Duty Cycle* para cada uno de los valores es el siguiente:

- 000 : 15.68%
- 001 : 31.37%
- 010 : 49.80%
- 011 : 66.67%
- 100 : 82.33%

Y el séptimo bit corresponde al movimiento horario o anti-horario del motor que va a dar movimiento a la cámara de video.

El octavo bit corresponde a la cabecera, lo cual permitirá una menor probabilidad de error, al recibir la trama.

En el simulador se tiene un panel de control y un osciloscopio, el cual se muestra en la siguiente figura:

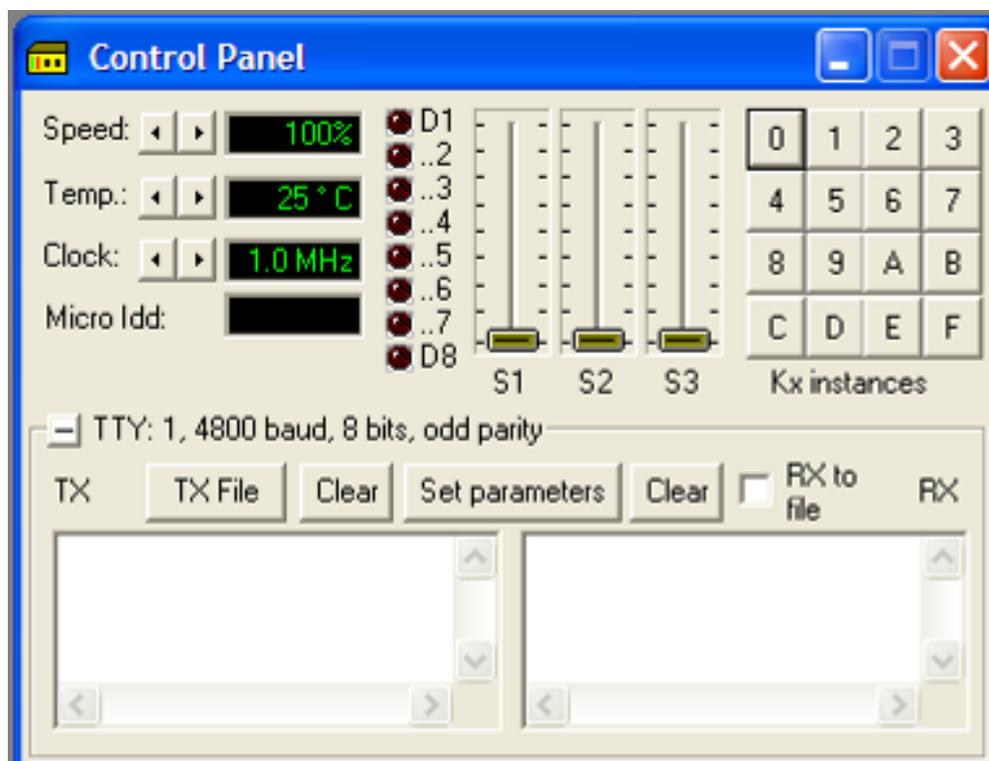


Figura 4.1: Se muestra el Panel de Control del simulador Vmlab

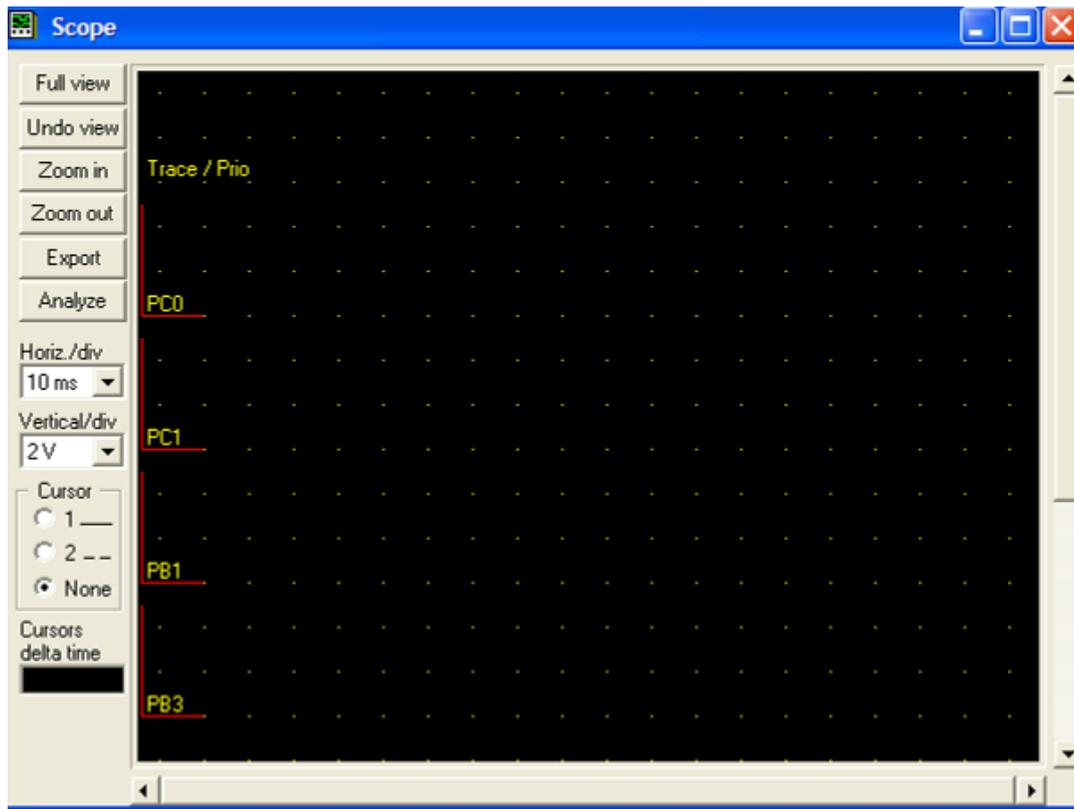


Figura 4.2: Se muestra el osciloscopio del simulador Vmlab

En la figura 4.1, se muestran las salidas del microcontrolador, los cuales están dados de la siguiente manera:

- D1 PB5 Activación o desactivación del circuito cargador de la batería
- D2 PD3 Movimiento horario del motor de avance y retroceso de la nave
- D3 PD4 Movimiento anti-horario del motor de avance y retroceso
- D4 PD5 Movimiento horario del motor de giro de la aleta
- D5 PD6 Movimiento anti-horario del motor de giro de la aleta
- D6 PB6 Movimiento horario del motor de la cámara
- D7 PB7 Movimiento anti-horario del motor de la cámara

También se encuentra la ventana de transmisión de datos (parte inferior izquierda) para la simulación de la transmisión serial.

Y además se aprecia en la parte superior derecha la presencia S1, S2 y S3, los cuales se utilizan para simular el conversor AD del microcontrolador. Para este caso en particular solo se utilizará S1 y S2.

Y en la figura 4.2 se muestra el osciloscopio, en la cual se muestran las siguientes salidas:

PC0, corresponde al conversor AD del microcontrolador, el cual se utiliza para detectar el nivel de voltaje que tiene como salida el sensor de temperatura.

PC1, también utilizada como conversor AD y es utilizada para medir el voltaje correspondiente al sensor infrarrojo para la detección de algún objeto cercano.

PB1 usada para controlar la velocidad del motor de movimiento de la cámara.

PB0 utilizada para controlar la velocidad de los motores de avance y retroceso y de movimiento de la aleta de dirección respectivamente.

4.1.2 Simulación

4.1.2.1 No hay movimiento

Se escribe el caracter “h”, que corresponde al código binario 1101000, en los cuales los tres primeros bits corresponden a la acción a realizar, en este caso: No hay movimiento.

