

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DESARROLLO DE UN CONTROL ELECTRÓNICO PARA
UN SUBMARINO ELÉCTRICO EXPERIMENTAL**

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

MARCIAL ADOLFO VÁSQUEZ HERRERA

ASESOR: Ing. Juan Jorge Gonzáles Tello

Lima, Marzo del 2011

RESUMEN

Actualmente en el Perú, la investigación submarina está poco desarrollada y en consecuencia no existen medios suficientes para seguir una evolución constante de nuestra ciencia y tecnología en esa rama. Además el actual sistema de navegación submarina está basado en el buceo, y como es sabido está limitado ya que toda investigación depende de las máximas capacidades a los que pueda llegar un hombre totalmente preparado para llevar a cabo esta tarea.

Es por eso que la investigación submarina en el Perú está supeditada a lo que puedan lograr buzos submarinos, con los límites naturales que pueda soportar una persona totalmente capacitada. Entonces el desarrollo de un control electrónico, para implementarlo en un submarino eléctrico experimental puede solucionar en gran medida los problemas existentes que impiden una mejora substancial en lo que navegación submarina se refiere.

El presente trabajo contiene cuatro capítulos donde se muestra el desarrollo del sistema. El primer capítulo trata sobre la problemática que se aborda en este trabajo mostrando las dificultades actuales en investigación. El segundo muestra la fundamentación teórica que respalda este estudio. El tercer capítulo muestra el diseño de la solución que se obtiene en este desarrollo, finalmente en el cuarto capítulo se muestra los resultados de pruebas del sistema integrado.

Finalmente se concluye que el desarrollo de este control electrónico brinda las herramientas necesarias para desarrollar una investigación submarina efectiva, siendo necesario continuar con el estudio de esta rama tecnológica dentro del Perú.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

I

CAPÍTULO 1: INVESTIGACIÓN Y NAVEGACIÓN SUBMARINA EN EL PERÚ Y SUS PROBLEMÁTICAS

| | | |
|-------|---|----|
| 1.1 | Investigación Desarrollada en el Mar Peruano | 1 |
| 1.1.1 | Desarrollo científico y Aportes de la investigación submarina | 1 |
| 1.1.2 | Recursos y Fondos destinados a la investigación submarina | 3 |
| 1.2 | Navegación submarina y sus aplicaciones actuales. | 3 |
| 1.2.1 | El buceo como herramienta para la navegación | 3 |
| 1.2.2 | Aportes y limitaciones | 4 |
| 1.2.3 | Infraestructura actual y personal capacitado | 7 |
| 1.3 | Normatividad y legalidad marítima | 7 |
| 1.4 | Tecnología empleada en la navegación | 8 |
| 1.5 | Problemas y Causas | 10 |

CAPÍTULO 2: DISEÑO DEL CONTROL ELECTRÓNICO PARA UN PROCESO AUTÓNOMO DE NAVEGACIÓN SUBMARINA

| | | |
|-------|--|----|
| 2.1 | Estado del Arte | 12 |
| 2.1.1 | Evolución de la tecnología en Navegación Submarina | 12 |
| 2.1.2 | Aplicaciones y Ventajas de Un Control Electrónico | 17 |
| 2.2 | Modelo Teórico | 18 |
| 2.3 | Manejo de Actuadores, Sensores y Controlador | 21 |
| 2.3.1 | Control de Motores DC | 21 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.3.2 | Control de Sensores de Proximidad y Presión | 21 |
| 2.3.3 | Definición del Controlador a Usar | 22 |
| 2.4 | Maniobrabilidad del Prototipo | 23 |
| 2.4.1 | Flotabilidad | 23 |
| 2.4.2 | Navegación | 24 |
| 2.4.3 | Autonomía | 28 |
| 2.5 | Transmisión de Video | 30 |
| 2.6 | Seguridad y Protección de Dispositivos | 31 |

CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL A UN SUBMARINO EXPERIMENTAL

| | | |
|-------|--------------------------------------|----|
| 3.1 | Hipótesis de la Investigación | 33 |
| 3.1.1 | Hipótesis Principal. | 33 |
| 3.1.2 | Hipótesis Secundarias. | 33 |
| 3.2 | Objetivos de la Investigación | 34 |
| 3.2.1 | Objetivo General | 34 |
| 3.2.2 | Objetivos Específicos | 34 |
| 3.3 | Universo y Muestra | 35 |
| 3.4 | Implementación de Sistema de Control | 36 |
| 3.4.1 | Implementación de Circuitos | 36 |
| 3.4.2 | Implementación del Software | 57 |

CAPÍTULO 4: SUBMARINO ELÉCTRICO EXPERIMENTAL AUTÓNOMO PARA APLICACIONES DE INVESTIGACIÓN

| | | |
|-----|------------------------------|----|
| 4.1 | Análisis General del Sistema | 63 |
|-----|------------------------------|----|

| | | |
|-----|---|-----|
| 4.2 | Desarrollo de la Solución | 74 |
| 4.3 | Evaluación Económica | 76 |
| | <u>CONCLUSIONES</u> | 78 |
| | <u>FUENTES</u> | 80 |
| | <u>ANEXOS</u> | |
| | Anexo N°1 Hoja de datos: IRF9630 | 83 |
| | Anexo N°2 Hoja de datos: IRF9610 | 89 |
| | Anexo N°3 Hoja de datos: IRF630 | 93 |
| | Anexo N°4 Hoja de datos: IRFZ44N | 97 |
| | Anexo N°5 Hoja de datos: 4N33 | 101 |
| | Anexo N°6 Hoja de datos: L7805 | 104 |
| | Anexo N°7 Hoja de datos: LM567 | 107 |
| | Anexo N°8 Hoja de datos: ATMega 8 | 110 |
| | Anexo N°9 Vistas de la tarjeta de potencia-navegación | 111 |
| | Anexo N°10 Vistas de la tarjeta de potencia-tanque de lastre | 113 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| Anexo N°11 | |
| Vistas de la tarjeta de control | 114 |
| | |
| Anexo N°12 | |
| Vistas de la tarjeta de sensado | 116 |
| | |
| Anexo N°13 | |
| Ecuación diferencial del submarino | 117 |
| | |
| Anexo N°14 | |
| Código de programación | 121 |



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la investigación submarina por medio de vehículos de exploración, brinda muchas ventajas para los científicos que estudian el fondo marino; siendo esta la principal herramienta para muchas aplicaciones debajo del agua, como monitoreo, inspección o recojo de objetos y muchas otras tareas útiles para el hombre. En el Perú existen pocos recursos para crear la tecnología necesaria y desarrollar investigación submarina, por lo que nuestro avance científico es limitado [1]

La investigación submarina en el Perú se basa en el empleo de buzos, o mejor dicho, el buceo representa nuestro medio principal para la investigación y exploración de la región submarina; los recursos marinos en nuestro país son muy diversificados y no solo posee riqueza ictícola, sino también grandes yacimientos subacuáticos de petróleo, de gas y de minerales, además de bienes materiales de gran valor como embarcaciones coloniales [4]. Pero el mayor problema yace en que por ahora no tenemos capacidad técnica y de financiamiento para explotarlos.

El campo de la investigación submarina, en la actualidad se ha vuelto dependiente de métodos mucho más eficientes y seguros, pudiendo prescindir del empleo de buzos pero no desligándose de la parte humana. Este último interviniendo a través del manejo de vehículos no tripulados que pueden servir de medio directo para el monitoreo de la región submarina.

El desarrollo de un control electrónico para estos vehículos de exploración, representa un avance no solo de los mismos, sino también de todas las tareas que se le pueda asignar, siendo una de estas su aplicación como herramienta de investigación submarina. Empleando un mini-submarino experimental podemos acoplar la electrónica de potencia y de control en un solo sistema funcional que permita obtener un vehículo totalmente operativo para fines útiles.

Hoy en día el uso de vehículos submarinos, ya sean autónomos (VAS) o controlados remotamente (VOR), supone un alcance mucho mayor en lo que territorio de exploración se refiere, además reducen considerablemente el riesgo de vida humana ya que son máquinas controladas las que están supeditadas a los peligros que se presentan en este ambiente sobre todo a grandes profundidades.

Dado que en el Perú existe poco avance en investigación científica o exploración submarina utilizando tecnología, y que representa un problema que limita nuestro progreso, entonces el desarrollo de un vehículo autónomo brindaría una solución eficiente e impulsaría el poder mejorar nuestros recursos y realizar actividades físicas que un ser humano no llega a alcanzar. Todo este desarrollo es muy importante para la investigación científica de la región submarina, incluso en aplicaciones militares o de producción pesquera que al final van en beneficio del País.

El presente tema de tesis desarrollará un sistema de control electrónico, basado en el manejo de sensores y actuadores, para luego implementarlo en un submarino eléctrico experimental, pudiendo ser empleado en

aplicaciones como en la producción pesquera, en investigación científica o hasta en inspección militar como se mencionó en líneas anteriores; todo esto gracias al monitoreo de una región subacuática por medio de la visualización de imágenes de video transmitidas a una pequeña central en tierra que puede ser implementada a partir de este trabajo investigación.

El desarrollo de este sistema electrónico consta de las etapas de diseño de los procesos de navegación, además de una implementación del sistema de control tomando en cuenta el manejo de sensores y actuadores, mencionados anteriormente, que compondrán dicho sistema; finalmente estas etapas se someterán a diversas pruebas con el fin de mostrar su completa funcionalidad.

El prototipo al cual se le podrá implementar este sistema de control será elaborado independientemente del presente trabajo de tesis. Cabe precisar que la elaboración de la estructura del submarino, si bien es independiente, también ha sido coordinada en diferentes aspectos como las dimensiones del espacio destinado a las tarjetas, y las posiciones de los diferentes sensores implementados.

El Capítulo 1 trata acerca de los antecedentes de la investigación submarina en el mundo y el actual desarrollo de la misma en el Perú. Además se habla sobre las aplicaciones que se les da a los vehículos de exploración submarina, que van desde simples monitoreos hasta usos militares. El tema que tomamos en cuenta es el buceo, la cual es la herramienta principal de investigación submarina en el Perú. Y por último se toca temas como normatividad, infraestructura y los fondos disponibles para este tipo de investigaciones.

El Capítulo 2 trata del diseño del sistema de control, donde se toma en cuenta el propósito del uso de actuadores, sensores y demás implementos necesarios para el desarrollo del control electrónico. Además como una base para el inicio de este trabajo se mencionan los avances tecnológicos usados hasta ahora en estos vehículos, así como una descripción de los componentes a usar y el funcionamiento general del trabajo a realizar.

En el Capítulo 3 se habla acerca de la implementación de los circuitos diseñados en el capítulo anterior, además de presentar algunas pruebas preliminares. Dentro de esto se detalla ciertas especificaciones a tomar en cuenta para el desarrollo de esta implementación, además de mostrar la lógica de funcionamiento de todo el sistema. Antes de todo esto se resaltan las hipótesis y objetivos del presente desarrollo, a fin de tenerlos presentes para la estructura general de la tesis.

En el Capítulo 4 se muestran las pruebas finales de cada sistema implementado, es decir de todas las tarjetas que componen el control electrónico aplicado a un prototipo de submarino ya construido, además se muestran los resultados y las conclusiones del presente trabajo de tesis.

Finalmente, el desarrollo de esta tesis da cuenta de la tecnología utilizada así como la demostración que con una electrónica simple y bien argumentada se pueden construir aplicativos que son útiles para diferentes ramas de estudio e investigación. El desarrollo de un control electrónico para un submarino experimental eléctrico muestra una gran alternativa para el progreso tecnológico en nuestro país.

CAPÍTULO 1: INVESTIGACIÓN Y NAVEGACIÓN SUBMARINA EN EL PERÚ Y SUS PROBLEMÁTICAS

1.1 Investigación Desarrollada en el Mar Peruano

1.1.1 Desarrollo científico y Aportes de la investigación submarina

Como una pequeña introducción podemos mencionar uno de los primeros avances tecnológicos en el mundo, el viaje científico del Challenger alrededor del mundo (1872-1876) proporcionó el primer amplio estudio de las condiciones físicas y biológicas de los océanos y con el tendido de cables telegráficos submarinos se requería mediciones precisas de las profundidades del océano. En la actualidad la tecnología submarina ha seguido progresando, permitiendo hoy un trazado más preciso de los mapas del fondo oceánico [2]. Con esto podemos comprobar que desde hace mucho tiempo atrás se requería una gran tecnología e instrumentación en la exploración de los fondos marinos.

En lo que se refiere a la exploración submarina en el Perú, utilizando vehículos no tripulados, hay poca información y pocos los interesados. Uno de los organismos que se preocupa por la investigación submarina es la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN) de la Marina de Guerra del Perú, ya que su propósito principal es administrar, operar e investigar las actividades relacionadas con las ciencias del ambiente en el ámbito acuático, con el fin de contribuir al desarrollo nacional, brindar apoyo y

seguridad en la navegación a las Fuerzas Navales y a los navegantes en general [3].

Si bien esta organización tiene propósitos más inclinados hacia aplicaciones militares, no descarta el uso de vehículos para monitoreo de cascos de las embarcaciones, inspección de pilotes de muelles, búsqueda de objetos perdidos y en sí aplicaciones parecidas. Uno de los aportes importantes de este organismo, usando vehículos no tripulados, que se puede mencionar es la ubicación del avión Fokker siniestrado en el mar de Ventanilla donde viajaba la delegación del Club Alianza Lima en Diciembre de 1987. Esto gracias al uso de un sonar que más adelante se describirá.

Otra institución dedicada a temas de investigación submarina es el Instituto de Defensa del Patrimonio Cultural Subacuático (IDPCS), que se encarga de fomentar conciencia sobre el patrimonio cultural subacuático del Perú. Su interés es tal que las investigaciones realizadas van en beneficio del país, no solo conservando nuestro patrimonio subacuático sino también propiciando el desarrollo en labores científicas e investigativas de diferentes profesionales y público en general interesado en este tema.

Cabe resaltar que esta organización apoya el empleo de buzos para investigación submarina, no solo en el mar sino también en lagunas altoandinas donde existen numerosos indicios de restos arqueológicos [4]. Esto da paso a pensar que aunque se tiene mucho recurso para desarrollar investigación submarina, aún se tiene limitaciones ya que la dependencia de buzos restringe el tiempo de investigación dentro del agua y no permite desarrollar todas las tareas asignadas al buzo.

1.1.2 Recursos y Fondos destinados a la investigación submarina

Como ya se mencionó repetidamente, la investigación submarina en el Perú está descuidada, o mejor dicho el interés que demuestra y ha demostrado el Estado peruano es casi desapercibido, por lo que recursos directos e instituciones destinadas a este tema no existen muchas. En consecuencia los fondos de los que se dispone para apoyar la investigación submarina para diversos propósitos es poca y a su vez insuficiente.

Decimos que no es mucha pero hay ciertas formas de buscar apoyo a la investigación, es decir existe la posibilidad real de apoyar proyectos que puedan aportar al desarrollo tecnológico e investigativo dentro del Perú cualesquiera sea la aplicación. Uno de estos recursos proviene del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-CONCYTEC, a través de diferentes instituciones avocadas a apoyar la investigación y desarrollo tecnológico como el Instituto Geofísico del Perú y el Instituto del Mar del Perú [5].

Estos organismos promueven y apoyan la investigación, siendo un nexo entre el Estado y la Sociedad, en el esfuerzo por generar y difundir el conocimiento científico y tecnológico que el país necesita.

1.2 Navegación submarina y sus aplicaciones actuales.

1.2.1 El buceo como herramienta para la navegación

En el Perú el buceo es mucho más utilizado como deporte de aventura que como herramienta de investigación, pero no significa que no existan organizaciones que promuevan el desarrollo de este recurso para investigación submarina; un ejemplo de eso se indica líneas arriba con el

Instituto de Defensa del Patrimonio Cultural Subacuático, así como esta organización existen escuelas e instituciones que enseñan y promueven el buceo, dos de estas son “Peru Divers” y “AquaProa”. En la actualidad el buceo para fines de investigación es la herramienta a la que más se recurre, incluso se podría decir que la mayoría de investigadores acuden a esta.

El buceo, ya sea para fines de investigación o para deporte de aventura, puede practicarse de (02) dos formas, una de ellas es la “Apnea” y la otra es la “Scuba”. Apnea es la actividad de bucear sin ningún medio más que con mantener la respiración, y como es lógico las profundidades alcanzadas no son tan importantes, en sí esta técnica se emplea más para actividades deportivas y recreativas que para buceo científico; en resumen apnea es la técnica más sencilla para bucear pero no para fines de investigación.