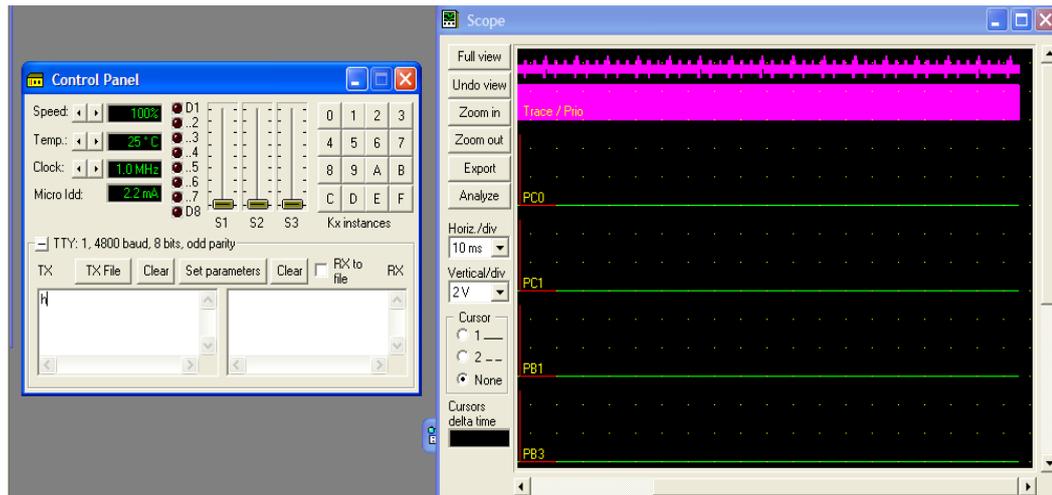


Figura 4.3: Simulación no hay movimiento

En la figura 4.3, se observa que cuando se escribió el caracter, no mostró variación en ninguna de las salidas.

4.1.2.2 Avance

Se escribe el caracter “Q” que en binario representa “01010001”, de la cual se extrae la información de que se desea un avance de la nave y la PWM con un *Duty Cycle* de 49.80%

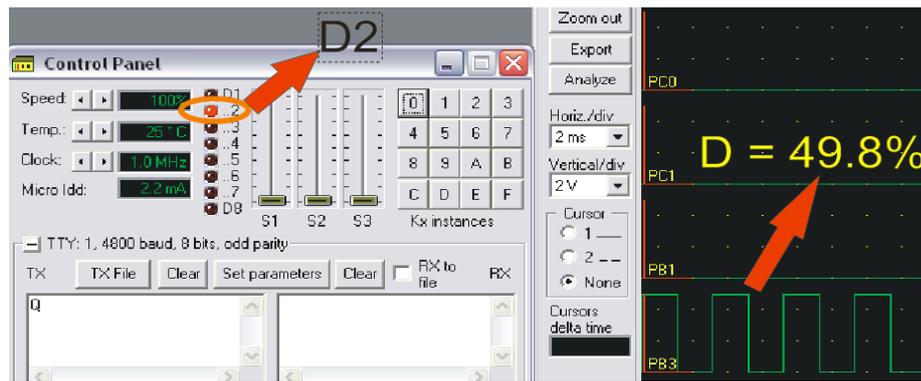


Figura 4.4: Simulación del control para el avance de la nave

En la figura anterior se observa que por el terminal PB3 se genera una PWM con aproximadamente el 50% de *Duty Cycle* y que además se activa el bit PD3 (D2) que permite el giro del motor para el avance de la nave.

4.1.2.3 Retroceso

Se escribe el caracter “R”, que corresponde al número binario “01010010”, con la cual se desea que el motor gire en sentido inverso, para producir el retroceso de la nave.

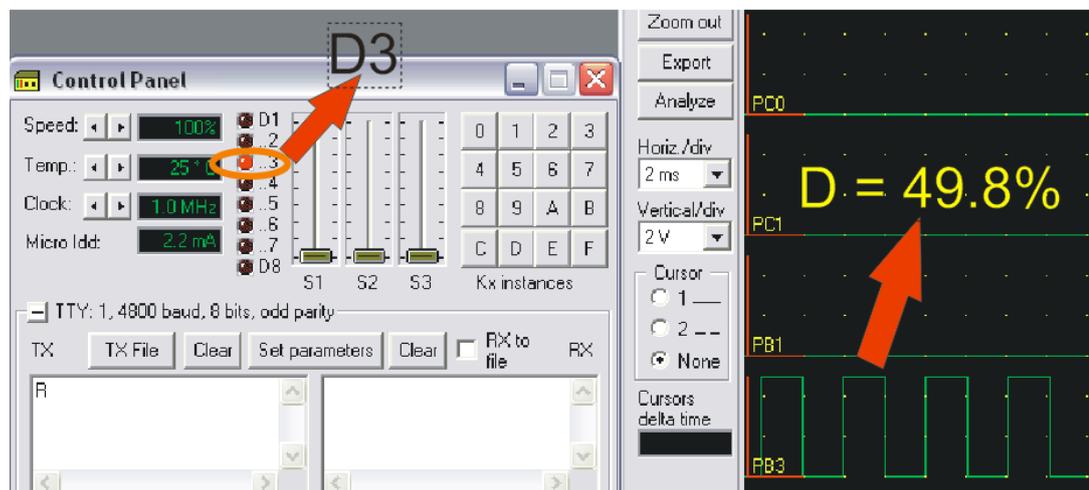


Figura 4.5: Simulación del control para el retroceso de la nave

En la figura 4.5, se muestra que se genera una PWM con un *Duty Cycle* del 49.80% por PB3 y además se activa el bit correspondiente a PD4 (D3).

4.1.2.4 Izquierda

Se escribe el caracter "S" que es el número en binario "01010011", con lo cual se requiere que la nave gire en un ángulo de 45 grados sexagesimales, en sentido horario y que al final detenga su movimiento.

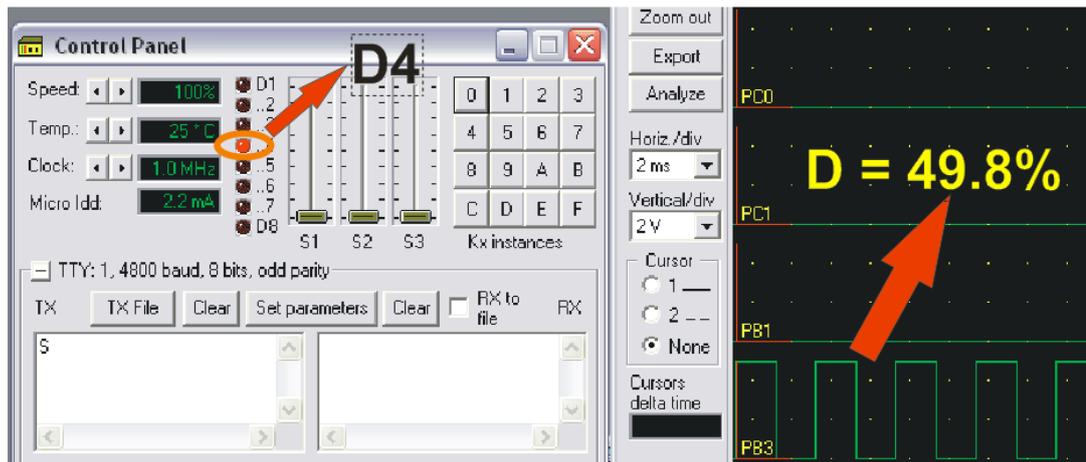


Figura 4.6.a: Simulación del control para el giro del motor de la aleta

En la figura 4.6.a, se observa que se acciona el terminal PD5 (D4), que permite el accionamiento del giro del motor de la aleta de dirección, este motor gira en sentido horario; y además se controla la velocidad con PWM a un Duty Cycle del 50%.

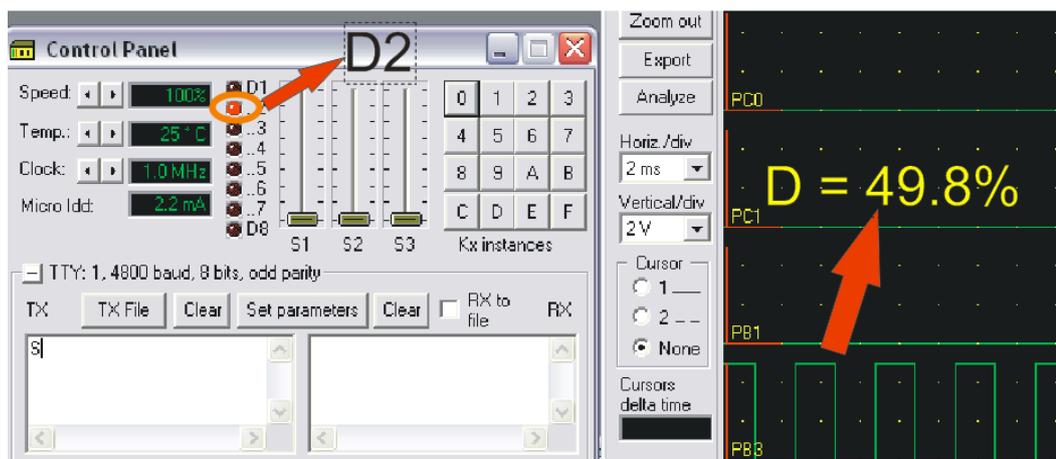


Figura 4.6.b: Simulación del control para el giro de la nave en 45°

Se muestra, en la figura anterior, que se desactiva PD5 para activar el bit PD3 (D2), correspondiente al giro en sentido horario para el avance de la nave, esto se hace hasta que el barco llegue hasta la posición deseada.

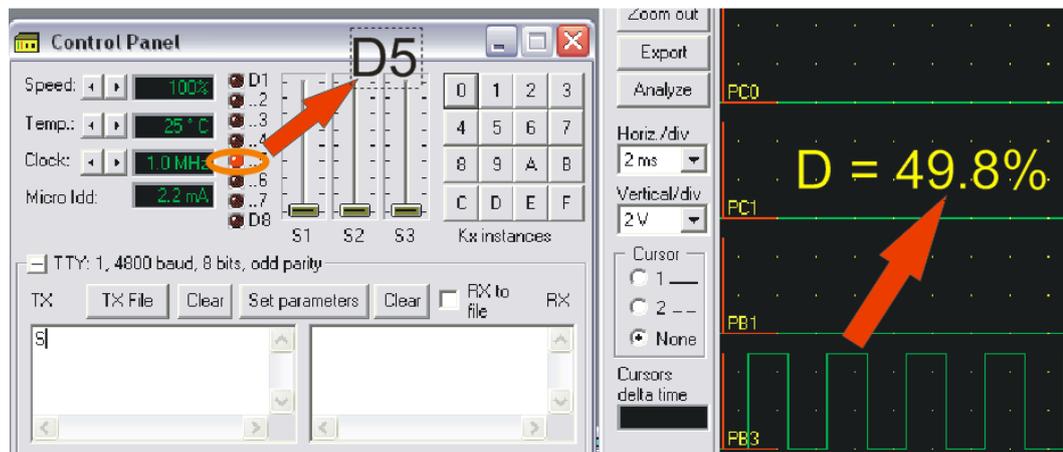


Figura 4.6.c: Simulación del movimiento de la aleta en sentido anti-horario (Posición inicial)

Luego se procede a mover la aleta de dirección en sentido contrario activando PD6, una vez que la nave esté en la posición deseada, como se muestra en la figura 4.6.c. Este señal (PWM) se emite hasta que la aleta haya llegado a la posición deseada.

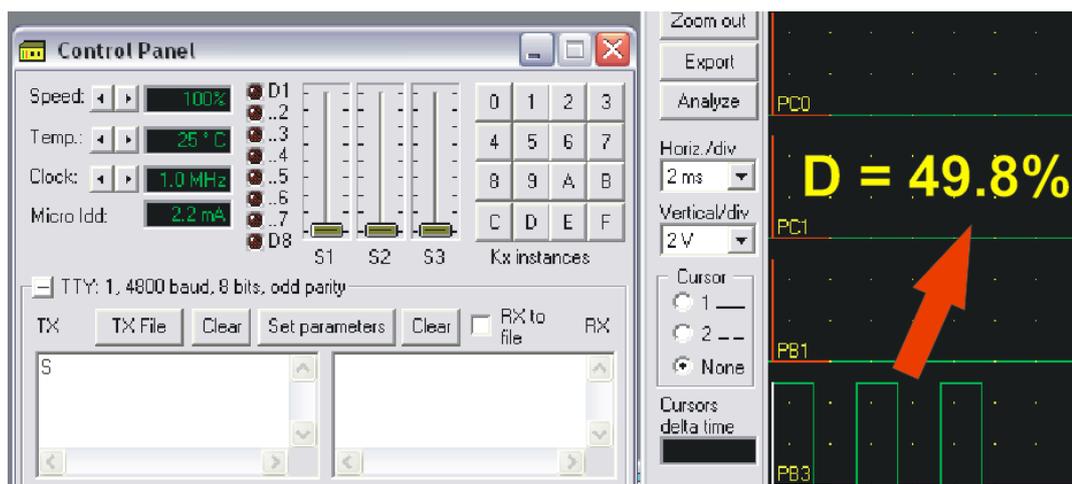


Figura 4.6.d: Fin del control (La nave en posición deseada)

En la figura anterior, se muestra que una vez que la aleta ha llegado a su posición inicial se procede a desactivar el movimiento de los motores y además se muestra como la señal generada por PB3 se establece en nivel bajo.

El proceso de espera de tiempo para que la aleta llegue a la posición deseada y el tiempo en el que la nave gire a la posición deseada, se realiza a través de pruebas calculando el tiempo que demora mover la aleta a la posición deseada y también al hacer mover a la nave, hasta que llegue al ángulo de giro deseado.

Este procedimiento para el giro a 90°, es similar al de giro de la nave en 45°, solo que con un tiempo de espera mayor, debido a que necesita mayor tiempo en el movimiento de los motores para llegar a mover la aleta y la nave a la posición deseada.

El procedimiento para el giro de la nave hacia la derecha en 45° y 90°, se realiza de la misma manera que para el movimiento hacia la izquierda. En este caso se activará el bit PD6 (D5), para mover la aleta a la posición deseada; a continuación se desactiva PD6 y activa PD3 (D2) para mover la nave en la dirección deseada; luego se activa PD5 (D4) para mover la aleta a su posición inicial, luego de haber desactivado PD3.

4.1.2.5 Movimiento de la cámara de video

Para dar la instrucción movimiento de la cámara escribiremos en el simulador de Vmlab la letra "W", que corresponde al número binario "01010111", con lo cual se indica que se requiere mover la cámara en sentido anti-horario.

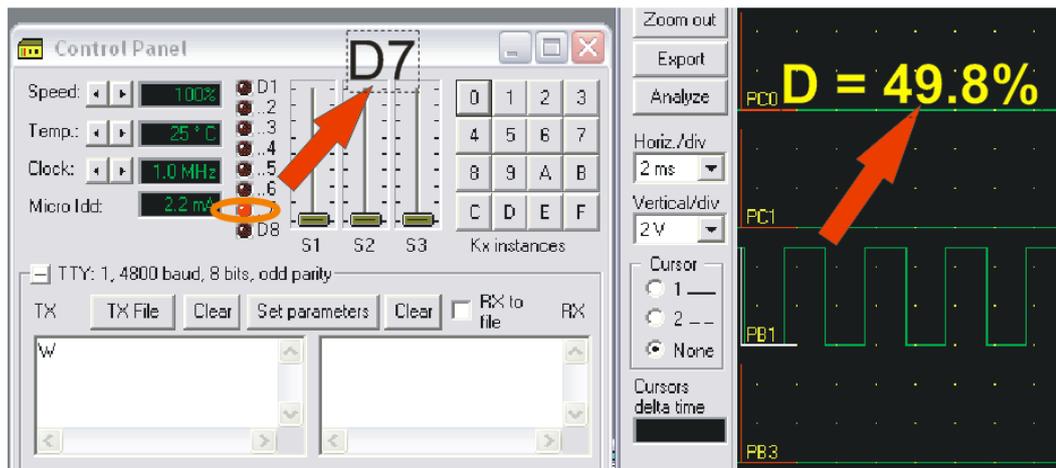


Figura 4.7.a: Simulación del control para el movimiento de la cámara de video

Como se muestra en la figura anterior se genera una onda por el puerto B (PB1), que corresponde a la PWM que va a controlar la velocidad de giro del motor de movimiento de la cámara de video; en la figura también se puede apreciar que se activa el terminal PB7 (D7), que permite activar en giro del motor en sentido anti-horario.