La segunda técnica de buceo es la Scuba, consistente en usar equipo de sustento o aparatos de respiración; aunque es considerada una técnica para actividades deportivas al igual que apnea, también se puede considerar dentro de la categoría de buceo técnico o profesional debido a la preparación que realiza el buzo. El buceo Scuba depende principalmente del uso de una botella de aire a presión que lleva el buzo, lo que le permite a este ir respirando el aire almacenado durante un tiempo de autonomía considerable pero limitado, algo importante dentro de la investigación submarina como lo es el tiempo.

1.2.2 Aportes y limitaciones

Siendo el buceo la herramienta principal para investigación y más usada en la actualidad, los aportes que puedan brindar son muchos. Desde hallazgos en exploraciones arqueológicas, pasando por conservación de especies subacuáticas hasta monitoreos en la costa peruana. Un ejemplo de esto

puede ser las exploraciones arqueológicas en la Isla San Lorenzo, o rescate de artefactos históricos en lagunas alto-andinas [4].

Las limitaciones que presenta el buceo son en realidad pocas pero muy importantes, como se mencionó anteriormente el tiempo que dispone un buzo para exploración es limitado y no permite un correcto desarrollo de la investigación o mejor dicho no permite que el buzo desarrolle todas las tareas asignadas. Claro está si se sigue un plan de exploración adecuado y con los tiempos correctos que dispone un buzo profesional o un equipo de buzos capacitados este problema se reduce, pero no se elimina. Es por eso que desarrollar este trabajo de tesis representa una herramienta de gran utilidad y beneficio para la investigación submarina.

Mirar las limitaciones del buceo no significa dejar a un lado esta herramienta, son más bien motivaciones que ayudan a impulsar el desarrollo de la tecnología necesaria para el avance científico en Perú.

A continuación presentamos (Fig. 1.1) un esquema de cómo se presenta esta limitación en la exploración por el empleo de buzos.

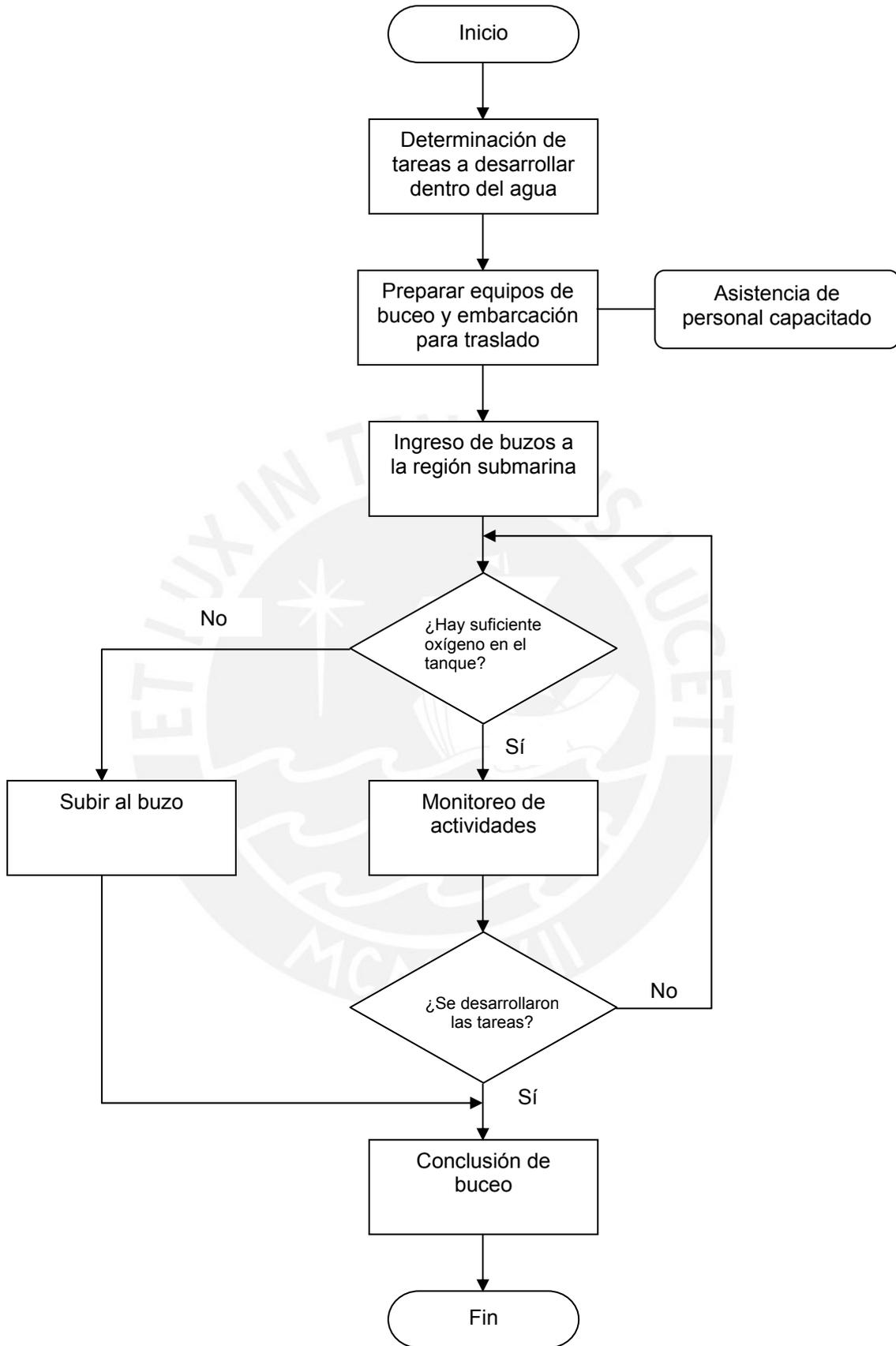


Figura 1.1. Diagrama de flujo sistema de buceo.

1.2.3 Infraestructura actual y personal capacitado

En el Perú, la infraestructura la brindan los institutos donde se promueve el buceo, además de la que brinda la Marina de Guerra del Perú pero su uso es en su mayoría para propósitos militares. Pero esto no impide el desarrollo de esta herramienta, ya que los lugares donde se practica el buceo están en mar abierto, las zonas de Pucusana, Islas Palomino y el mar de Ancón [9] representan algunas alternativas de buceo.

Respecto al personal de buceo, hablaremos de buzos profesionales y técnicos, sobre todo los que están capacitados para investigaciones científicas. Entonces mencionarlos supone que son parte de alguna organización especializada o interesada en este tema. Estas organizaciones son de la Marina de Guerra del Perú por intermedio de la Dirección de Hidrografía y Navegación, y por supuesto del Instituto de Defensa del Patrimonio Cultural Subacuático.

1.3 Normatividad y legalidad marítima

Es importante remarcar qué normas pueden regir la navegación de este tipo de vehículos, pero por ser una embarcación de dimensiones pequeñas entonces no es necesario seguir una reglamentación para su funcionamiento. Según fuentes de la Dirección de Hidrografía y Navegación lo único necesario sería avisar a la Capitanía de Puerto de las intenciones que se tendría para con el equipo, y así hacer de su conocimiento nuestro propósito, ya que a veces por la braveza del mar cierran los puertos y no dejan que nadie navegue, salvo autorización especial de la Marina.

Si por algún motivo es necesario seguir una reglamentación especial, la Dirección se encarga de autorizar la navegación según cuál sea el propósito de este. De antemano el apoyo para este trabajo de tesis está garantizado por dicha institución.

1.4 Tecnología empleada en la navegación

En el campo militar se puede mencionar el uso de simuladores de ataque submarino, uno de los cuales se encuentra instalado en el Snorkel Bar (SS-47) de la Estación Naval de Submarinos de la Marina de Guerra del Perú [6], siendo un equipo electro-mecánico que proporciona ventajas en la instrucción y entrenamiento de personal.

Otro de los simuladores con los que contamos es el de trimado, usado específicamente para representar los efectos dinámicos en la emersión del submarino, además de los movimientos en el agua entre los diferentes tanques de compensación y equilibrio.

Esto pone al Perú en los lugares de vanguardia a nivel sudamericano en Fuerzas Submarinas, disponiendo de componentes informáticos y electrónicos de última generación, incluyendo el uso de sistemas de redes neuronales. Lamentablemente no significa un aporte importante para lo que es investigación científica.

Como indicamos anteriormente, ha habido aportes usando vehículos submarinos para diferentes propósitos y es ahora donde describiremos un poco más acerca de estos.

Sabemos que la Dirección de Hidrografía y Navegación cuenta con vehículos de investigación submarina no tripulada, y a continuación describiremos cuáles son. Primero mencionaremos el sonar utilizado para búsqueda de objetos perdidos, este vehículo no tiene un desplazamiento independiente dado que es remolcado por otra embarcación en la superficie marina, el Side Scan Sonar (Fig. 1.2.) es el utilizado para esta aplicación. Este implemento electrónico en forma de torpedo envía una señal de sonar hacia el fondo y recibe el eco del mismo, el cual es enviado hacia una computadora que traduce la señal en una imagen digitalizada en la pantalla. Este instrumento es sumamente delicado y se necesita de personal calificado para manejarlo e interpretarlo.



Figura N° 1.2. Side Scan Sonar y momentos de verificación antes de lanzarlo al agua.

Otro vehículo utilizado es uno operado remotamente (VOR), que funciona como inspeccionador. Cuenta con una cámara de video que transmite las imágenes a una pantalla para monitorear pilotes de muelles y filmarlos para así tener un registro de lo observado. A diferencia del primero, este sí navega independientemente de otras embarcaciones; su sistema de flotación y navegación es controlado solo con motores, tanto para el ascenso y descenso como para ir navegando en un plano horizontal. Este equipo fue importado del extranjero y lamentablemente no está actualmente operativo.

Existe la posibilidad de construir otro vehículo operado remotamente que aún está inconcluso. Así como desarrollar un proyecto más detallado para construir un vehículo basado en el prototipo a realizar en este trabajo de tesis.

Por último, existe un vehículo submarino desarrollado íntegramente en el Perú; este vehículo también cuenta con una cámara de video y además un sistema de flotación basado en un tanque de pistón. Este tanque de pistón es muy interesante de utilizar ya que se puede controlar con exactitud y el ingreso de agua no cambia el centro de gravedad del submarino manteniéndolo estable. Este vehículo aún no está adaptado para navegar en flujos turbulentos por lo que en aplicaciones de investigación aún no es posible probarlo.

1.5 Problemas y Causas

Las dificultades existentes para el hombre que desea explorar la región submarina son muchas, van desde el poco o casi nulo acceso a lugares pequeños, pasando por la lenta exploración, hasta la dependencia del poco oxígeno del cual los buzos cargan consigo. A todo esto se puede agregar que son pocos los exploradores que observan lo que se quiere estudiar impidiendo una mejor evaluación de este.

Está el impacto en la actividad socioeconómica, como se mencionó anteriormente, la productividad pesquera es aún poco eficaz y esto retrasa el crecimiento de uno de nuestros principales recursos económicos en el país. Además se puede mencionar la falta de una tecnología capaz de ayudar a nuestras fuerzas armadas tanto en exploración para estudio como en salvataje ya sea de personas o de embarcaciones.

Para cerrar este capítulo es nuestro objetivo dar a conocer los problemas que con este trabajo se quiere resolver o reducir. A continuación presentamos un cuadro sobre los problemas y causas que fundamentan el desarrollo del marco problemático. No solo por problemas de limitaciones del buceo, sino también por el poco desarrollo tecnológico para beneficio de investigaciones científicas.

| Problemas | Características y Causas |
|---|---|
| 1) Exploración submarina humana limitada. | Si bien existe exploración con total participación del hombre, hay limitaciones a las que se está sometido, como el aumento de presión en las profundidades. |
| 2) Dependencia de un tanque de oxígeno para una exploración prolongada. | Como se sabe los buzos exploradores dependen del oxígeno que llevan consigo, esto supone un límite de tiempo dentro del agua según la cantidad de oxígeno con el que cuentan. |
| 3) Observación de una única persona. | Al explorar debajo del agua se tiene la apreciación personal del que bucea, lo que impide una mejor evaluación de lo que se está observando. |
| 4) Poco o casi nulo acceso a zonas pequeñas o difíciles de observar. | Existen regiones en la superficie del fondo marino que tienen un grado muy alto de dificultad para el ingreso de personas por lo que la observación se torna ineficaz e inconclusa. |
| 5) Expansión productiva limitada. | Ya que la productividad marina está supeditada a recurso humano, el tiempo de expansión y crecimiento es lento por lo que se limita a falta de tecnología eficiente. |

CAPÍTULO 2:
DISEÑO DEL CONTROL ELECTRÓNICO PARA UN PROCESO
AUTÓNOMO DE NAVEGACIÓN SUBMARINA

2.1 ESTADO DEL ARTE

2.1.1 Evolución de la Tecnología en Navegación Submarina

2.1.1.1 Presentación del asunto de estudio

En el tema de exploración submarina de hoy en día, se hace cada vez más necesario ir a mayores profundidades en el océano para la investigación de sus diferentes regiones, por lo que el hombre necesita recurrir a la tecnología para lograr alcanzar sus propósitos; los cuales pueden ser de investigación, evaluación del impacto ambiental, análisis de sustancias químicas, acciones militares, entre otras. Para estas intenciones, en la actualidad, hay tecnologías desarrolladas en lo que concierne a exploradores submarinos o vehículos autónomos submarinos (VAS), capaces de soportar grandes presiones, además de contar con un control sumamente efectivo operados debajo del mar y llegar donde el hombre no puede. En este tema, la electrónica de control y potencia son muy importantes, es así que además de los “VAS” podemos tener vehículos operados remotamente (VOR) o por qué no, una fusión de estos vehículos.

En el Perú no existen proyectos formales o indicios de este tipo de tecnología desarrollada para exploración científica. Es por eso que la idea de

construir un vehículo que ayude con esta investigación puede contribuir al desarrollo de la electrónica en este ámbito.

El desarrollo del control es fundamental e importante ya que permitirá un avance significativo en la investigación submarina en el Perú, donde se cuenta con una región rica en fauna marina, además de monitoreos del estado de las corrientes que componen nuestro territorio marítimo. Este desarrollo sería de un gran avance para la tecnología en nuestro ámbito y traería mejoras en el estudio e investigación dando resultados más exactos para nuestro beneficio.

2.1.1.2 Estado de la investigación

Utilizar vehículos submarinos experimentales acarrea beneficios y dificultades. El motivo de llevarlos a lo profundo del mar supone sostener una comunicación constante con el vehículo, ya sea a través de cables o inalámbricamente, además a esto se une el mantener operativos tanto la parte de potencia como la de control dentro del submarino, lo cual supone un gran consumo de energía, por lo que sofisticar los instrumentos para hacer más eficiente el uso de estos vehículos es muy necesario.

Aunque en el Perú la tecnología no se haya desarrollado en el tema de exploración submarina, no quiere decir que no se pueda utilizar lo que hasta ahora existe avanzado en el mundo. La tecnología de control es compleja pero a la vez muy eficiente, y aún las investigaciones continúan, dando lugar a vehículos de nueva generación; pero además, se sigue usando recursos naturales y limitados para su funcionamiento, tales como el aceite y el gas pero que tiene el potencial para reducir gastos quitando la necesidad de un navío de apoyo [7]. Un claro ejemplo de lo expuesto es la construcción de un vehículo robótico impulsado completamente por el calor de agua del océano

[8], conocido como “Planeador”, que imita el camino que algunas criaturas de mar emplean para moverse por las profundidades. El sistema es tan eficiente que la vida útil del vehículo es limitado por la durabilidad de las baterías que alimentan a los equipos de vigilancia y de comunicaciones.

Otra aplicación para el control de navegación de estos vehículos es la utilización de sonares y sensores para detectar obstáculos y tratar de evadirlos, donde la acústica es muy importante para estas. Hasta se puede utilizar como un sistema de respaldo por si el control primario falla (se puede usar control de válvulas de prevención BOP) [9]. Uno de los temas relacionados con la acústica es el ruido que afecta el funcionamiento de vehículo, por ejemplo una plataforma de perforación genera una gran cantidad de ruido justo debajo de la superficie, donde la señal desde un dispositivo remoto acústico será más débil. La relación señal-ruido es fundamental para el éxito de cualquier operación acústica.

En lo que se refiere a software hay técnicas que pueden mejorar el posicionamiento usando alineación Doppler [10] que hace un estimado de alineación usando datos adquiridos durante la operación normal del vehículo.

La dinámica de los “VAS” es no-lineal y es por eso que demanda de técnicas que puedan mejorar su maniobrabilidad. Hoy en día incluso se están desarrollando “VAS” biorrobóticos o “BAVS” (por sus siglas en inglés); pero aún el desarrollo no está muy definido. Una mejora en este campo puede ser la técnica de ecuación de dependiente Riccati [11] o SDRE (por sus siglas en inglés) que provee de un medio eficaz para diseñar sistemas de control no-lineal tanto para fase mínima, así como no mínima.