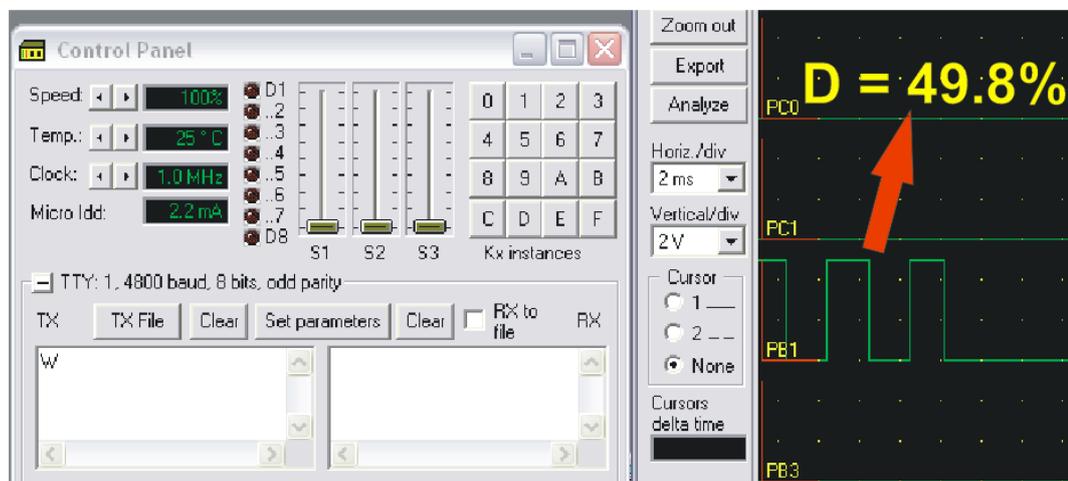


Figura 4.7.b: Fin del control para el movimiento de la cámara (Cámara en posición deseada)

En la figura anterior se muestra que el generador de onda establece la señal en nivel bajo para desactivar el movimiento del motor y además se observa que el terminal PB7 se ha desactivado.

El movimiento de la cámara de video en sentido horario es análogo al anterior, para ello se procede a activar el PB6 (D6); para luego desactivarlo, cuando la cámara haya llegado a la posición deseada.

El movimiento de la cámara de video a la posición requerida se lleva a cabo mediante un tiempo; este tiempo se obtiene realizando pruebas.

4.1.2.6 Lectura y grabación de la temperatura

Como ya se mencionó anteriormente S1 y S2 del panel de control se utilizan para simular el conversor ADC. Para el caso específico de leer el valor de temperatura se utiliza S2, con lo cual se aumenta o disminuye el nivel de voltaje a la entrada en el conversor AD. En el microcontrolador se encuentra grabada una subrutina que permite hacer la conversión de este valor de voltaje a temperatura y la subrutina de grabación en la memoria EEPROM.

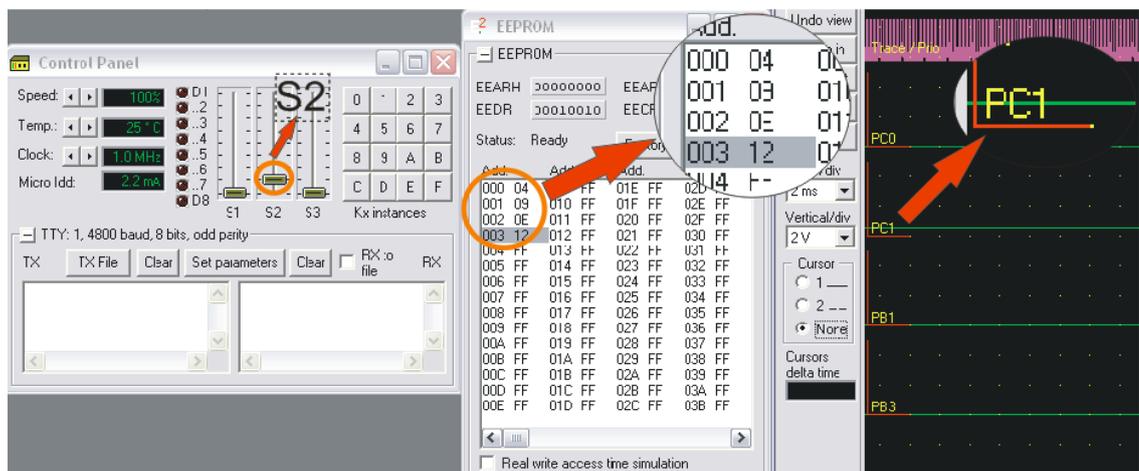


Figura 4.8.a: Simulación registro de temperatura en la EEPROM

En la figura 4.1.2.6.a, se muestra que el valor de voltaje, en el terminal PC1, es mayor que cero voltios, por lo que en la memoria EEPROM se ha grabado el número 12 (sombreado de azul) en hexadecimal, que corresponde al valor "17" en decimal; este es el valor de temperatura en grados centígrados, que se obtuvo como resultado de la transducción. Cabe mencionar que en el osciloscopio del simulador se muestra la variación de voltaje en PC1.

En la siguiente figura se muestra detalladamente cada uno de los valores grabados en la memoria EEPROM del microcontrolador.

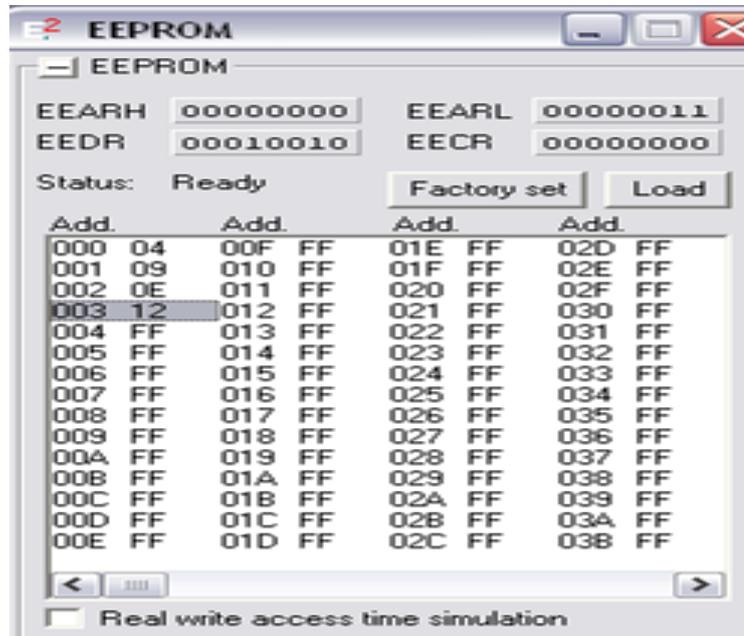


Figura 4.8.b: Muestra los valores de temperatura, almacenados en la simulación

En la figura anterior, se muestra que el microcontrolador ha grabado en su memoria no volátil cuatro valores de temperatura, correspondiente a 4, 11, 15 y 19 (estos datos están en hexadecimal), que corresponden a valores de temperatura en decimal de: 4, 15, 21 y 25 grados centígrados. El nivel de voltaje en PC0, ha sido variado con anterioridad para lograr los valores de temperatura anteriores a 19 (hexadecimal).