Otras técnicas para el control de los vehículos pueden estar en el rol que juega las redes neuronales y los algoritmos de control lógica difusa, que sirve para compensar la no total definición de los sistemas dinámicos no-lineales y brindar más estabilidad tal como se menciona en el trabajo de investigación desarrollado por la Universidad de Texas en los Estados Unidos. [12]

Con esto se puede decir que sí existen métodos para hacer más eficientes los submarinos experimentales.

2.1.1.3 Control navegación del submarino experimental

Respecto a las acciones que operan el posicionamiento del submarino podemos describir su movimiento tanto en el plano horizontal XY como en lo que respecta a la sumersión y la emersión. Si hablamos del movimiento en el plano horizontal, tenemos que mencionar a las hélices, las cuales son accionadas por motores, ya sea de imán permanente o diesel; pero este último tipo de motor ya no se usa mucho, en cambio el de imán permanente, por su tamaño y su menor consumo de energía, es de mayor utilidad para los submarinos experimentales.

También tenemos que mencionar a las aletas que guían el movimiento del submarino. Cabe recalcar que se puede diseñar un control adaptivo que supone un movimiento combinado de oscilaciones armónicas en la parte lineal y la angular, tal como se menciona en el trabajo de investigación desarrollado por la Universidad de Nevada en los Estados Unidos. [11]

En lo que respecta a la sumersión y a la emersión del submarino diríamos que se basa en colmar de agua la bóveda (tanque de lastre) para que el

vehículo pueda sumergirse, y en la expulsión del mismo volumen de agua para reflotarlo. El control de esto consiste en operar el accionamiento de un motor que estará acoplado junto con un sistema de movimiento de émbolo, que cubrirá el área del tanque de lastre permitiendo tener un volumen de control en dicho tanque.

Una alternativa muy poco convencional es la que utiliza el “Planeador”, mencionado anteriormente. El proceso consiste en que el agua caliente en la superficie, funde un tubo de cera que se expande y empuja aceite del interior de una cámara de jebe, provocando que el vehículo se hunda. En el fondo, el vehículo se enfría, la cera se contrae y se solidifica, y el aceite vuelve a entrar en la cámara, lo que aumenta la flotabilidad del vehículo.

2.1.1.4 Síntesis sobre el asunto de estudio

La investigación y exploración submarina en el Perú no está muy desarrollada por lo que este trabajo aportaría mucho para ese propósito. Las diferentes aplicaciones que se podrían atribuir son variadas, ya que puede utilizarse para monitorear la superficie marina, también se podría emplear para establecer mejores mapas del suelo de nuestro mar, además, obtener evaluaciones de las sustancias que puedan existir.

El desarrollo de este control no sólo permitiría el progreso de la tecnología en investigación submarina, sino que además abriría un nuevo camino para el trabajo con vehículos submarinos autónomos, desplegando mucho más estudios en esta rama y por ende buscar la evolución de este tema para distintas aplicaciones.

2.1.2 Aplicaciones y Ventajas de Un Control Electrónico

A continuación hablaremos sobre algunas aplicaciones que puede tener el submarino experimental además de mencionar ventajas de su utilización.

Las aplicaciones en producción pesquera pueden ser muy beneficiosas para la economía del país, ya que no solo se podría monitorear el fondo marino sino también observar las diferentes especies subacuáticas que habitan nuestro mar; siendo uno de los recursos más ricos en biodiversidad existente, tal vez el mejor. El control de este recurso daría muchas utilidades productivas y económicas para nuestro país.

Otra de las aplicaciones existentes son las alternativas para uso militar en exploración de embarques hundidos o inspección de daños en las corazas. Esto significaría un uso muy útil para la Marina de Guerra ya que ayudaría al mantenimiento de nuestra flota. Además por supuesto de utilizarlo en embarcaciones de transporte y de pesca.

Incluso puede ser útil para acciones de salvamento, aunque por el tamaño del submarino solo serviría para hallar los objetos y personas extraviadas las cuales se desean recuperar.

Una de las ventajas está en que el empleo de un sistema de control facilita el desarrollo de actividades, además de obtener eficiencia y sencillez en estos. Podríamos decir que resuelve problemas generados por las limitaciones humanas, reduciendo el tiempo para encontrar una solución efectiva.

Por último la maniobrabilidad y autonomía del submarino hacen una alternativa factible para el desarrollo tecnológico y científico en nuestro medio.

2.2 MODELO TEÓRICO

Para el desarrollo de un control electrónico, en primer lugar es necesario identificar los requerimientos que precisan a ser atendidos: tanto en el campo de la investigación submarina así como en el sistema tecnológico de control. Además de delimitar dichos aspectos para cumplir un objetivo específico y definir las características a implementar.

Uno de los objetivos del desarrollo de este estudio es observar la región submarina, la superficie a cierta profundidad y las diferentes interacciones entre sus “habitantes”. Todo esto a través de imágenes que serán transmitidas desde una cámara instalada en el prototipo al cual se le implementará el sistema de control. Este medio abrirá una gran puerta para el avance en lo que se refiere a investigación científica de la zona submarina, las actividades económicas productivas tales como la pesca, la explotación petrolera, la construcción y mantenimiento de muelles, salvataje, u otros fines.

En lo que corresponde a la parte electrónica del prototipo se pueden dar ciertos detalles; el funcionamiento principal del prototipo será de forma autómata, dejando la posibilidad a un control remoto pero nos limitaremos a desarrollar un vehículo autónomo. El movimiento dependerá de la señal de los sensores de proximidad instalados, claro está, tratando de mantener la comunicación con el control de movimiento que proporcionan los motores de navegación. Uno de los propósitos principal será el de navegar evitando obstáculos que impidan un desarrollo eficaz del estudio.

Siguiendo el análisis a la navegación es necesario referirnos a una función importante de lo que hace a un vehículo submarino, la sumersión y la emersión; lo que supone el conocimiento de cómo funcionan estas acciones.

El empleo de válvulas y compresión de aire manipulado a presión es una solución más que suficiente en el campo de la neumática que se puede utilizar en el desarrollo de este control. Nos limitaremos a manejar conceptos básicos y así no agregar complejidad al desarrollo, como consecuencia obtener costos accesibles y mantener un control simple y al mismo tiempo eficaz.

Para completar el objetivo de implementar un desarrollo efectivo en el control de un vehículo con diferentes propósitos, tenemos que mencionar el software de control y como se desenvolverá. Actualmente el uso de microcontroladores supone una herramienta muy efectiva y a la vez sencilla, cumpliendo con los requerimientos necesarios para un óptimo control electrónico, es así que se puede gobernar las diferentes partes involucradas para el funcionamiento de este.

Finalmente es importante mencionar que la investigación submarina en el Perú está muy poca o casi nada desarrollada por lo que este estudio permitirá impulsar dicha investigación ya sea científica o para uso un poco más específico como el militar o el de salvataje. Siendo esto un motivo para el continuo desarrollo de esta herramienta.

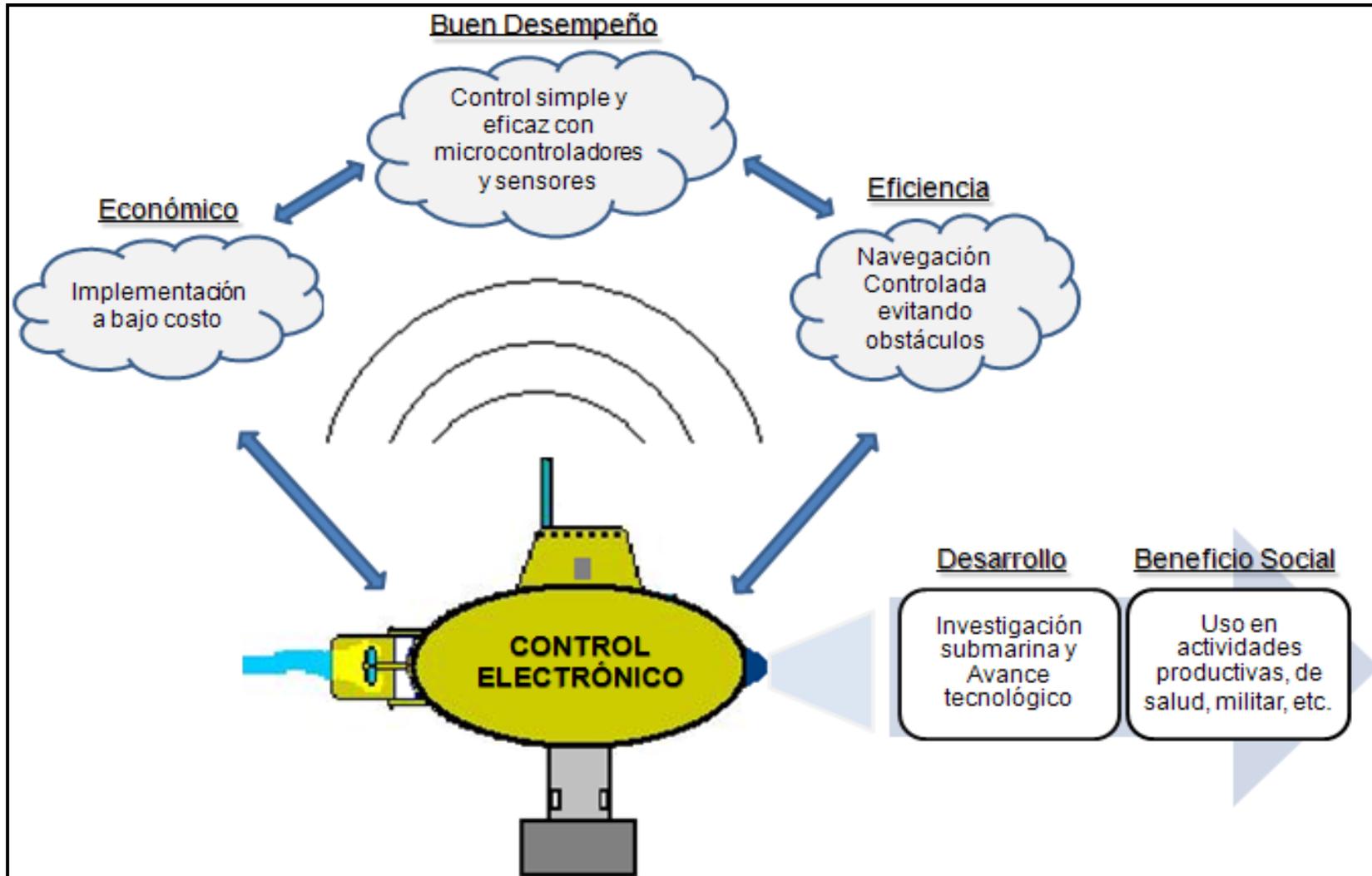


Figura Nº 2.1. Representación Gráfica del Modelo Teórico

2.3 Manejo de Actuadores, Sensores y Controlador

2.3.1 Control de Motores DC

Primeramente se tiene que mencionar que el tipo de motores a utilizar serán de corriente continua, variando únicamente la tensión a la cual estarán sujetos. Por ejemplo, los motores que moverán las hélices para la navegación del submarino serán de 36 voltios, diferentes al que se usará para abrir y cerrar la válvula de ingreso y salida de agua para la flotación.

Una de las ventajas de utilizar motores de corriente continua es que nos brinda suficiente potencia como para mover libremente el prototipo, la única acotación importante a tomar en cuenta es que estos motores necesitan estar totalmente aislados del agua, lo que indica encapsularlos y así protegerlos de posibles contactos que inhabiliten su funcionamiento.

Lo que respecta al control de cada motor, es necesario saber que el uso de PWM (*Pulse Width Modulation*) para regular la velocidad y sentido de giro de las hélices nos brinda simplicidad y a la vez eficiencia al momento de emplear el software de control. A la vez cabe mencionar el control del motor para la cámara de video, que tendrá las mismas consideraciones de encapsulamiento. Todo esto representa parte importante para desarrollar el modelamiento del controlador.

2.3.2 Control de Sensores de Proximidad y Presión

Este punto es uno de los más importantes, ya que de ellos depende la eficacia y estabilidad del sistema de control para el submarino. Por tal razón este tema se desarrollará según vaya avanzando la investigación dado que

aún no se definen los sensores que se utilizarán. El estudio de éstos se hará cuando se tenga mejor definido el modelo a implementar y así obtener un proceso al cual podamos identificar los parámetros exactos a medir. Claro está todas las señales serán controladas por el microcontrolador usado.

2.3.3 Definición del Controlador a Usar

Dentro del control electrónico se debe definir qué tipo de control se usará, como se mencionó en el Plan de Tesis, este será tipo MIMO (*Multiple Input, Multiple Output*) lo que implica saber todas las relaciones entre la totalidad de componentes involucrados en el proceso realizado en el submarino, tanto en navegación, flotación, transmisión y las aplicaciones para las que se implemente.

El manejo de variables de entrada, tales como presión, profundidad, ubicación y algunos parámetros eléctricos hacen muy complejo el desarrollo de este control. Es así que una de las alternativas para desarrollar el controlador es delimitarlo, es decir desarrollar parte por parte, con lo que podemos usar un control proporcional derivador para obtener respuestas más rápidas, claro está se toma en cuenta la posibilidad de agregar un compensador (Proporcional Derivador Práctico).

Esta implementación se irá definiendo según el trabajo de investigación vaya avanzando.

Ahora pasaremos a describir el microcontrolador a utilizar, como se mencionó anteriormente usaremos el ATmega8 de ATMEL ya que el lenguaje ensamblador que sirve para configurar dicho microcontrolador es

simple de usar, incluso en lenguaje C podemos desarrollar cada tarea que se quiera implementar para el funcionamiento del submarino.

Algunas características principales de este microcontrolador son mencionadas a continuación, por ejemplo para la generación opcional de ondas PWM contamos con 3 canales para dicho propósito, una frecuencia de reloj interna de 1MHz lo cual nos brinda rapidez en cada instrucción. El desarrollo de cada código de instrucciones se dará a conocer según avance el trabajo de investigación.

2.4 Maniobrabilidad del Prototipo

2.4.1 Flotabilidad

Dentro del concepto de un vehículo submarino es esencial saber cómo es el desplazamiento dentro del agua, para eso se define la flotabilidad del mismo, tanto para mantener a flote la nave como para sumergirla. Se rige a través del principio de Arquímedes donde se tiene en cuenta el peso del submarino y el volumen de agua desplazado que genera una fuerza de empuje contraria al peso, que varía de acuerdo al mismo. Establecemos la fórmula que se basa en el principio de Arquímedes

$$F = E - W \quad (2.1)$$

Donde:

F = Fuerza Resultante

E = Fuerza de Empuje = Densidad del Agua x Volumen del submarino x Gravedad

W = Peso = Masa del Submarino x Gravedad

Podemos mencionar lo siguiente:

Si se sumerge la fórmula será: $F = W - E$

Si emerge la fórmula será: $F = E - W$

Si flota la fórmula será: $W = E$

2.4.2 Navegación

Como mencionamos anteriormente la navegación dependerá del control de los motores de dirección, esto es para maniobras en un plano horizontal, así como descender y ascender. Además de esto se implementará rutinas de navegación autónoma, dándole importancia a la aplicación de investigación, lo que incluye observación de zonas submarinas, búsqueda de objetos y análisis de la corriente marina.

Como muestra de cómo se controlaría la navegación se incluye algunos diagramas de flujo para aplicaciones como sumergir al submarino, emergerlo y una sencilla rutina de navegación.

Diagrama de Flujo: Sumergir Submarino

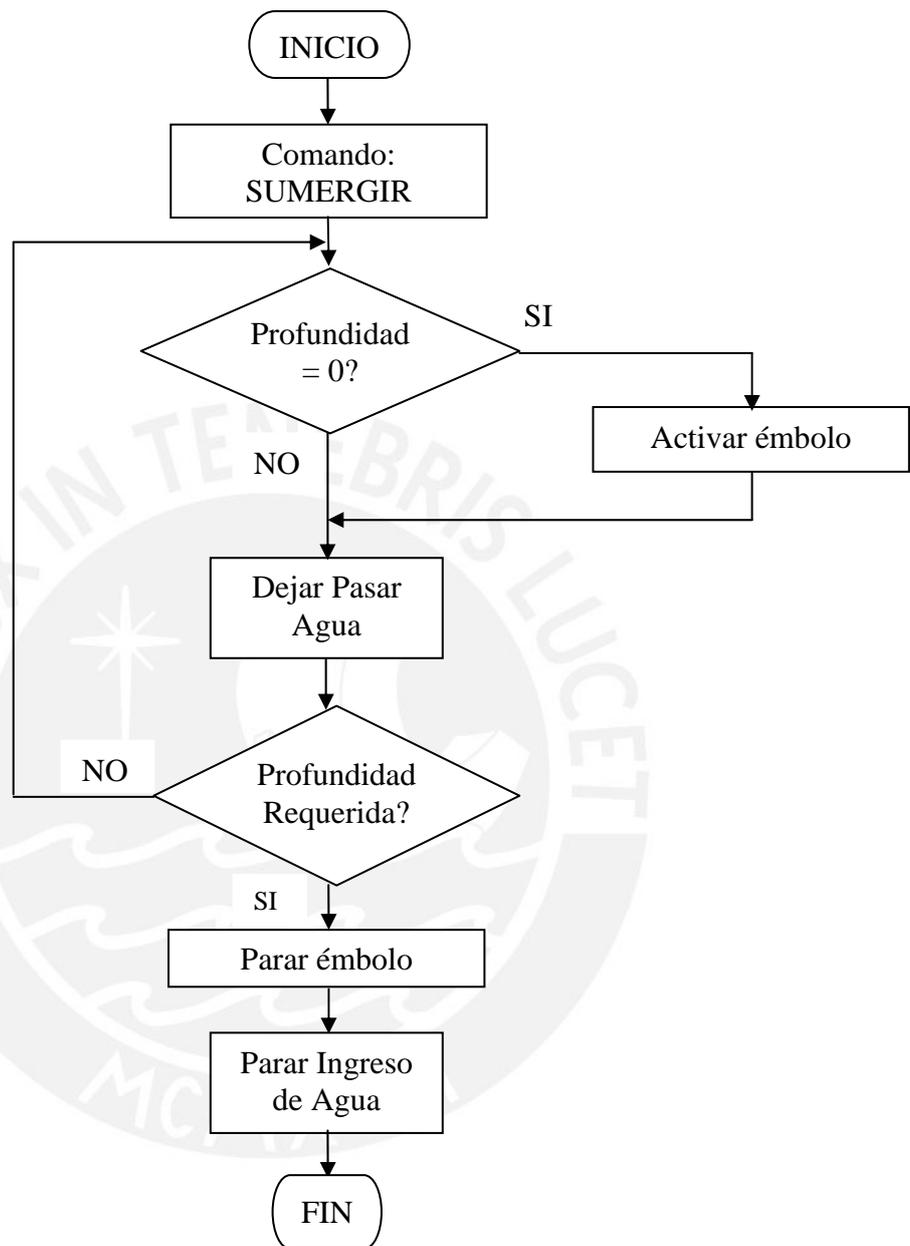


Diagrama de Flujo: Emerger Submarino

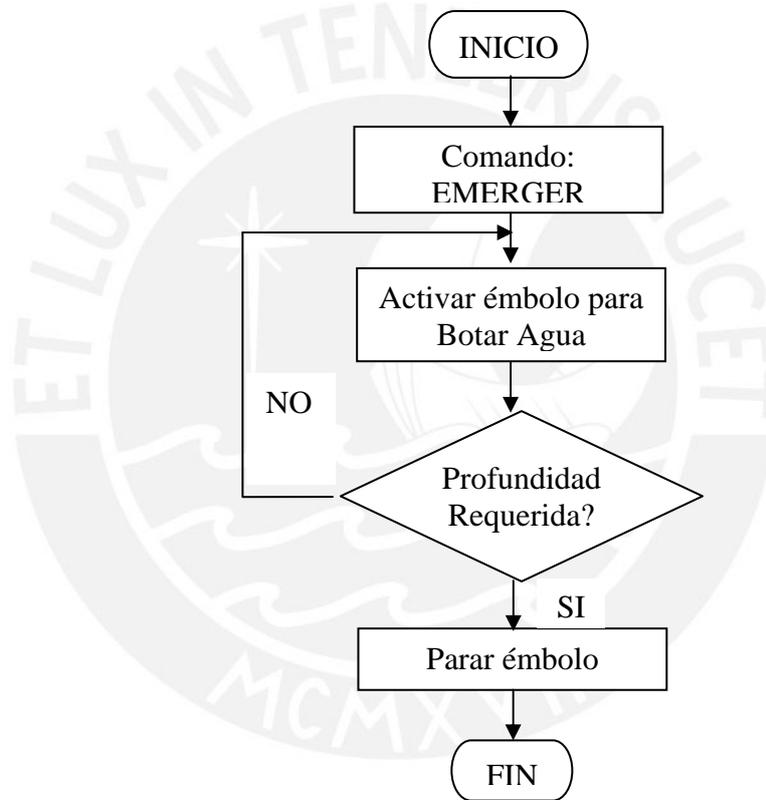
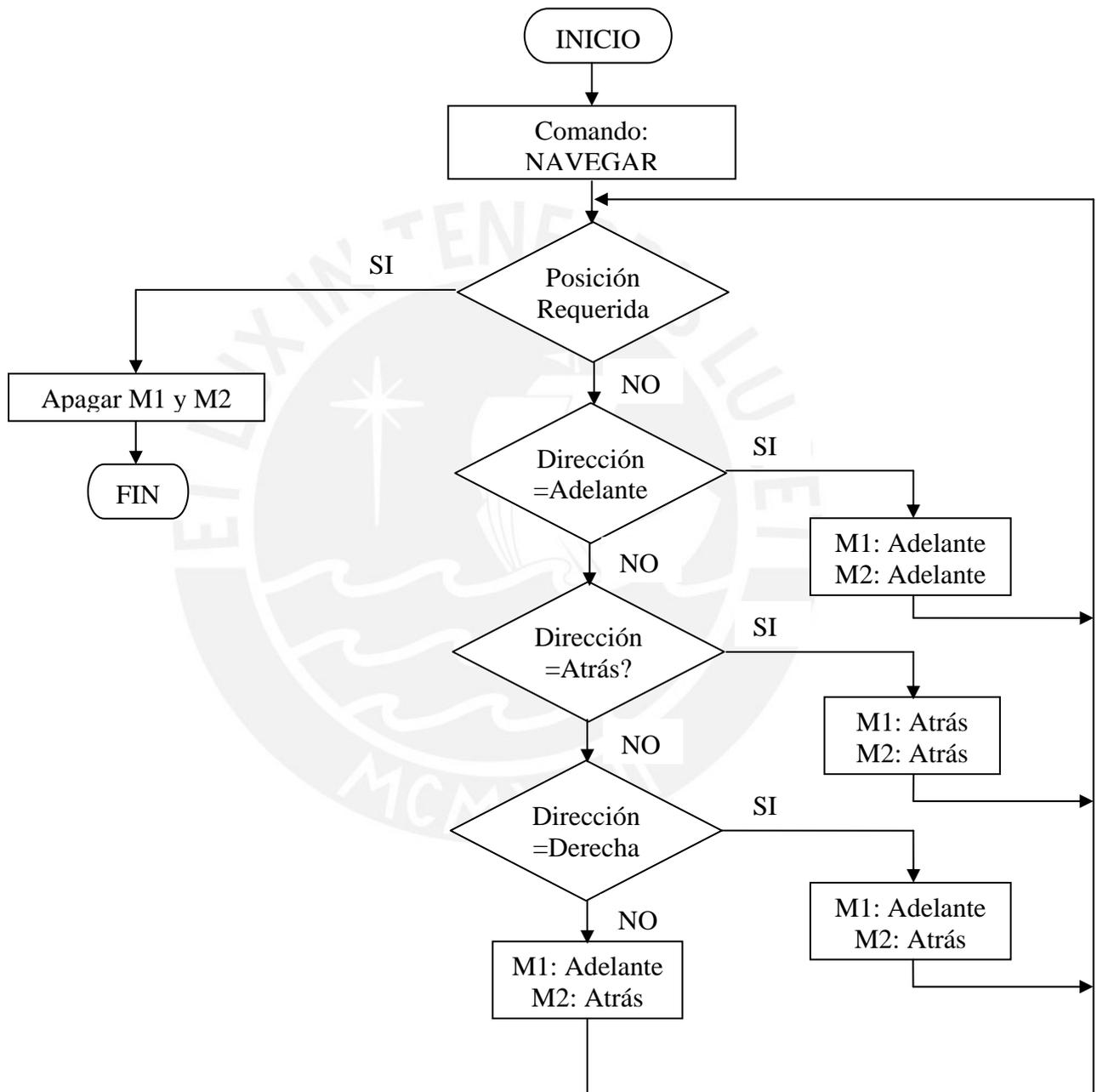


Diagrama de Flujo: Navegar el Submarino



2.4.3 Autonomía

Para definir la autonomía del submarino tenemos que saber de qué componentes se dispone para la implementación. Si bien ya se han definido los motores aún falta saber algunas especificaciones que nos permitan conocer más profundamente la duración del funcionamiento integral del prototipo. La potencia se convierte en factor fundamental para determinar dicha autonomía, no solo por la fuerza que entrega cada motor sino también por el consumo de corriente que al fin y al cabo afectará el rendimiento. No está demás indicar que la autonomía también se ve afectada por el peso del vehículo.

Para empezar a deducir la autonomía vamos a conocer estos componentes. En un principio se determina que los (02) dos motores que controlarán las hélices serán de 1/8 de HP cada uno, los otros (02) dos motores que controlarán tanto el émbolo del tanque de lastre como el movimiento de la cámara serán de 1/32 de HP.

Entonces procedemos a calcular la corriente consumida por cada uno de estos componentes, mediante la fórmula siguiente:

$$I = P \text{ (HP)} \times 746 / V \quad (2.2)$$

Para los motores de navegación:

$$I = [2 \times (1/8 \text{ HP}) \times 746] / 36 \text{ V} = 5.2 \text{ amperios}$$

Ahora vemos cuanta potencia consume:

$$(1/8) \times 746 = 93.25 \text{ Watts cada motor.}$$

La potencia de los motores que controlan tanto al émbolo como el movimiento de la cámara será:

$$(1/32) \times 746 = 23.3 \text{ Watts cada motor.}$$

Entonces tenemos un consumo total de:

$$(2 \times 93.25) + (2 \times 23.3) = 233 \text{ Watts.}$$

A este resultado le podemos agregar el consumo general de todos los circuitos, haciendo un estimado de 15 Watts más, entonces tendremos una potencia requerida de 248 Watts.

Seguidamente se define que la batería con la que se cuenta es de 12 V a 12 AH (ampere-hora). Y para llegar a 36 V usaremos un convertor DC/DC.

Si tomamos un circuito simple con una fuente de 12 V y una carga que consume 248 Watts, obtendremos una corriente de:

$$248 \text{ W} / 12 \text{ V} = 20.7 \text{ Amperios}$$

Ahora calculamos el tiempo que estará funcionando:

$$I_{\text{total}} \times t = \text{Autonomía} \quad (\text{Ampere-Hora}) \quad (2.3)$$

$$20.7 \times t = 12 \text{ AH} \quad \rightarrow \quad t = 0.58 \text{ H, es decir tendremos una autonomía de casi 36 minutos.}$$

Este resultado nos permite delimitar la aplicación, la cual será implementada en el submarino, siendo el tiempo suficiente para maniobras simples de prueba.

2.5 Transmisión de Video

Parte importante para el desarrollo de este control es la transmisión de imágenes a través de una cámara de video; esto permite identificar el terreno por donde está navegando el submarino, aparte de analizar las imágenes para usos productivos. La frecuencia de transmisión será de 2.4 GHz a través de radio frecuencia.

En el mercado podemos encontrar mucha variedad de sistemas de transmisión inalámbrica de video, incluso se incluye el control a larga distancia. Claro está, las frecuencias de transmisión y la potencia con que esta señal es transmitida también varían. Es por eso que elegir un equipo adecuado para este tipo de aplicación no es tan fácil como parece; para empezar tenemos que ver si el equipo puede soportar presiones mayores a la del medio de navegación, además de implementar un sistema de protección para aislar la cámara del agua.

Ya que mencionamos la posibilidad de adquirir un equipo para transmisión inalámbrica, también podemos mencionar la posible construcción de algún circuito de radio frecuencia para transmitir la señal, pero la complejidad de un posible diseño nos impulsa a usar un sistema ya elaborado y explotar todos sus beneficios, pero como ya se dijo, sin dejar de lado esta posibilidad.

2.6 Seguridad y Protección de Dispositivos

Una parte importante representa el conjunto de consideraciones para protección de la parte electrónica, dentro de esto encontramos que debemos proteger todo nuestro sistema contra el calor, las sobretensiones, sobrecorrientes y hasta de las ondas electromagnéticas.

Para empezar esta parte podemos mencionar la protección contra el calor, este proviene de los dispositivos electrónicos presentes en las tarjetas tanto de potencia, control y transmisión. Es por eso que preservarlos representa una tarea casi obligatoria.

Dichos dispositivos a proteger disipan mucha potencia en forma de calor, y estos son los semiconductores tales como los transistores o mosfets. Es por eso que hallar el factor de disipación para elegir un disipador adecuado es muy importante. Esto es posible de hallar mediante especificaciones de fabricantes presentes en las hojas técnicas de cada dispositivo, es así que una vez definidos la cantidad y modelo de dispositivos podremos hallar una protección adecuada.

Otra manera de brindar seguridad en nuestro sistema es evitar toda acción de algún campo electromagnético cerca de nuestros circuitos, lo cual implica separar lo máximo posible los motores de las tarjetas que componen el sistema de control.



CAPÍTULO 3:
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL A UN SUBMARINO
EXPERIMENTAL

3.1 Hipótesis de la Investigación

3.1.1 Hipótesis Principal.

Dado que la investigación submarina en el Perú, aunque poco desarrollada, está supeditada a lo que puedan lograr buzos submarinos con los límites naturales que pueda soportar una persona totalmente capacitada, y teniendo en cuenta el avance tecnológico alcanzado hoy en día, entonces el desarrollo de un control electrónico de tipo MIMO, para implementarlo en un submarino eléctrico experimental, puede solucionar en gran medida los problemas existentes que impiden una mejora substancial en lo que navegación submarina se refiere y así lograr lo que un ser humano no puede físicamente.

3.1.2 Hipótesis Secundarias.

- 1) Investigación submarina poco desarrollada lo que impide una evolución sostenida de la misma.

- 2) Actualmente la investigación se basa en el empleo de buzos que cumplen tareas limitadas por sus mismas capacidades humanas.

- 3) El desarrollo de una tecnología que ayude a solucionar estas limitaciones permitiría crear medios eficientes y simples de manejar.

- 4) Las herramientas tecnológicas existentes permiten que el diseño de un control electrónico para un submarino experimental sea totalmente viable y accesible.

- 5) Las aplicaciones para el uso de un submarino autónomo son variadas lo que aumenta su empleabilidad y lo convierte en una alternativa multidisciplinaria eficaz.

3.2 Objetivos de la Investigación

3.2.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de control electrónico, basado en el manejo de sensores y actuadores, para implementarlo en un submarino eléctrico experimental, pudiendo ser empleado en aplicaciones como en la producción pesquera, en investigación científica o hasta en inspección militar.

3.2.2 Objetivos Específicos

- 1) Mostrar la problemática y limitaciones existentes en los procesos actuales de investigación submarina.

- 2) Desarrollar un control electrónico eficiente y simple que conlleve al avance tecnológico y científico en el país.
- 3) Dar a conocer una alternativa de solución mediante el desarrollo de un sistema de control para un submarino experimental.
- 4) Lograr que el desempeño del submarino tenga menor porcentaje de error y mayor alcance que el actual proceso de investigación utilizado.
- 5) Demostrar que la alternativa dada es viable ante las limitaciones actuales en la investigación y navegación submarina.
- 6) Lograr promover el apoyo a desarrollar e impulsar esta tecnología en el Perú.

3.3 Universo y Muestra

El universo está basado por el ambiente donde se desarrolla la navegación, en este caso, la función la cumplirá una piscina, además de las diferentes actividades que seguirá el submarino en función del control electrónico desarrollado.

La muestra está dada en el monitoreo de señales que compongan el sistema de navegación.

3.4 Implementación del Sistema de Control

3.4.1 Implementación de Circuitos

En este punto veremos lo relacionado al diseño e implementación de los circuitos electrónicos a usar en el trabajo de tesis, estos circuitos son los de potencia, de control y de sensado.

3.4.1.1 Circuito de potencia

El circuito de potencia incluye el manejo de los motores usados para el desarrollo del presente trabajo de tesis, los cuales se distribuyen para navegación, para manejo del tanque de lastre y para el manejo de la cámara instalada en el submarino.

Este circuito está basado en el diseño de puentes H, los cuales comandarán el sentido de giro de cada motor. Vale la pena mencionar que en el diseño de estos puentes H se ha considerado el uso de transistores de potencia, es decir mosfets de potencia. El mosfet es un semiconductor que nos ayudará a conmutar el circuito de mando para los giros de los motores, además de distribuir adecuadamente la potencia requerida por cada uno de ellos. Se han usado mosfet tipo P y tipo N, los cuales tienen buena integración para formar el puente.