En esta simulación se redujo el tiempo de grabación de temperatura para que pueda observarse la variación de esta, más rápidamente.

4.1.2.7 Sensor de presencia

Como se mencionó en el capítulo anterior para detectar la presencia de un objeto se utiliza un emisor y receptor infrarrojo. Este sensor tiene como salida una señal de voltaje (VDC) el cual va a uno de los puertos del microcontrolador. Esta señal de voltaje, en el simulador, es representada por "S1" en el panel de control. Una vez

que se detecta la presencia de un objeto se activa PB0 (D8). El proceso de activación o desactivación de PB0 se representa en las siguientes figuras:

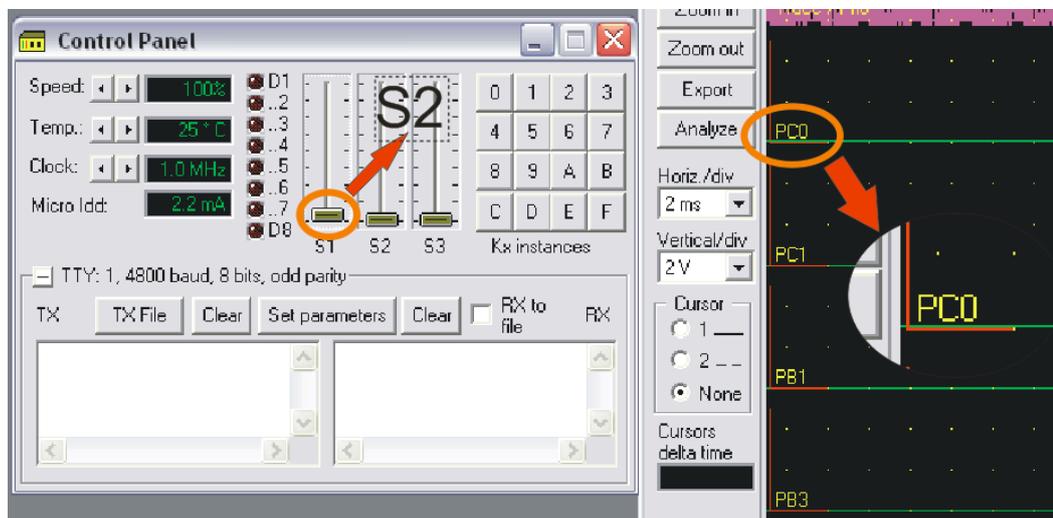


Figura 4.9.a: Simulación del Sensor de presencia (No hay objeto cercano)

En la figura anterior se muestra que el voltaje de llegada no es el adecuado como para activar PB0, el cual indica que no se ha detectado la presencia de algún objeto.

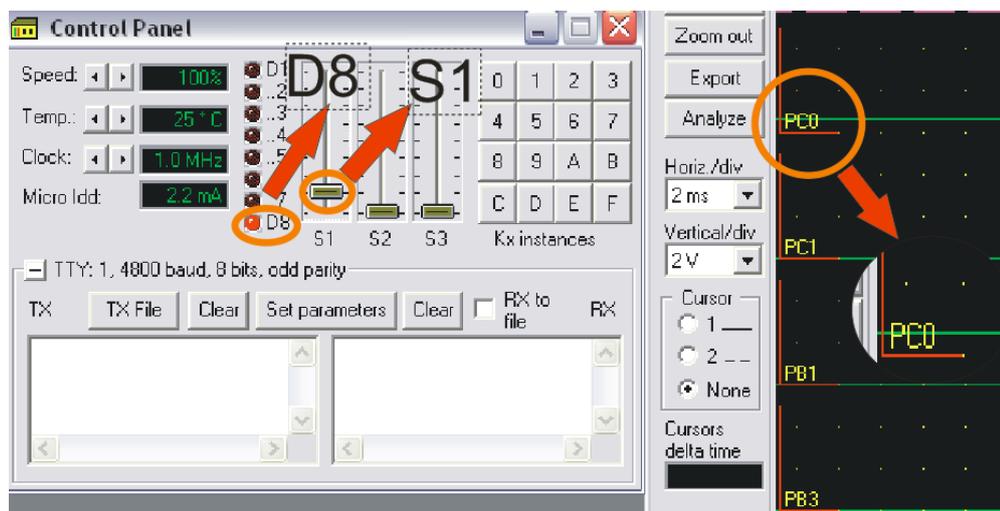


Figura 4.9.b: Simulación del control para el sensor de presencia (Hay objeto cercano)

En esta figura se muestra el terminal PB0 (D8) se encuentra activo, lo cual indicará la presencia de algún objeto cercano.

4.1.2.8 Detector de carga de la batería

Para activar el nivel de carga de la batería se necesita una señal que indique que la batería se encuentra en nivel bajo por lo que en el simulador Vmlab se utilizará un interruptor representado como "K0". Cuando el nivel de carga se encuentra por debajo del límite permitido se activará el terminal PB5 (D1), y en caso la batería se encuentre por encima de este límite se desactivará PB5. Este proceso se muestra en las siguientes figuras respectivamente.

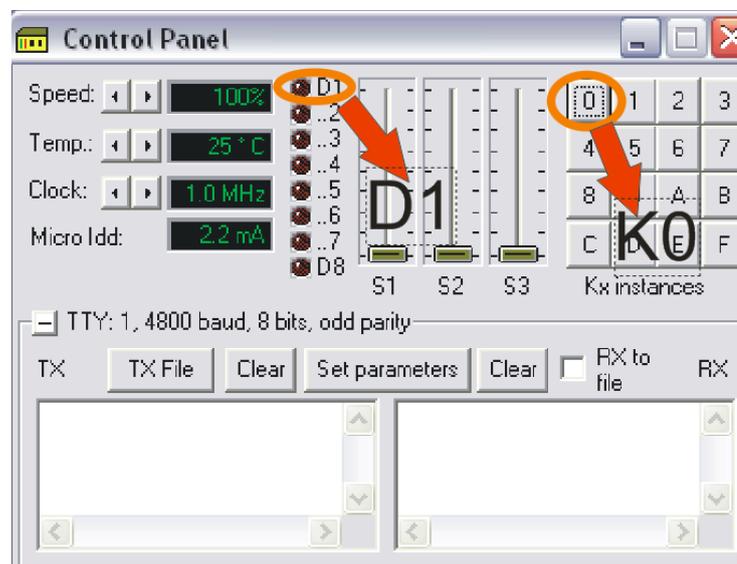


Figura 4.10.a: Simulación Control de carga de la batería (Batería cargada)

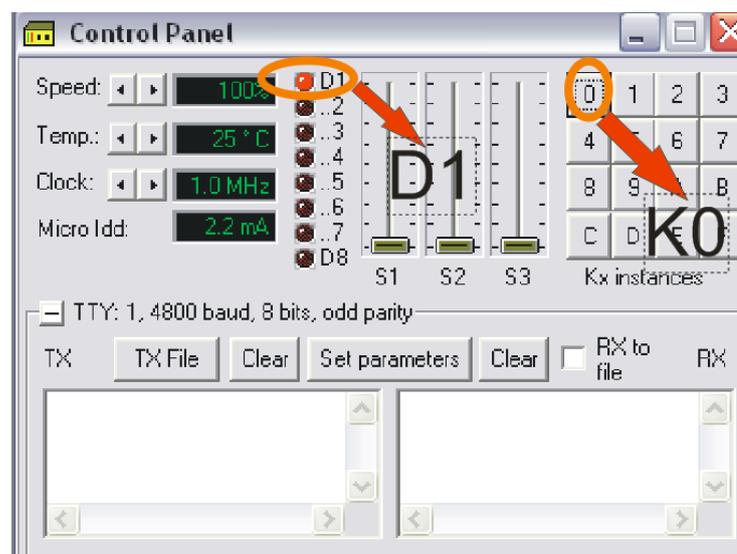


Figura 4.10.b: Simulación control de carga de la batería (Batería descargada)

4.2 Electrónica de Potencia

Este circuito funcionó correctamente, con el programa de control grabado en el microcontrolador, se logró variar la velocidad tanto en el avance como en el retroceso de la nave. Además se logró la inversión de giro de cada uno de los motores. También se logró ejecutar las tareas de movimiento hacia la izquierda y derecha de la nave (la prueba se hizo sólo con los motores; mas no se utilizó el prototipo de prueba), para ello el microcontrolador conmutó el flujo de corriente eléctrica por dos circuitos puente H, logrando mover los motores de movimiento de la aleta y avance de la nave.