Como se mencionó anteriormente, se utilizará más de un puente para los motores por el mismo funcionamiento del submarino, el cual se divide en navegación, sumersión - emersión, y manejo de cámara. A continuación presento el diseño de cada uno de los circuitos usados para estas etapas.

En la etapa de navegación podemos mencionar que se utilizan dos motores que impulsarán al vehículo tanto para maniobrar hacia adelante, hacia atrás, izquierda o derecha. Este impulso lo proporcionarán las hélices acopladas a los motores, donde el tipo de hélice ya estará definido para la implementación total. El sentido de giro de cada hélice combinado (figura 3.1) fijará el rumbo del submarino; la combinación se presenta en la tabla 1 donde podemos apreciar, además de los giros de las hélices, los movimientos del submarino.

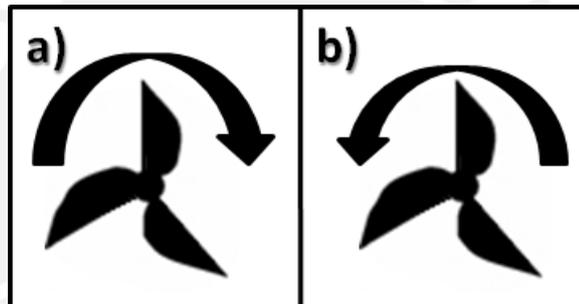


Figura 3.1- a) sentido horario. b) sentido anti-horario

| Giro de Hélice 1 | Giro de Hélice 2 | Movimiento del Submarino |
|------------------|------------------|--------------------------|
| Anti horario | Anti horario | Adelante |
| Anti horario | Horario | Derecha |
| Horario | Anti horario | Izquierda |
| Horario | Horario | Atrás |

Tabla 3.1- Combinación de giros de hélices

Las posiciones de las hélices en el submarino serán laterales para aumentar la maniobrabilidad del vehículo, esto se aprecia mejor en la figura 3.2. Cabe precisar que el acople del eje del motor con las hélices tendrá un aislamiento adecuado para no permitir el ingreso del agua y producir un posible corto circuito en los bornes del motor.

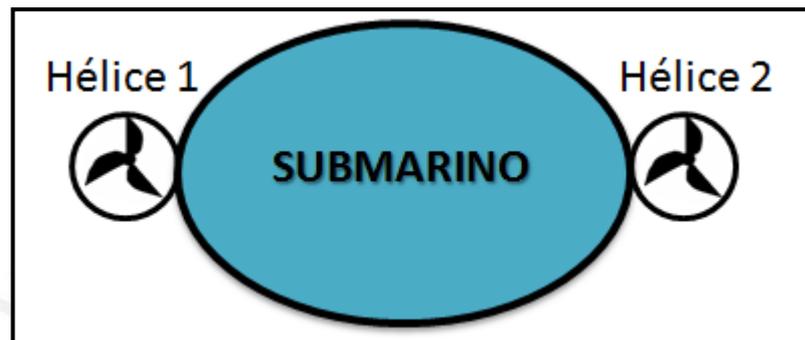


Figura 3.2.- Posición de hélices en el submarino. Vista posterior del vehículo

Los motores de las hélices estarán conectados a la tarjeta de potencia correspondiente, incluyendo la alimentación y las señales de control. Como se mencionó anteriormente esta tarjeta está basada en puentes H, los cuales son (02) dos, uno para cada motor. La configuración de este circuito se puede apreciar en la figura 3.3, donde se muestra la distribución del puente H y su funcionamiento.

Como es sabido, el sentido de giro directo del motor (M) estará dado por la activación de los mosfet S1 y S4, y esto a su vez estará controlado por la señal proveniente de la tarjeta de control que activa el transistor correspondiente y permite el paso de corriente por S1, luego por el motor y finalmente por S4. Para el sentido de giro inverso se procede igual salvo que esta vez se activarán los mosfets S2 y S3. Es muy importante mencionar que ni S1 ni S2 podrán estar activos al mismo tiempo porque podrán dañar tanto al motor como al circuito electrónico.

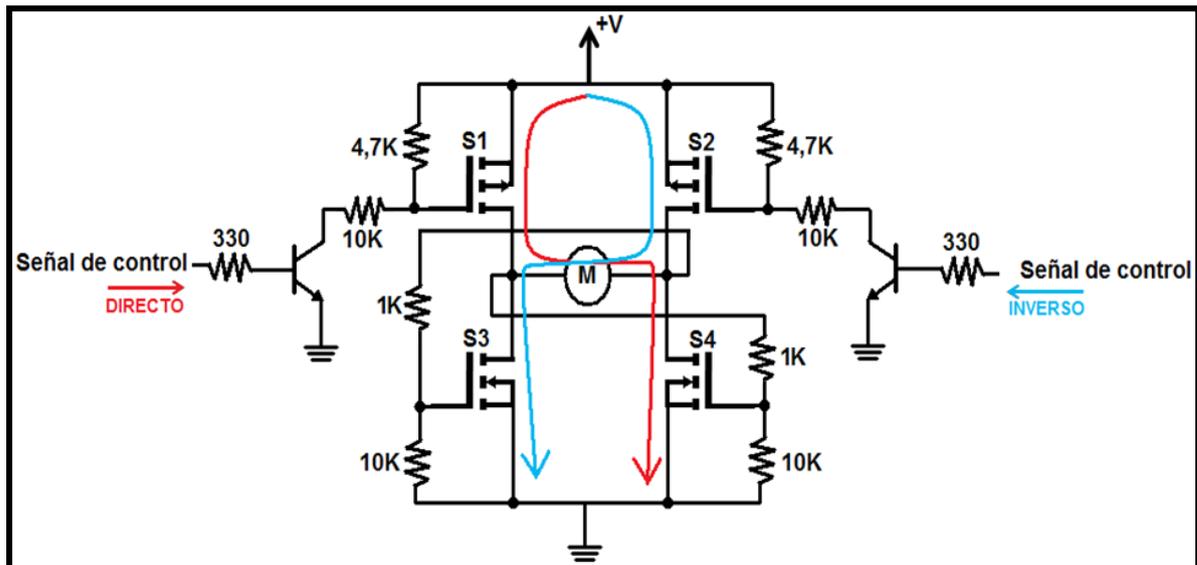


Figura 3.3- Puente H basado en mosfets

Cabe mencionar que por el nivel de tensión que se puede usar para el control de potencia de los motores, se ha agregado un divisor de voltaje a la entrada de los mosfets, asegurando que la corriente y voltaje generados no sean tan altos como para dañarlos. Ahora veremos la clase de mosfets que se usa en estos puentes H, para los tipo "P" tenemos al IRF9610 y el IRF9630, y para los tipo "N" tenemos al IRFZ44n y al IRF630. Los mosfets IRF9610 e IRFZ44n soportan corrientes por encima de los 6 amperios, mientras que IRF9630 e IRF630 tensiones por encima de 100 voltios. Las hojas de datos se adjuntan en los anexos. Dado que la alimentación para los motores está fijada en 36 voltios, supone que la alta tensión no es problema por lo que para definir la clase de mosfet a usar se centrará en la alta corriente que puede producirse en el arranque de los motores. Por ahora se probarán ambas clases de mosfet durante la etapa de pruebas y así determinar todas las características. Vale la pena mencionar que los datos técnicos de estos componentes se adjuntan en anexos.

Los otros componentes como las resistencias, servirán de referencia tanto para limitar corriente como para fijar tensiones que afecten a los transistores

o a los mosfets. Dentro de estas especificaciones de seguridad también se toma en cuenta la protección de la tarjeta de control, dado que contiene componentes sensibles a la corriente que puedan afectarlos. La manera de proteger o aislar ambas tarjetas es utilizando optoacopladores; la función de estos es la de recibir una tensión de activación, en este caso viene a ser la señal proveniente de la tarjeta de control, que por intermedio de un led transmisor que satura un foto transistor, ambos internos, ponen en alta (+5V) la línea de salida que finalmente va a los transistores que manejan el puente H.

Sustento para la elección de dispositivos:

La elección de los mosfets necesarios para armar el puente H fue por comparación de características tanto de los mosfets tipo p como del tipo n. Tal y cual se menciona en el capítulo 3, dicha elección está basada en el mejor funcionamiento del dispositivo de acuerdo a su capacidad de operación, ya sea por voltaje o por corriente.

Los resistores de $4,7K\Omega$ y de $10K\Omega$ para los mosfets S1 y S2 forman divisores de voltaje que permiten proteger dichos mosfets dado que manejar la potencia generada podría dañarlos y así dejar fuera de funcionamiento al puente H. La tensión usada es de 36 V y se desea bajar a 12 V la tensión de entrada a los mosfets, por lo que la relación de 2 a 1 puede brindarnos un rango de voltaje adecuado para su funcionamiento.

Las resistencias de 330Ω sirven para generar una pequeña cantidad de corriente necesaria para asegurar el buen funcionamiento los componentes de la tarjeta de control que contiene dispositivos sensibles. Así aseguramos cierto nivel de tensión para que dichos dispositivos y el controlador reciban señales correctas y no se dañen con falsas lecturas.

Para un mejor entendimiento podemos observar la figura 3.4 que ilustra el esquema interno de un optoacoplador y la forma como se dispondrá en la tarjeta. Como anteriormente se mencionó, las resistencias cumplen la función de limitador de corriente para no dañar los dispositivos ante sobrecorrientes.

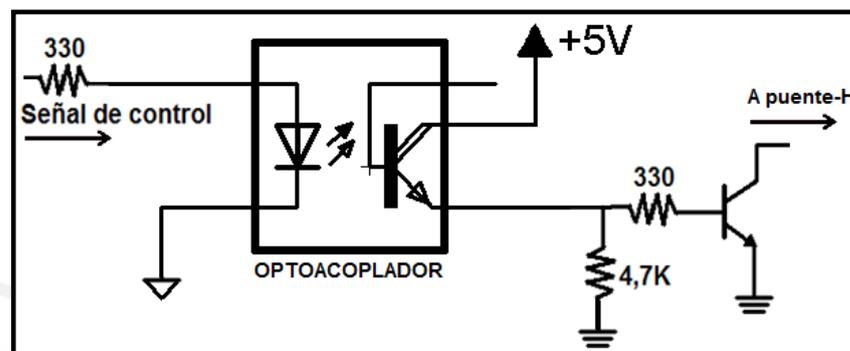


Figura 3.4- Configuración de optoacoplador

El número de optoacopladores dispuestos en la tarjeta depende el número de entradas que el o los puentes dispongan, en esta tarjeta tendremos (02) dos puentes H, y cada uno necesita dos señales de control por lo que tendremos (4) cuatro optoacopladores. Hay una acotación importante que hacer, y es que la tierra del foto-transistor debe ser completamente diferente a la tierra del led transmisor, ya que como se mencionó líneas arriba, la señal de control es digital y por consiguiente la tensión que alimenta al led transmisor está relacionada a la tarjeta de control. Dadas éstas razones para aislar ambas tarjetas, de control y de potencia, es que separamos las tierras que van conectadas al optoacoplador.

Por último, el optoacoplador a usar es el 4N33, hoja técnica en anexos, el cual sirve de acoplamiento entre circuitos de diferente potencia e impedancia. Y junto a este agregamos una etapa de conversión de tensión,

el regulador usado es el L7805, hoja técnica en anexos, el cual convertirá la tensión de entrada a 5 voltios necesarios para alimentar al optoacoplador. Es así que se presenta, en la figura 3.5, el diagrama esquemático de prueba de la tarjeta de potencia en la etapa de navegación; y en el anexo 9 se muestra la disposición de componentes en la placa impresa junto la disposición de pistas (a y b).

Sustento para la elección de dispositivos:

Este circuito (figura 3.4) es usado para aislar la señal de control que viene de la tarjeta de control y la tensión generada en las tarjetas de potencia, para asegurar un nivel de corriente suficiente para activar el led de optoacoplador se coloca una resistencia de 330Ω que por lo menos nos asegura 15mA de V_{in} para el optoacoplador. A la salida del transistor se coloca una resistencia de $4.7K\Omega$ para asegurar que la señal de activación proveniente del optoacoplador no quede en un valor intermedio.

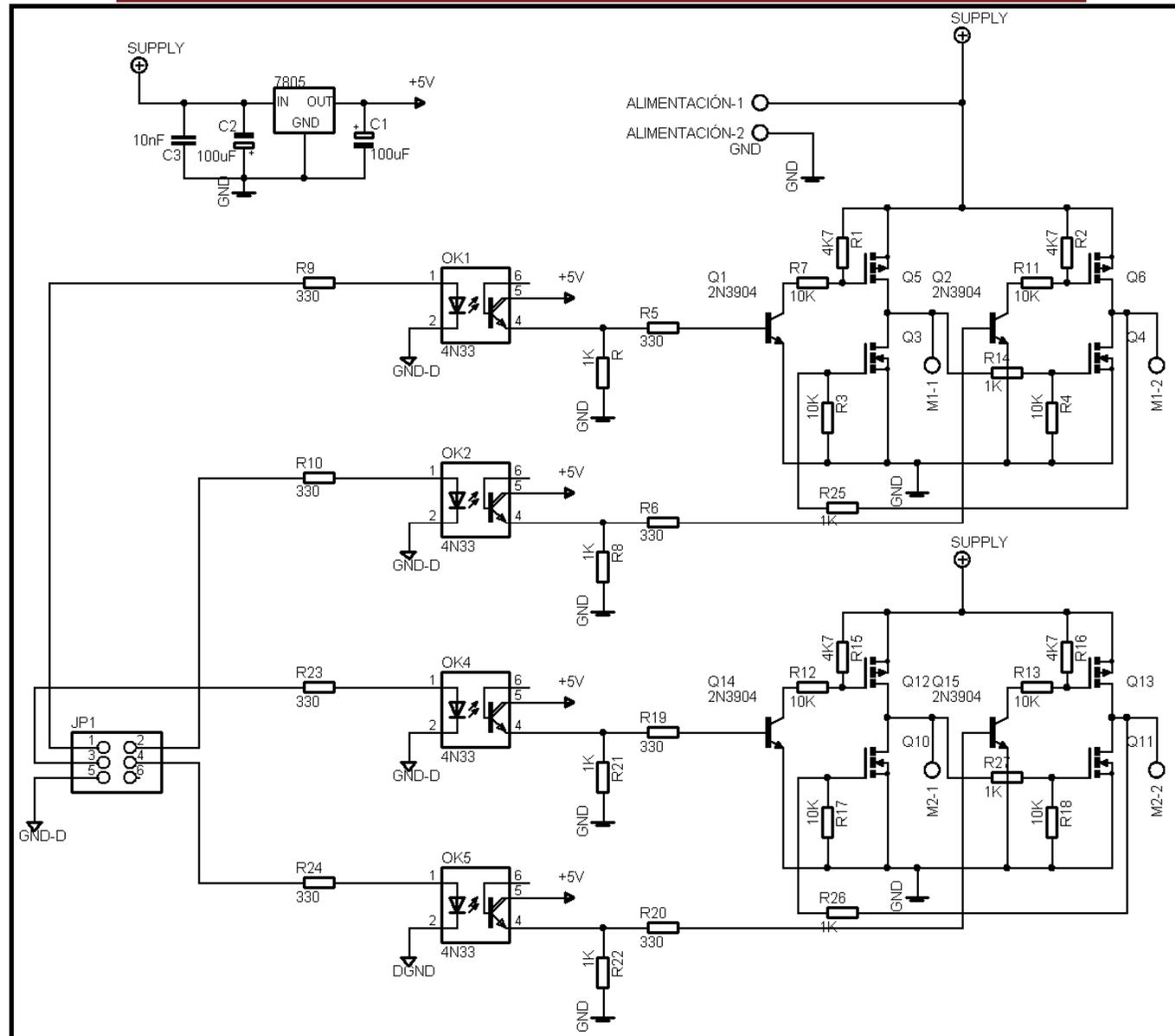


Figura 3.5- Diagrama esquemático de la tarjeta de potencia-Navegación

Sustento para la elección de dispositivos:

Este circuito (figura 3.5) sirve para controlar los motores de navegación del submarino, como se puede apreciar está compuesta de puentes H, una etapa de aislamiento de potencia y una etapa de regulación de voltaje. La etapa de regulación consiste en tomar el voltaje de alimentación general y entregar un voltaje adecuado para el funcionamiento de los dispositivos del circuito, en este caso son 5V los necesarios para los optoacopladores de la etapa de aislamiento de potencia. Tanto los valores de los puentes H como de la etapa de aislamiento ya fueron explicados en líneas anteriores.

Ahora solo cabe describir la elección de los dispositivos para la etapa de regulación de voltaje.

El nivel de voltaje que se requiere usar esa de 5V, por lo que se requiere implementar un regulador que baje la tensión de la fuente de 12V a 5V, el regulador indicado es el L7805 dado que su funcionamiento no requiere de un dispositivo dedicado, por lo que un regulador comercial como el L7805 es ideal para este tipo de trabajo. La etapa de regulación requiere de condensadores que ayuden a estabilizar la salida de 5V así como eliminar ruido de la señal a usar. Se hace un filtrado antes del regulador dado que la fuente es de un nivel muy superior a 5V, por lo que colocamos 2 condensadores tanto polarizado como no polarizado, a la salida del regulador colocamos un condensador para mejorar la respuesta de la señal.

En la etapa de sumersión y emersión podemos considerar un único puente H dado que la fuerza para mover el submarino, esto es sumergirlo o emergerlo, la dará un solo motor; y esto porque el sistema de inmersión está basado en mover un émbolo circular con diámetro similar al tanque de lastre, el cual es usado para contener al volumen de agua necesario para hacer descender al submarino, o también para desalojar dicho volumen con el objetivo de hacer ascender al vehículo.

Este sistema se aprecia mejor en la figura 3.6, en donde se muestra el acople del motor mediante un engranaje sujetado al eje del motor, el cual al estar en movimiento hará subir al émbolo que a su vez dejará ingresar agua al tanque y así hacer que el submarino descienda. Mientras que moviendo al engranaje en sentido contrario hará bajar al émbolo, desalojando el agua del tanque, con lo que el submarino ganará empuje y podrá ascender. Cabe precisar que el eje del émbolo será un tornillo “sin fin”, el cual estará acoplado junto al engranaje del motor.

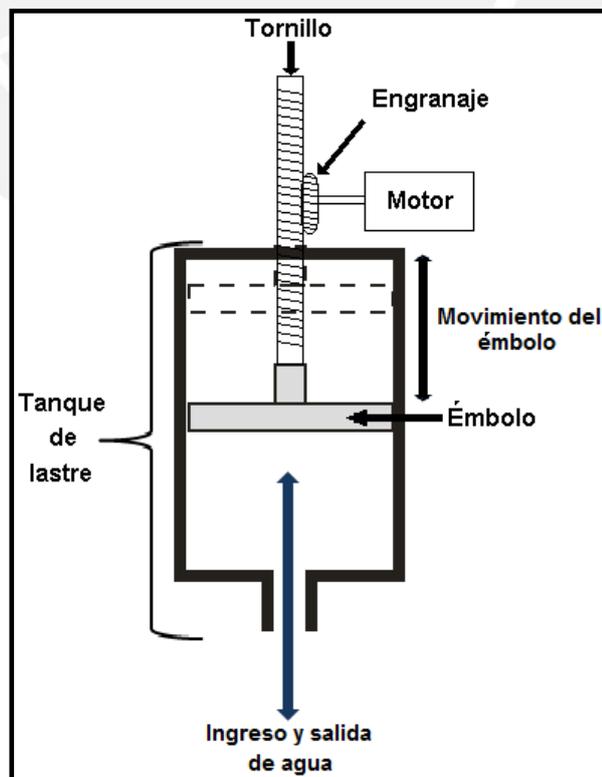


Figura 3.6- Sistema de sumersión y emersión mediante el accionamiento de un motor

Explicado el sistema de sumersión y emersión se procederá a exponer el diseño de la tarjeta de potencia en la etapa de operación del tanque de lastre. Como anteriormente se mencionó, la tarjeta estará basada en un solo puente H por lo que la complejidad es muy baja. Al igual que la tarjeta de potencia en la etapa de navegación, esta tarjeta tendrá la misma estructura de diseño a diferencia que esta vez será un solo puente H, es decir se usarán (04) cuatro semiconductores de potencia o mosfets, dos (02) de canal “P” y (02) dos de canal “N”. También se usarán (02) dos optoacopladores y (01) un conversor L7805 para alimentarlos. La tensión de alimentación será de 12 voltios y las señales de control para el motor provendrán de la tarjeta de control principal.

A continuación se muestra el diagrama esquemático de la tarjeta (figura 3.7), además de la disposición de los componentes en ésta (anexo 10-a) como de las pistas de conexión en la misma (b y c).

La tarjeta de potencia para el manejo de la cámara aún no se ha diseñado dado que es un complemento que aún no se ha visto. Luego de las pruebas respectivas a las primeras tarjetas de potencia se podrá tomar en cuenta el manejo de la cámara. Como un avance podremos decir que dicha tarjeta estará basada en un solo puente H al igual de la de operación del tanque de lastre.

Sustento para la elección de dispositivos:

Esta figura muestra los dispositivos que componen la tarjeta de potencia para el tanque de lastre, la cual activa un motor que sube y baja el émbolo que permite el ingreso del agua al tanque de lastre para que el submarino pueda sumergirse o emerger. Esta tarjeta está compuesta por un puente H de mosfets, una etapa de aislamiento con optoacopladores y una etapa de regulación de voltaje. Dichos dispositivos fueron escogidos de acuerdo a criterios aplicados a la tarjeta de potencia para la navegación del submarino.

3.4.1.2 Circuito de control

El diseño del circuito de control está basado en definir las entradas y salidas del microcontrolador ATmega8, de la familia Atmel cuya hoja técnica se encuentra en anexos, el cual controlará las acciones de todos los motores usados en el desarrollo del presente trabajo de tesis. Las señales de control que el microcontrolador envíe serán divididas según se requiera, esto es según a qué tarjeta se envíe.

Existen (02) dos tarjetas de potencia en las cuales se han definido las entradas de control que cada una dispondrá. La tarjeta de potencia-navegación requiere (04) cuatro señales de control para los dos motores que

esta comanda. Además de estas señales se tendrá que disponer de una conexión de tierra digital la cual nos asegurará que los optoacopladores de la tarjeta no tengan las mismas tierras por las razones expuestas en el punto 3.4.1.1, donde se habla del uso de optoacopladores.

La tarjeta de potencia-operación del tanque de lastre, necesitará (02) dos señales de control para el motor que esta comanda, al igual que la tarjeta de potencia-navegación se necesita disponer de una conexión a tierra digital para los optoacopladores que esta tarjeta usa.

Otras consideraciones para el diseño del circuito de control que se deben tomar en cuenta son las señales de control que este reciba, es decir las señales de los sensores que estarán conectados a la tarjeta de control. Los sensores a usar serán de proximidad, los cuales estarán basados en detección de luz infrarroja. Cada sensor tendrá su circuito de detección basado en transmisor y receptor infrarrojo, los demás detalles serán explicados más adelante en su respectivo punto. La señal proveniente de dicho sensor es solo una, la cual nos indicará si algún objeto está cerca o no del submarino, ya que dicho objeto puede representar peligro de colisión que dañe al submarino. Tomando en cuenta esto entonces podemos decir que se necesitará habilitar la conexión a los pines del microcontrolador para manejar la señal de dicho sensor; cabe señalar que el número de sensores a utilizar serán (04) cuatro, cada uno estará instalado en cada lado del submarino, esto es al frente, atrás, costado izquierdo y costado derecho.

Existe la posibilidad de agregar un sensor más el cual será de ultrasonido, esto para determinar la profundidad a la cual estará sujeto el submarino. Por ahora no se ha tomado en cuenta el diseño de este ya que se encuentra en estudio.

Otra consideración en este diseño es la alimentación de la tarjeta; dado que debemos separar la alimentación de control con otras alimentaciones, se usará una batería de 9 voltios con la suficiente potencia para mantener activa la tarjeta y además asegurar que su respectiva tierra sea diferente a las de las otras tarjetas. Es importante considerar que hay especificaciones de diseño en relación al uso de este microcontrolador, como la de considerar un pulsador de reinicio conectado al pin número 1, esto para regresar a los valores iniciales a todos los pines en caso haya algún error o desperfecto.

Y como punto importante cabe mencionar que se debe tomar en cuenta los pines de programación, los cuales son MOSI, MISO y SCK, los que van conectados a los pines 17, 18 y 19 respectivamente. Estos son necesarios para la conexión del programador y la respectiva escritura del código dentro del microcontrolador. No debemos olvidar que también se utiliza un convertidor L7805 para energizar al microcontrolador y los circuitos de sensado.

A continuación se presenta el diagrama esquemático de la tarjeta de control (figura 3.8) considerando únicamente la implementación de la recepción del sensor de proximidad, donde más adelante se procederá describirla.

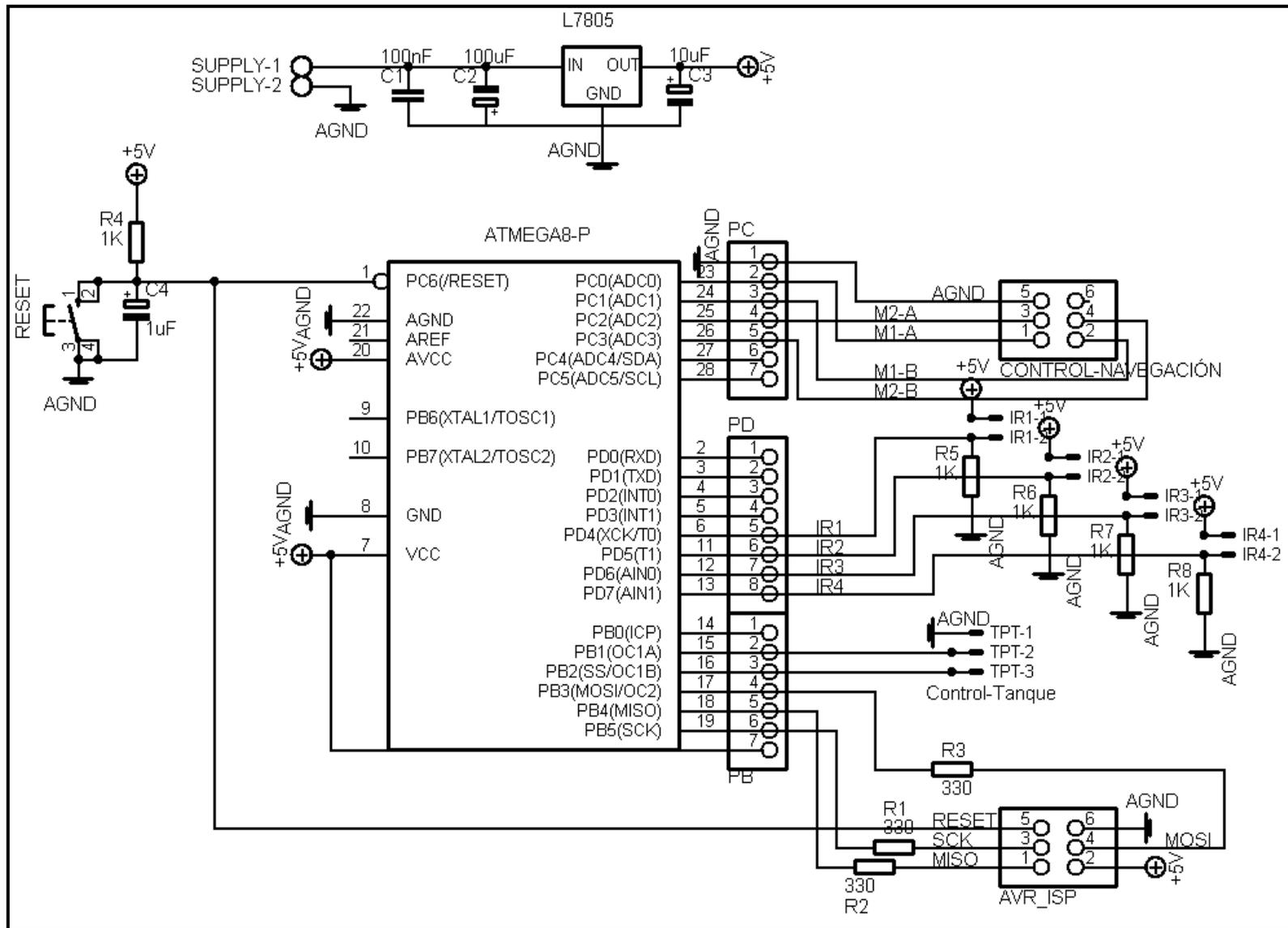


Figura 3.8- Diagrama esquemático de la tarjeta de control

Sustento para la elección de dispositivos:

Este circuito (figura 3.8) muestra la etapa de control del submarino, esta incluye los dispositivos de programación tal como el micro controlador AT Mega8, al igual que los circuitos anteriores se toma en cuenta la regulación de voltaje.

Se puede notar que este circuito es el que entrega las señales a los otros circuitos por lo que todo termina en borneras de conexión, en consecuencia la parte importante del circuito se centra en el micro controlador, por especificaciones técnicas se incluye un circuito de reset para dicho micro controlador.

Ahora veremos en detalle las conexiones para las tarjetas de potencia, para la recepción de señal del sensor y la conexión ISP del programador. Empezaremos con las señales de control hacia las tarjetas de potencia; tal como se muestra en la figura 3.9, las conexiones a la tarjeta de potencia en su etapa de navegación son (05) cinco. (1) y (2) controlarán al motor 1, (3) y (4) controlarán al motor 2 y (5) será la conexión disponible a tierra digital.

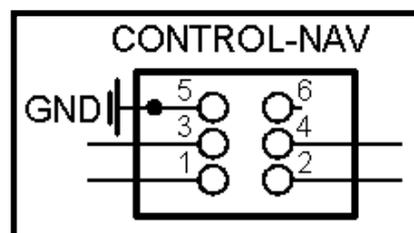


Figura 3.9- Conexión a la tarjeta de potencia-navegación

Ahora veremos las conexiones a la tarjeta de potencia en su etapa de operación del tanque de lastre. En la figura 3.10 se aprecia de mejor manera

que (1) y (2) controlarán al motor para la sumersión y emersión del submarino, mientras que (3) será la conexión a tierra digital.

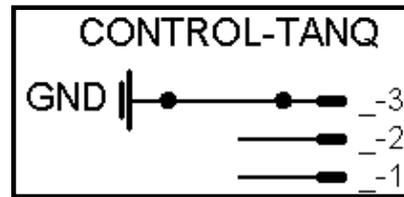


Figura 3.10- Conexión a la tarjeta de potencia-operación del tanque de lastre

Como se dijo anteriormente, para esta tarjeta de prueba tomaremos en cuenta solo un receptor del sensor de proximidad, y los pines asignados son de recepción de señal (1) y alimentación del respectivo optoacoplador (2).

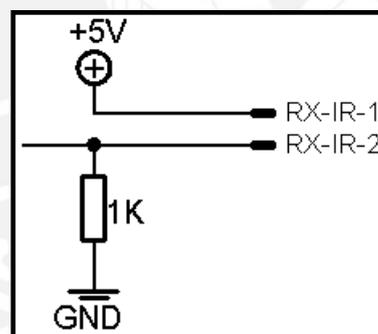


Figura 3.11- Conexión desde la tarjeta de sensado infrarrojo

Y por último veremos las conexiones al programador del microcontrolador. Este programador es el AVRISP mkII de Atmel cuya hoja técnica se encuentran en anexos, teniendo una disposición de pines según hojas técnicas. Dentro de esta podemos apreciar que están presentes las conexiones hacia los pines de programación del ATmega8, además de la alimentación y tierra respectiva, sin olvidar la conexión al pulsador de reset para reiniciar los valores iniciales.

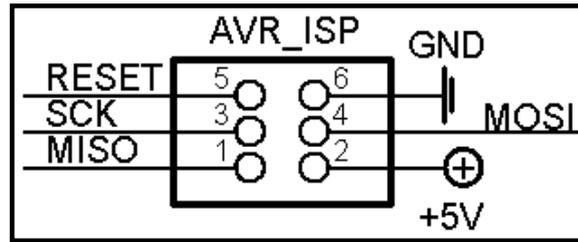


Figura 3.12- Conexión hacia el programador AVRISP mkII

Habiendo explicado esto procedemos a mostrar los diagramas de la tarjeta impresa y de la disposición de componentes dentro de ella.



3.4.1.3 Circuito de sensado

Como se explicó anteriormente, el circuito de sensado está basado en un transmisor y un receptor de luz infrarroja. La lógica que aplicamos es simple, consiste en emitir luz infrarroja en cierta dirección, esta rebotará en algún objeto cercano al submarino y será captada por el receptor. En la figura 3.13 podemos observar la ubicación y lógica de funcionamiento de estos leds infrarrojos.