También se logró el buen funcionamiento del motor de movimiento de la cámara, el cual, comandado por el microcontrolador, produjo el giro del motor por un cierto periodo; este giro fue en sentido horario y anti-horario.

Cabe mencionar que el circuito de protección bastado en compuertas lógicas "XOR", funcionó perfectamente; con esta se logró el giro del eje del motor, primero en sentido horario y luego en sentido antihorario; cuando intencionalmente se daba la señal en la que se pedía a la tarjeta que active el movimiento del motor en ambos sentidos (al mismo tiempo), el circuito de protección activó sólo un sentido de giro.

A continuación se muestra una imagen en la que se resalta el funcionamiento de la tarjeta de movimiento de la nave y otra para el movimiento de la cámara; a cada uno de los motores se le proporciona un voltaje cercano a 12 VDC, para su funcionamiento. Las demás imágenes se mostrarán en los anexos.

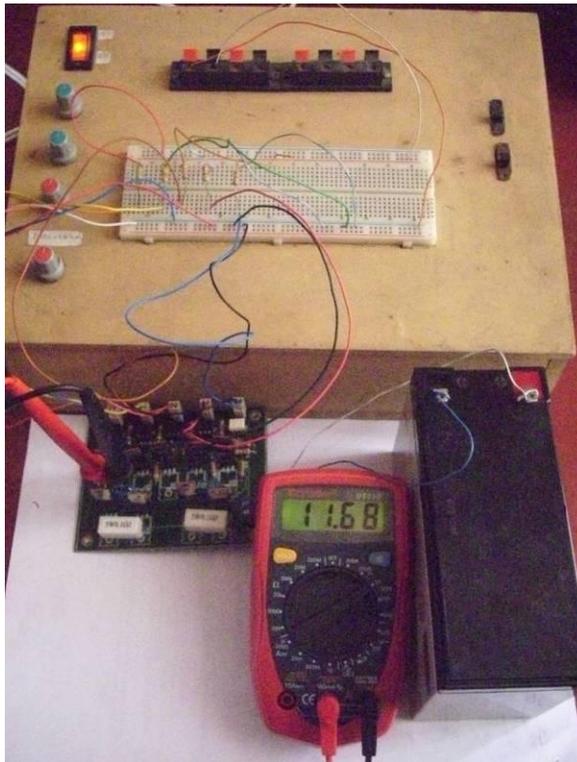


Figura 4.11: Se muestra el funcionamiento de la tarjeta para la locomoción de la nave

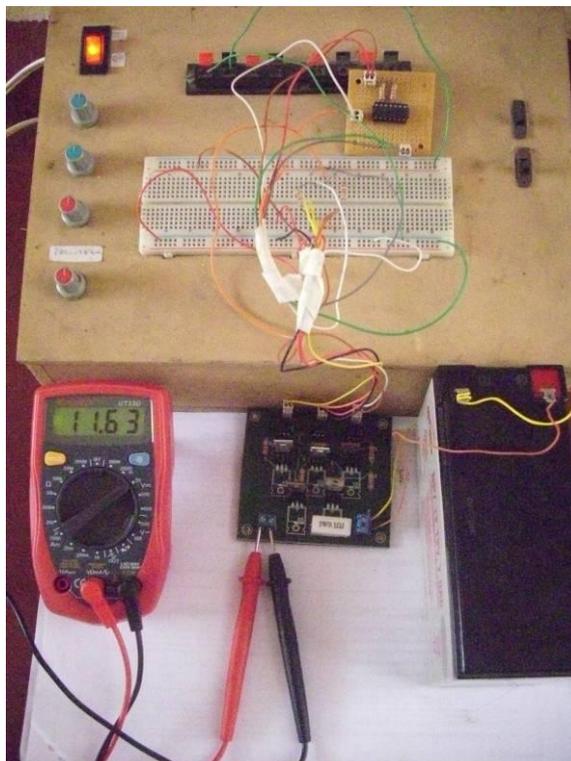


Figura 4.12: Se muestra el funcionamiento de la tarjeta para el movimiento de la cámara de video con el circuito de protección

4.3 Conversor DC-DC

En el conversor DC-DC se obtuvo la señal deseada de aproximadamente 5 voltios; además, como se dijo en el capítulo anterior: “A partir de este circuito se obtendrán dos referencias”, para separar eléctricamente los dispositivos de la parte de electrónica digital con los de la parte de electrónica de potencia, la cual trabaja con corrientes que no son capaces de soportar los dispositivos de electrónica digital.

En la figura 4.13 se muestra el circuito y el valor indicado en el multímetro, el cual llega a un valor de 4.96 voltios DC. En el transformador, el número de vueltas en el primario y secundario fue 100 y 100 respectivamente. Con este nivel de voltaje ya es posible alimentar al microcontrolador ya que se realizó pruebas con un pequeño motor que funcionaba con 1A de corriente. A continuación se muestra el voltaje en la salida del conversor DC.

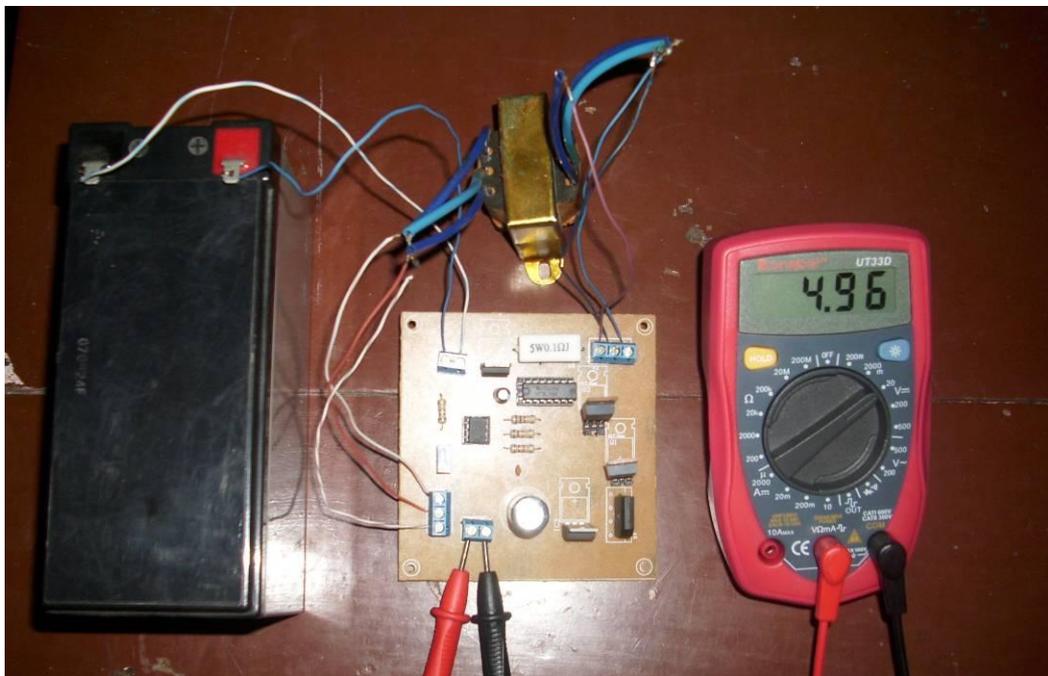


Figura 4.13: Muestra el funcionamiento del conversor DC DC

4.4 Cargador de batería

Este circuito funcionó correctamente; el relé conmutó y conectó el polo positivo del panel con el polo positivo de la batería. La referencia que se introdujo fue de 4.96 voltios. Cuando en el divisor de voltaje se obtenía un nivel menor a 4.96 voltios el comparador tenía en su salida un voltaje de 5 voltios, y cuando el voltaje en el divisor era mayor que la referencia, en la salida del comparador un nivel bajo de voltaje y, a su vez, el microcontrolador respondió correctamente, este conectaba la salida del panel solar con el polo positivo de la batería a través del relé. A continuación se muestra una imagen correspondiente en la que se muestra la salida del comparador y la señal que irá al microcontrolador cuando la batería se encuentre cargada; los demás estados se mostrará en los anexos.