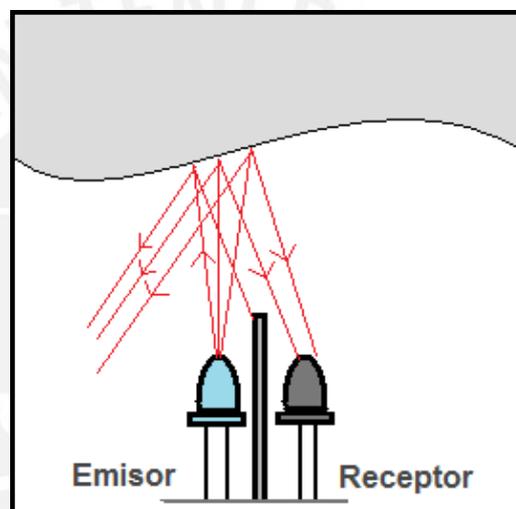


Figura 3.13- Disposición de leds infrarrojos y funcionamiento

Dentro del diseño de este circuito se toma en cuenta que se debe emitir ráfagas de luz para que sean captadas por el fototransistor, y para esto vamos a usar el un circuito integrado el cual es el LM567, hoja técnica en anexos. Este integrado es un decodificador de tonos con el que podemos controlar la emisión de luz, además de poder manejar la recepción de luz por el fototransistor. Para poder controlar la señal hacia la tarjeta de control, utilizamos un optoacoplador y así independizar la tarjeta de sensado. A continuación presentamos el diagrama esquemático de la tarjeta de prueba para este circuito (figura 3.14). Además de los componentes y tarjeta impresa (anexo 12).

3.4.2 Implementación de Software

En este punto veremos lo relacionado a lo que es la programación del controlador a usar, en este caso el microcontrolador ATmega8 de Atmel. Describiremos la secuencia lógica a seguir además de mostrar en diagramas de bloques y flujo el desarrollo de este trabajo.

3.4.2.1 Diagrama de bloques

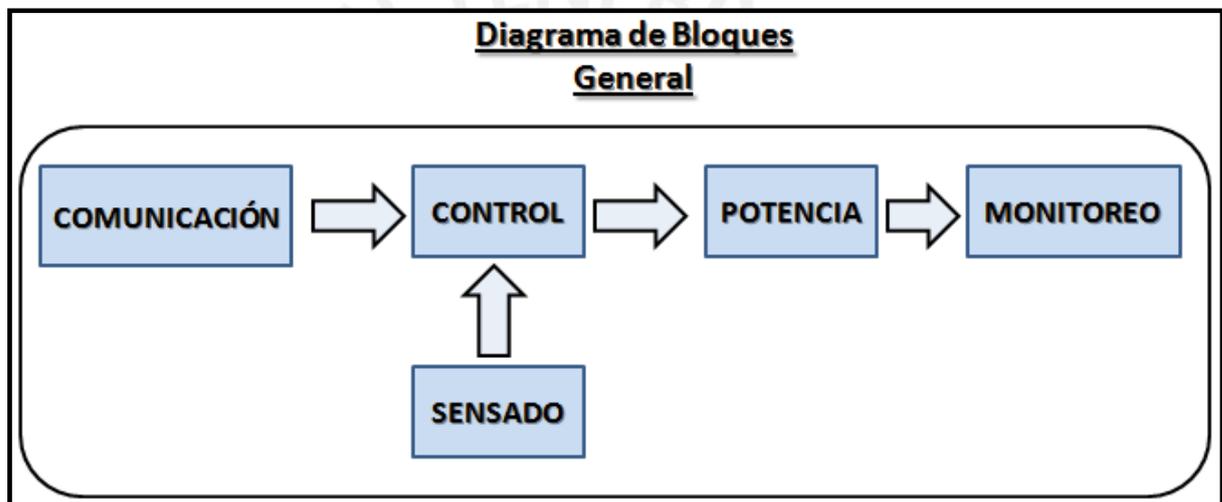


Figura 3.15- Diagrama de bloques general del funcionamiento

Aquí mostramos el diagrama de bloques del sistema que controlará al submarino; como se aprecia, se ha considerado los sistemas de comunicación y monitoreo, esto para controlar las acciones del submarino desde una base de monitoreo que pueda manejar un pequeño control basado en radio frecuencia. El sistema de monitoreo consiste en la transmisión de imágenes de video hacia la pequeña central donde se podrán visualizar las zonas por donde navegue el vehículo.

En los siguientes diagramas de bloques presentamos los diferentes sistemas que conforman el funcionamiento del presente trabajo de tesis. Se

presentarán los sistemas de comunicación tanto para controlar el submarino como para transmitir las imágenes de video, también están los sistemas de control, de potencia y de sensado.

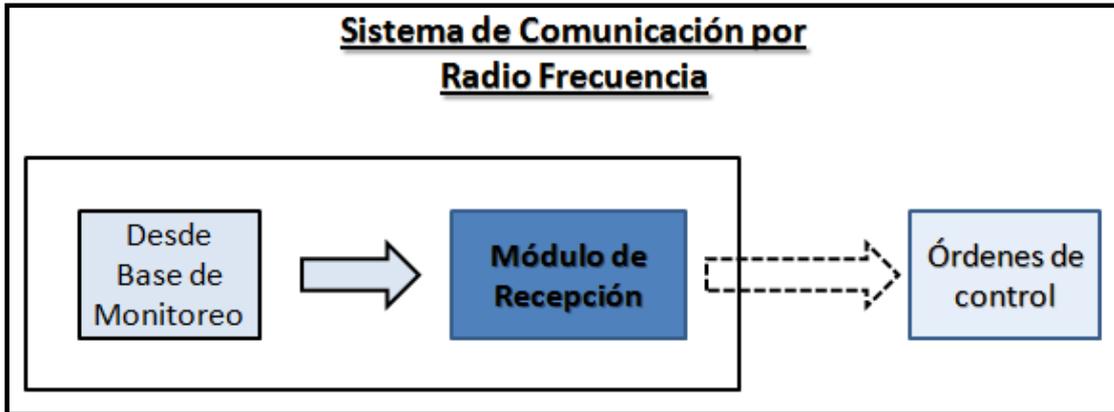


Figura 3.16- Diagrama de bloques de comunicación RF

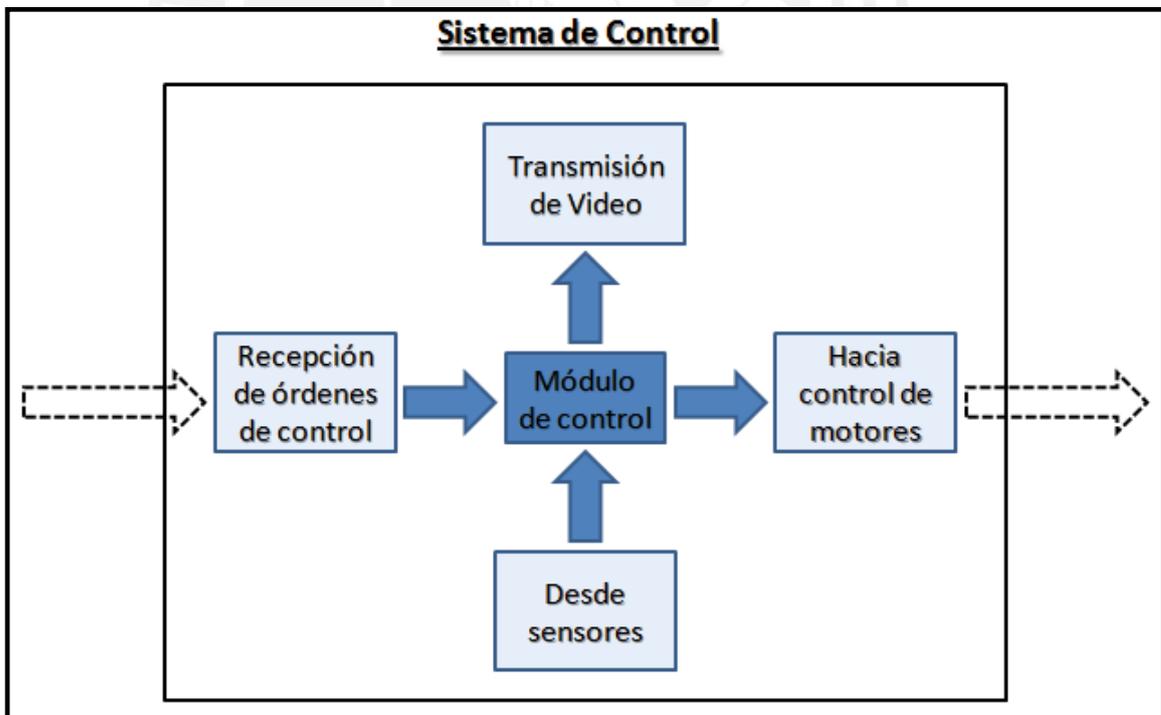


Figura 3.17- Diagrama de bloques de control

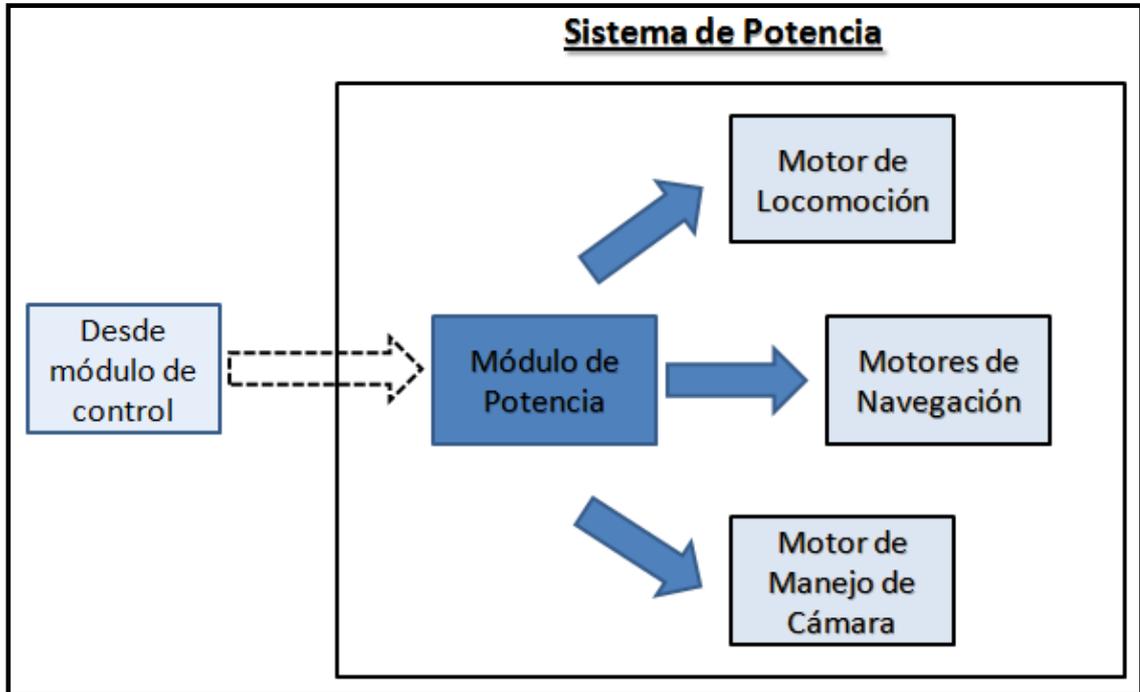


Figura 3.18- Diagrama de bloques de potencia

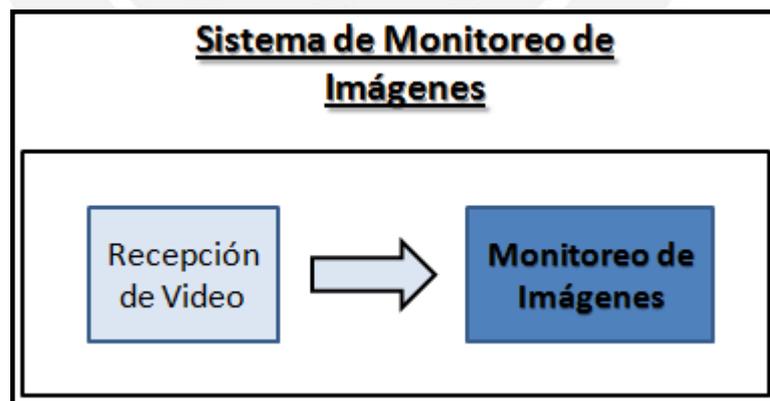


Figura 3.19- Diagrama de bloques

3.4.2.2 Diagrama de flujo

Mostraremos algunos diagramas de flujo para dar a conocer el funcionamiento específico de cada función para la cual se va a trabajar, de las que podemos mencionar tenemos a la lógica de la rutina principal (figura 3.20), la lógica de navegación del submarino (figura 3.21) así como la sumersión y emersión (figuras 3.22a y 3.22b respectivamente).

Es importante mencionar que los demás diagramas de flujo están siendo trabajados para lo cual es necesario definir todos los sistemas usados. Es por eso que tanto el diagrama principal como las de sus subrutinas aún no serán mostrados.