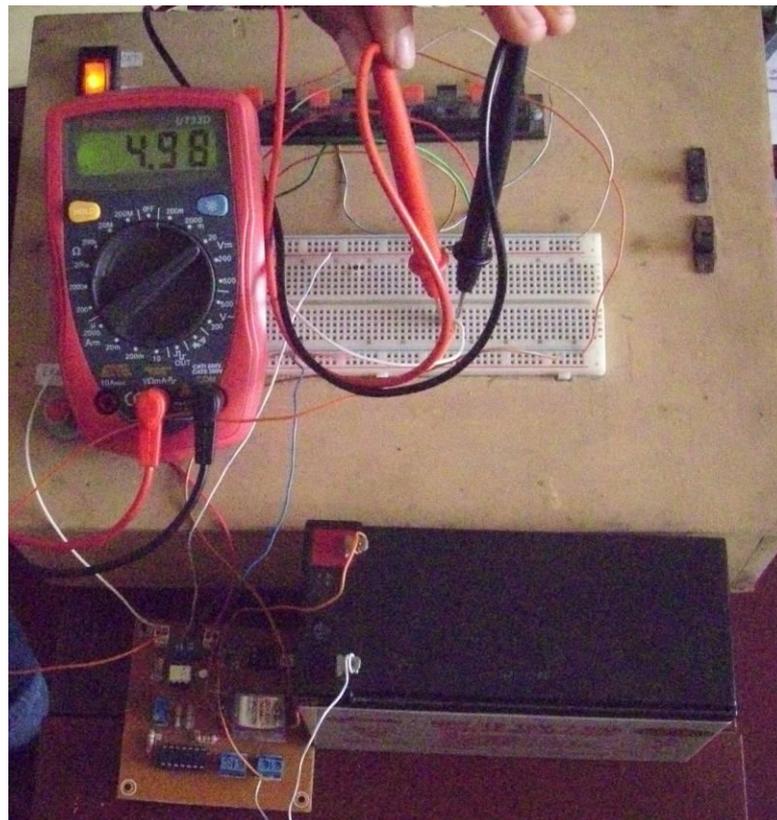


Figura 4.14: Tarjeta del cargador de batería

4.5 Sensor de presencia

Como se mencionó anteriormente para detectar la presencia de un objeto inmóvil o en movimiento se utilizó el sensor de presencia “GP2Y0A21YK0F”, el cual se alimentó a una fuente de 5 voltios y en la salida se obtuvo una señal DC con un valor de voltaje de menor magnitud; a continuación se detallan los resultados tomados al realizar las pruebas con distintos materiales:

- Papel blanco (210mm, 297mm): Se obtuvo un voltaje de 340mV a una distancia de 80 cm y además se observó que el sensor lograba funcionar hasta una distancia de 3 metros con un voltaje de salida de 240mV.
- Cartón (210mm, 297mm): A 80 cm. del sensor, se obtuvo un voltaje de 320mV; con este material solo se llegó a detectar hasta una distancia de 1,16 metros con un voltaje promedio de 270mV.
- Material sólido: A 80 cm. se obtuvo un voltaje de 540mV y se obtuvo un voltaje en la salida de 330mV a una distancia de 2.23 metros.

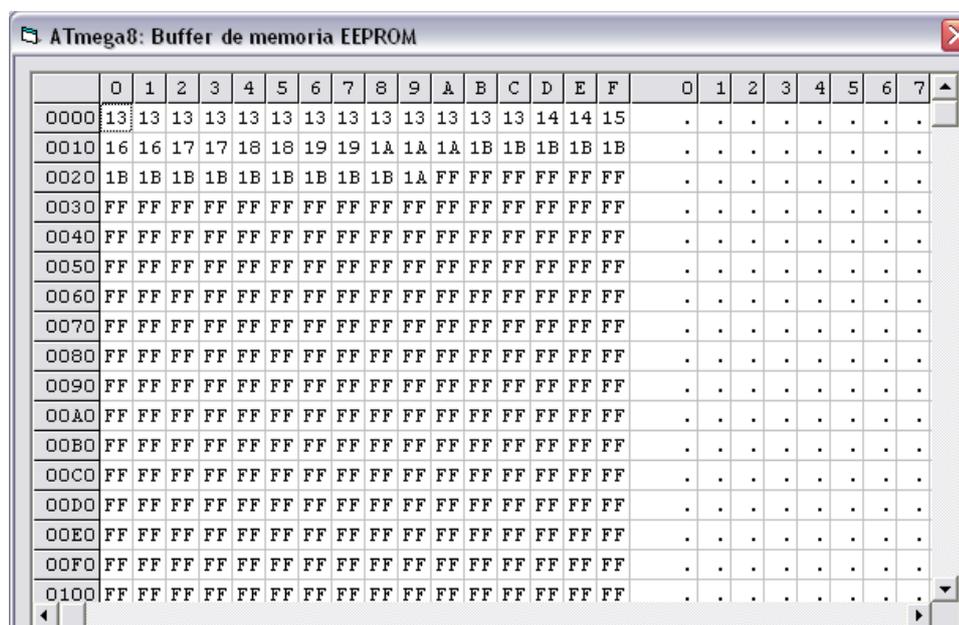
A continuación se muestra una de las pruebas hecha a 80 cm del sensor utilizando papel blanco.



Figura 4.15: Prueba del sensor a una distancia de 80cm, utilizando papel blanco

4.6 Grabación de la temperatura

Utilizando el sensor de temperatura LM35, y a través del microcontrolador secundario, se logró grabar los valores de temperatura en periodos de 10 segundos y almacenarlos en la memoria EEPROM del Atmega8L. Para la lectura de la memoria EEPROM se utilizó el programa “AVRPUCP”; estos valores obtenidos se muestran en la siguiente figura.



The screenshot shows a window titled "ATmega8: Buffer de memoria EEPROM". It displays a grid of memory addresses and their corresponding values. The first row (0000) contains the values 13, 13, 13, 13, 13, 13, 13, 13, 13, 13, 13, 13, 13, 14, 14, 15. The subsequent rows (0010 to 0100) contain values in hexadecimal format, mostly FF, with some 1B values in the first few rows. The values represent temperature readings stored in the EEPROM.

Address	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	0	1	2	3	4	5	6	7
0000	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	14	14	15
0010	16	16	17	17	18	18	19	19	1A	1A	1A	1B	1B	1B	1B	1B
0020	1B	1A	FF													
0030	FF															
0040	FF															
0050	FF															
0060	FF															
0070	FF															
0080	FF															
0090	FF															
00A0	FF															
00B0	FF															
00C0	FF															
00D0	FF															
00E0	FF															
00F0	FF															
0100	FF															

Figura 4.16: En esta figura se muestran los valores de temperatura leídos de la memoria EEPROM del ATMEGA8L

5. Costo de implementación

Para la implementación de la electrónica de control de todo el sistema se tuvieron en cuenta los siguientes costos especificados en la siguiente tabla.

Tabla 5.1: Se muestra el precio de cada uno de los dispositivos utilizados y la mano de obra

Descripción de los componentes	Costos (S/.)
Motores (3 unidades)	300
Panel Solar	1600
Batería 7AH	100
Sensor de Presencia	70
Tarjeta de Control Digital	25
Tarjeta de potencia movimiento de la nave	40
Tarjeta para movimiento de la cámara	35
Tarjeta conversor DC DC	35
Tarjeta de carga de la batería	30
Atmega-8L	15
Costo aproximado del chasis	2000
Dispositivos de potencia	60
Mano de Obra	5000
Total	9310

CONCLUSIONES:

- El uso de robots tele-operadores para recopilar datos climáticos reducirá enormemente el gasto que actualmente se destina para ello; además el efecto contaminante se reducirá, debido al uso de energía limpia para poner en funcionamiento al robot tele-operador.
- El circuito de control de motores en base a la configuración “Puente H”, logró a cabalidad el control de los motores DC para el avance, movimiento de la aleta y movimiento de la cámara de video.
- Mediante la utilización de un sensor de temperatura LM35, para detectar la temperatura, se logró almacenar datos en la memoria no volátil del microcontrolador secundario (EEPROM). Estos datos fueron grabados cada un minuto (para acelerar el proceso); a su vez fueron leídos a través de un computador utilizando para ello el programa “AVRPUCP”.
- Por intermedio del sensor infrarrojo “GP2Y0A21YK0F”, se logró detectar objetos hasta una distancia de 3 metros, utilizando papel blanco; contrariamente a la limitación impuesta por la hoja de datos.
- Mediante el transformador con relación del número de vueltas de 100 a 100 y un regulador de voltaje a cinco voltios (7805), se logró obtener a la salida del conversor DC-DC un voltaje de 4.96 voltios, se separaron eléctricamente las señales de voltaje obteniendo un nivel de referencia distinta para cada lado.
- Utilizando el regulador de voltaje (7812), el cual proporciona un voltaje de 12 voltios DC a la salida, para efectos de prueba se logró recargar a la batería con un paso de corriente de 50 mA.
- Utilizando el circuito de control digital, se logró a cabalidad el funcionamiento de todas las etapas del sistema de navegación para la locomoción de la nave; así como el control del circuito cargador de batería.

RECOMENDACIONES:

- Para conmutar la activación de una rama del circuito con configuración “Puente H”, es necesario esperar un tiempo de desactivación de los transistores Mosfet que están en funcionamiento en el circuito.
- Para lograr la inversión de giro de los motores es importante introducir un retardo; con lo cual se espera que el motor se detenga para recién polarizar adecuadamente al motor y así lograr la inversión de giro sin dañar la vida útil del motor.
- Para la construcción del conversor DC DC, es recomendable el uso de un transformador toroidal; ello debido a que con un núcleo toroidal, se logra mayor eficiencia que con el transformador común; el único inconveniente es que es muy difícil de implementar.
- Es recomendable colocar disipadores en cada uno de los Mosfet de Potencia, pues con ello se garantizaría un mayor tiempo de funcionamiento y del sistema en general.
- El programa de control Digital se elaboró en Vmlab con el compilador del lenguaje de programación C++, ello debido a que es más fácil de entender por el usuario o por cualquier persona que desee añadir algunas mejoras en la programación; pero es recomendable elaborarlo en lenguaje ensamblador debido a que se administra con mayor eficiencia los recursos del microcontrolador Atmega8-L.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Mitchel Ibarra Acosta, John Hoyle Cosentino, Jose Samame Blas,
2000 Roberto Ingunza Montero
Sonda Acústica Multipropósito
Pontificia Universidad Católica del Perú
- [2] Bárbara Álvarez, Francisco Ortiz, Juan A Pastor, Pedro Sánchez, Fernando
Losilla, Noelia Ortega.
2006 Arquitectura para Control de Robots de Servicio Teleoperador.
Universidad Politécnica de Cartagena
- [3] Julio Tafur Sotelo
1998 Control adaptativo de un motor DC en paralelo empleando linealización por
Realimentación. Pp. 11 – 19
Pontificia Universidad Católica del Perú
- [4] Mark Bodson
1986 Nonlinear adaptative control of a shunt DC Motor
Department of electrical and computer engineering. Pittsburg, PA.
- [5] TIMOTHY J. MALONEY and Fernando L. Alvarado
1976 “A Digital Method for DC motor speed control”
Industrial Electronics and Control Instrumentation

- [6] Amit Dhariwal and Gaurav S. Sukhatme
2007 Experiments in Robotic Boat Localization
Department of computer Science, University of Southern California
- [7] Jose M. Girón-Sierra, Joaquín Recas, Segundo Esteban, J.M. de la Cruz
2004 Monitorización y Control de un Ferry de Alta Velocidad Utilizando Sistemas
Distribuidos.
Universidad Complutense de Madrid
- [8] Chapman, Stephen J.
1987 Máquinas eléctricas, Bogotá
McGraw-Hill
- [9] Vargas Machuca Saldarriaga, Federico,
1997 Máquinas eléctricas rotativas, México, D.F
Prentice-Hall
- [10] MUHAMMAD H. RASHID,
2001 POWER ELECTRONICS HANDBOOK, EE.UU, Canada
Industrial Electronics
- [11] DORF - SVOBODA,
2003 Circuitos Eléctricos 5ª Edición, Mexico
Alfaomega
- [12] Stallings William,
1996 Organización y arquitectura de Computadoras, Madrid
Prentice Hall

- [13] Barnett, Richard
2003 Embedded C programming and the Atmel AVR
Clifton Park, NY: Delmar
- [14] FLOYD, TL.
1997 Fundamentos de sistemas digitales.
Madrid: Prentice Hall
- [15] Sears, Francis W.
2004 Física universitaria
México, D.F.: Pearson
- [16] Hugo Pratt,
2006 Separatas del Curso Sistemas digitales.
Pontificia Universidad Católica del Perú
- [17] Control de velocidad para motores DC por modulación de ancho de pulso.
2008 <http://www.frino.com.ar/motores.htm>
Motores Eléctricos
- [18] Control de motores de CC por medio de puente H
2008 http://robots-argentina.com.ar/MotorCC_PuenteH.htm
Robots
- [19] Control de motores de CC por Ancho de Pulso (PWM)
2008 http://robots-argentina.com.ar/MotorCC_ControlAncho.htm
Robots

- [20] Ismail Rebah Bouaiachi
2008 <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20091221IsmailRebah.pdf>
Universidad Autónoma de Madrid
- [21] MCU Module
2008 <http://www.addlink.es/productos.asp?pid=590>
ADDLINK
- [22] IMARPE
2008 <http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/embarcaciones.php>
Instituto del Mar del Perú
- [23] SENAMHI
2008 <http://www.senamhi.gob.pe/>
Servicio Nacional de Metereología e Hidrología en el Perú
- [24] Hoja de datos del Mosfet IRF540
2003 <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/stmicroelectronics/9387.pdf>
STMicroelectronics
- [25] Hoja de datos del Mosfet IRF9540
2002 <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/IRF9540.pdf>
Fairchild Semiconductor
- [26] Hoja de datos del Opto-acoplador 4N35
2002 <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/4N35.pdf>
Fairchild Semiconductor

- [27] Hoja de datos Compuerta XOR 74LS86
2000 http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/70/375722_DS.pdf
Fairchild Semiconductor
- [28] Hoja de datos Atmega8L
2006 http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf
Atmel
- [29] Hoja de datos NE555
2003 http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/NE_SA_SE555_C_2.pdf
Philips Semiconductor
- [30] Tabla de disipadores
2009 <http://www.aavidthermalloy.com/cgi-bin/stdisp.pl?Pnum=590302b03600g>
AAVID THERMALLOY
- [31] iRobot Seaglider
2010 http://www.irobot.com/filelibrary/pdfs/gi/robots/iRobot_Seaglider.pdf
iRobot
- [32] Phoenix
2010 http://www.nasa.gov/pdf/226508main_phoenix-landing1.pdf
NASA