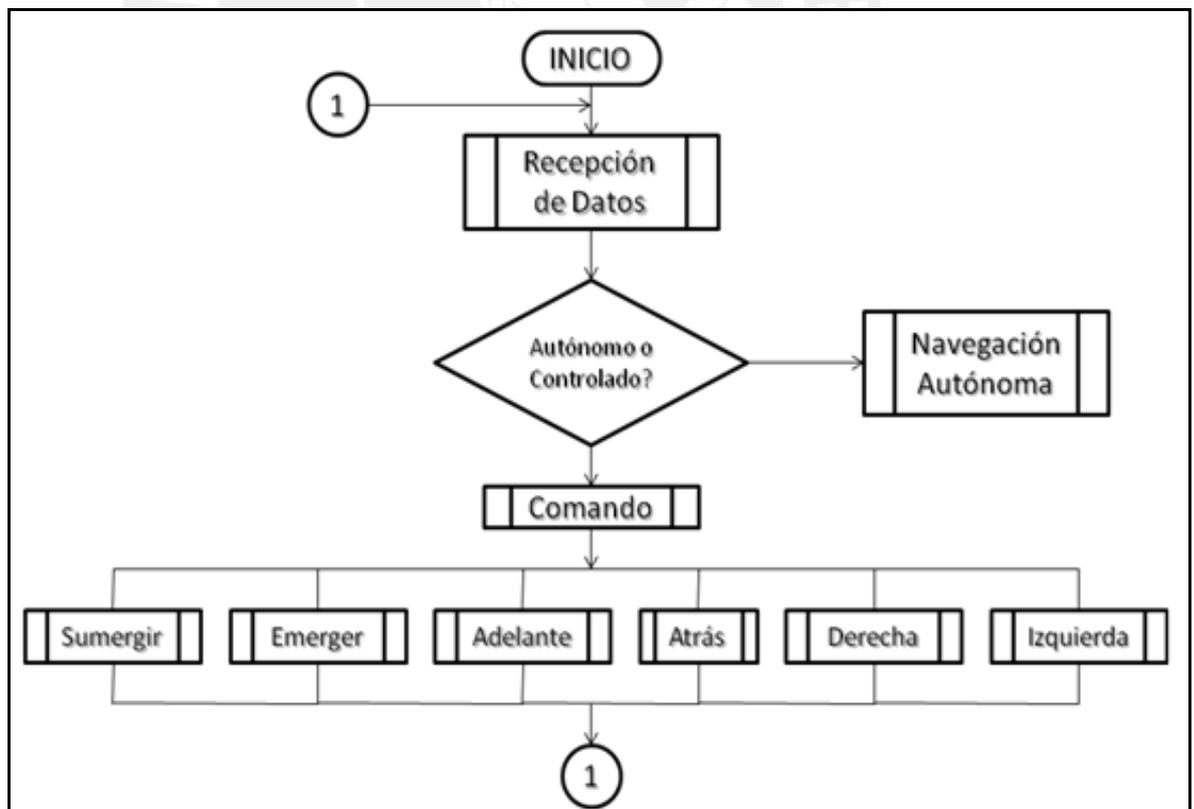


Figura 3.20- Diagrama de flujo principal

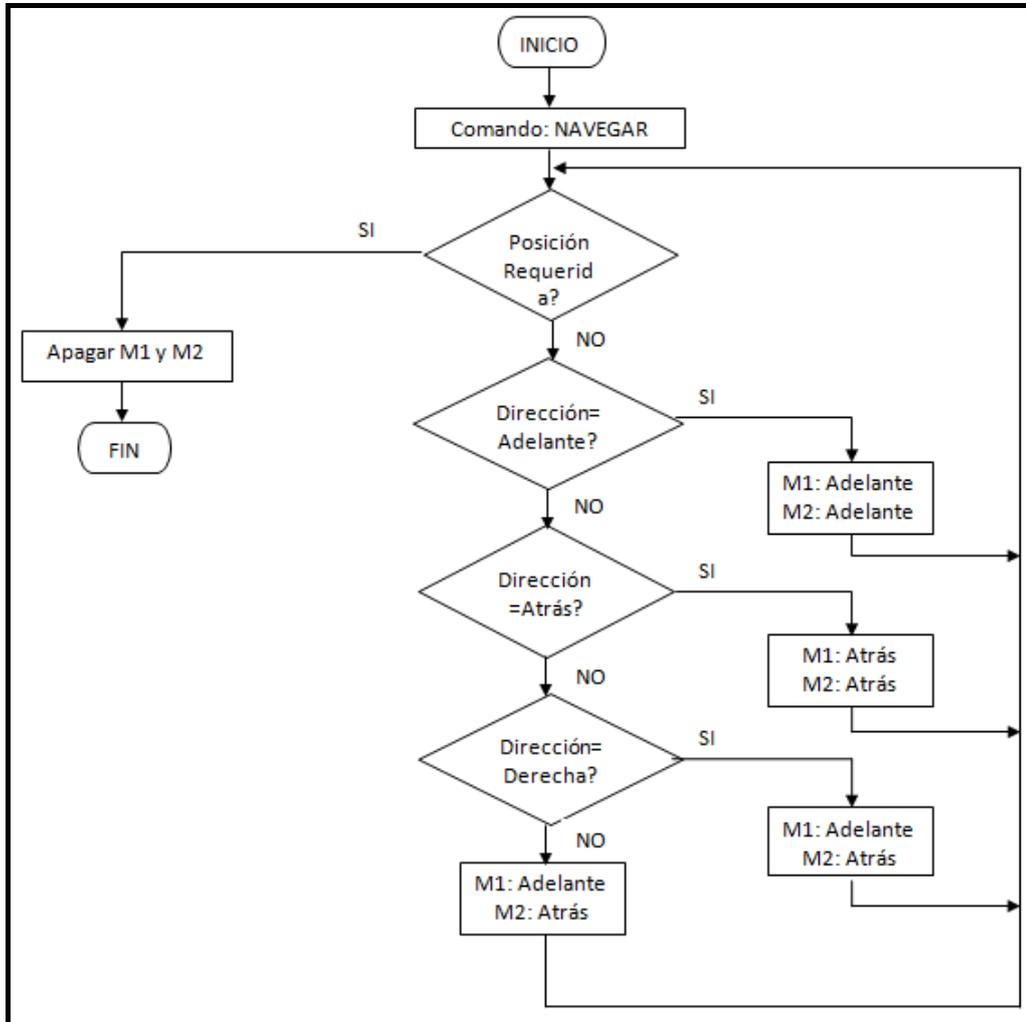


Figura 3.21- Diagrama de flujo de navegación

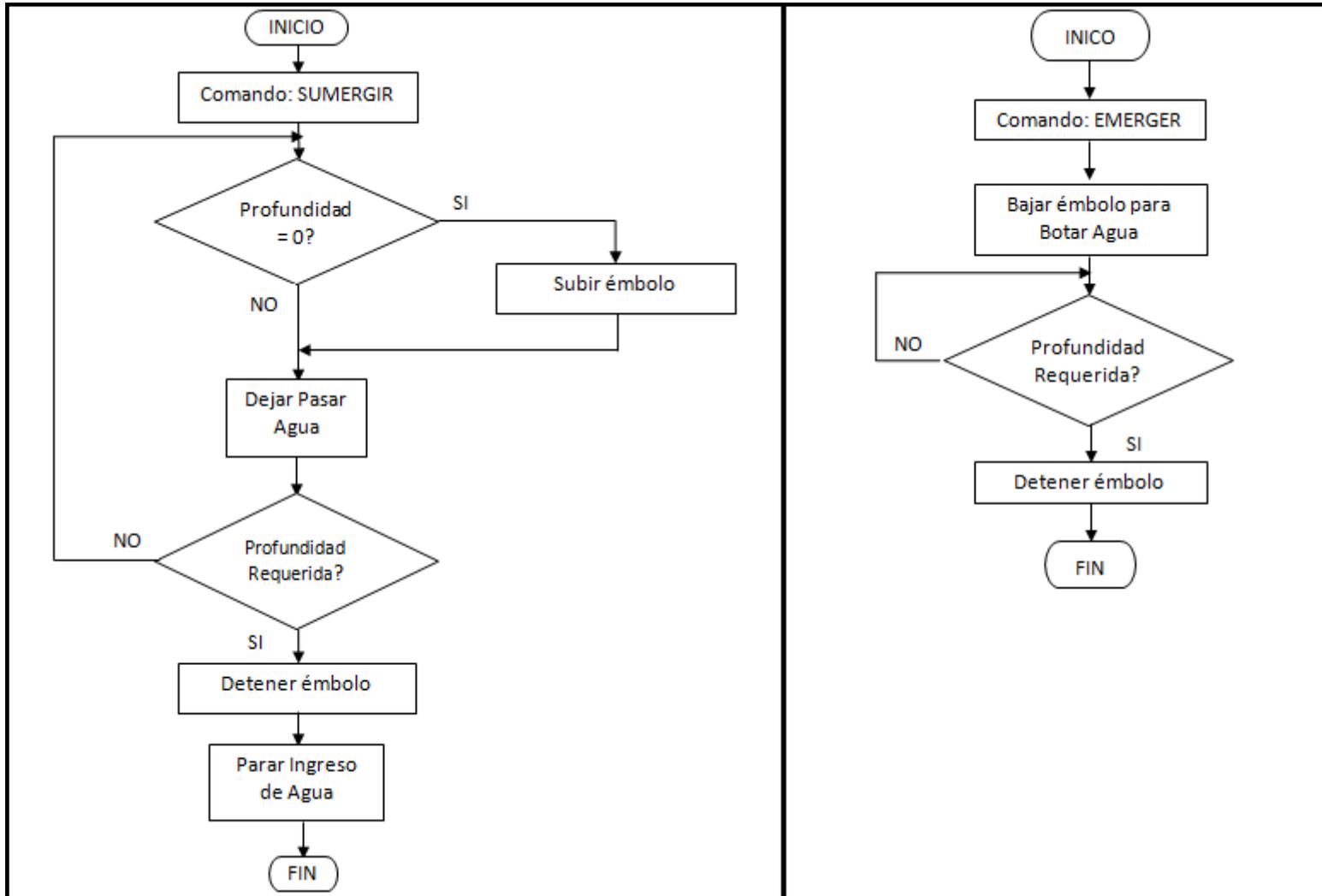


Figura 3.22a)- Diagrama de flujo de sumersión. b)- Diagrama de flujo de emersión.

CAPÍTULO 4: SUBMARINO ELECTRICO EXPERIMENTAL AUTÓNOMO PARA APLICACIONES DE INVESTIGACIÓN

4.1 Análisis General del Sistema

En este capítulo veremos lo que corresponde al funcionamiento general del prototipo, centrándonos en las tarjetas implementadas y conectadas entre sí. Además verificaremos que el submarino experimental llegue a ser completamente operativo para lo cual se tendrá que ajustar a los requerimientos inicialmente planteados en este trabajo de tesis, cumpliendo así con los objetivos trazados.

Ya que todo el sistema para el control electrónico está compuesto por diferentes etapas, nos dedicaremos a analizar cada una de ellas para ver en detalle la función que cumplen y su operatividad. En este punto distribuiremos dichas etapas en:

- Sistema de Potencia
- Sistema de Control
- Sistema de Sensado
- Sistema de Radio Frecuencia

Adicionalmente se analizará la transmisión de imágenes de la cámara instalada en el prototipo para monitorear las regiones por donde navegue. Dado que no se desarrollará algún equipo en especial para la transmisión de imágenes, se tocará este tema al final del análisis general del funcionamiento; claro está, sin dejar de lado la importancia que este tema representa ya que con esta herramienta podremos ver y analizar el material necesario para propósitos de investigación.

A continuación se presenta el análisis de los sistemas arriba mencionados.

4.1.1 Sistema de Potencia:

El sistema de potencia comprende el funcionamiento, valga la redundancia, de las tarjetas de potencia y la correcta comunicación con el sistema de control. En el capítulo anterior se dio a conocer el diseño y la implementación de las tarjetas que componen este sistema, dando detalles del funcionamiento de estas por lo que en este capítulo no se tocará dichos detalles, pero si se tomará en cuenta algunas especificaciones necesarias para explicar el trabajo final de estas tarjetas.

Las tarjetas de potencia fueron implementadas con la finalidad de transmitir la energía necesaria para mover los motores empleados en el submarino, y que al fin y al cabo darán la maniobrabilidad necesaria para controlarlo y poder navegar sin dificultades. Dichas tarjetas, en primera instancia, fueron probadas individualmente para verificar que no hubiesen errores de diseño o de conexión que pudiesen dañar los componentes a su alrededor, tales como los motores o las tarjetas que controlarían las acciones de navegación.

Las pruebas realizadas consistieron en alimentar dichas tarjetas de potencia con un nivel de voltaje similar al que se usará en el prototipo, y simular las señales de control para manejar el sentido de giro de los motores. El nivel de tensión usado para la tarjeta de potencia-Navegación fue de 24 voltios mientras que para la tarjeta de potencia-Tanque de lastre fue de 12 voltios, ya que esta controlará la energía para mover el motor que accionará el sistema de sumersión y emersión. Para ambas tarjetas se simuló las señales de control dando un nivel de 5 voltios para cada una, simulando un “1” lógico para activar un sentido sin olvidar conectar una señal de tierra diferente a la de la tarjeta de potencia.

Los motores utilizados en estas pruebas fueron de corriente continua, para la tarjeta de la navegación se usaron dos motores con una potencia de 500 Vatios a un nivel de 24 voltios cada uno; mientras que para la tarjeta del tanque de lastre se usó un motor de 12 voltios a 120 Vatios de potencia.

Los resultados de las pruebas realizadas fueron exitosos, controlando los movimientos de giro de cada motor perfectamente sin presentar ningún inconveniente. El tiempo de activación de estos motores fue de 15 minutos, llegando a no calentar demasiado los semiconductores, en este caso los transistores de potencia y el regulador de voltaje. Si esto sucediese podría dañar dichos componentes y así el funcionamiento de la tarjeta, y para evitar esto se ha acoplado disipadores adecuados para no permitir este sobre calentamiento.

Una vez terminadas las pruebas se procede a la fabricación de las tarjetas finales que estarán instaladas en el submarino experimental.

Hasta este punto de avance se llegó tomando en cuenta la correcta funcionalidad de las tarjetas, siendo tema pendiente la elaboración final de éstas.

Finalmente, se puede concluir que los diseños utilizados en esta etapa son eficientes y adecuados para distribuir la potencia necesaria para los motores acoplados al submarino experimental.

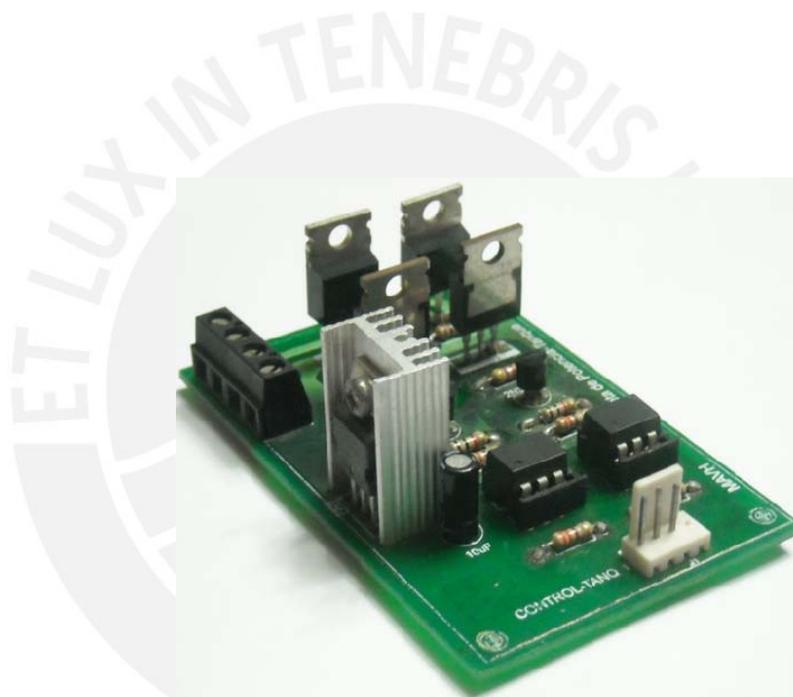


Figura 4.1. Tarjeta de Potencia-Tanque de Lastre

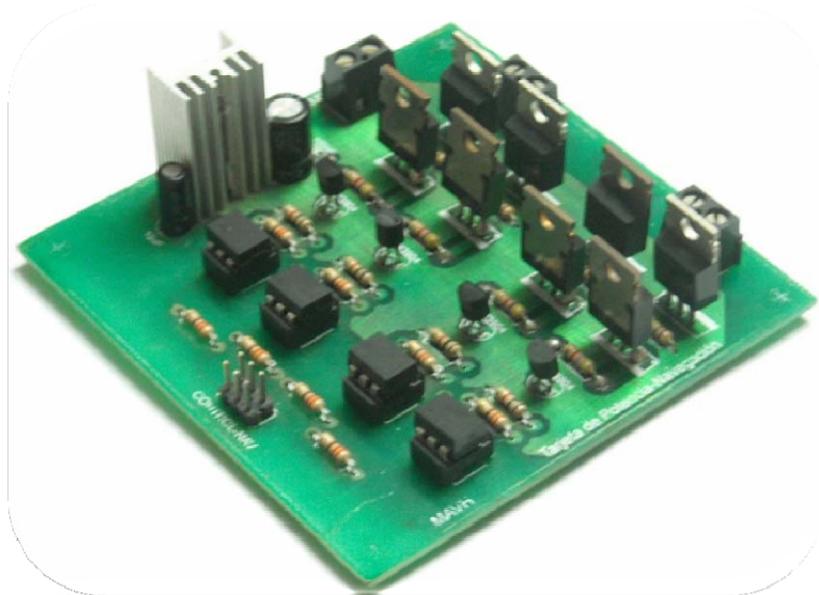


Figura 4.2. Tarjeta de Potencia-Navegación

4.1.2 Sistema de Control:

El sistema de control comprende el funcionamiento de su respectiva tarjeta, además de una comunicación adecuada entre los componentes a su alrededor tales como las tarjetas de potencia, las tarjetas de sensado, la tarjeta de transmisión por radiofrecuencia y alguna opción de conexión adicional que pueda presentarse.

Si bien se trata de una sola tarjeta, también representa la más importante dentro del funcionamiento general del submarino experimental. La tarjeta de control, como su nombre lo indica, contiene las instrucciones de control necesarias para brindarle maniobrabilidad al prototipo y no solo eso, sino además ser capaz de evitar choques con obstáculos manejando las señales que provienen de los sensores de proximidad.

Las instrucciones de control en las que se basa este sistema son comandos lógicos que trabajan con las señales de entrada y salida con las que cuenta el microcontrolador. Afortunadamente el empleo de señales de entrada para elaborar la lógica del programa puede ser manejable y configurable, dándonos la libertad para desarrollar un adecuado control para enviar apropiadas señales de salida a nuestros actuadores, en este caso los motores de navegación.

Para un mejor entendimiento se explica la lógica del control en un diagrama de flujo, en donde se detalla el procedimiento que se sigue para elaborar las instrucciones que componen el programa principal y sub programas que ayudan a controlar convenientemente al submarino experimental. Dichas instrucciones se basan en utilizar recursos propios del microcontrolador, y así explotar su capacidad en función de “cerebro” del control electrónico.

Tal como se mencionó en el capítulo anterior, el microcontrolador usado es uno del fabricante Atmel llamado ATmega8, el cual aprovechamos por su facilidad de programar. Este microcontrolador puede ser programado mediante lenguaje ensamblador, el cual se basa en una lista de instrucciones lógicas que conforman un programa apropiado para nuestro propósito de control. Sabido esto, las instrucciones que fueron elaboradas para el microcontrolador se desarrollaron en el programa AVR Studio 4, el cual es un entorno de desarrollo integrado también del fabricante Atmel. Con esto nos facilita resolver el problema de compatibilidad para el microcontrolador, y la particularidad de este radica en que las instrucciones son procesadas a una frecuencia de 1 MHz, esto significa que cada una de estas instrucciones dura 1 micro segundo ($\mu\text{s.}$) en ser procesada por el microcontrolador proporcionándonos la velocidad suficiente para tener una respuesta rápida y segura para

que el control electrónico del submarino pueda simularse a tiempo real.

En el anexo correspondiente al ATmega 8 se muestra la disposición de pines del microcontrolador usado, y para tener un mejor panorama de cómo se usará dicha disposición de pines dentro de este trabajo se muestra la figura 4.3. Cabe señalar que esta disposición se usó para la tarjeta de control en prueba, dado que las señales de las tarjetas de sensado serán (04) cuatro y en este punto se había utilizado solo (01) una.

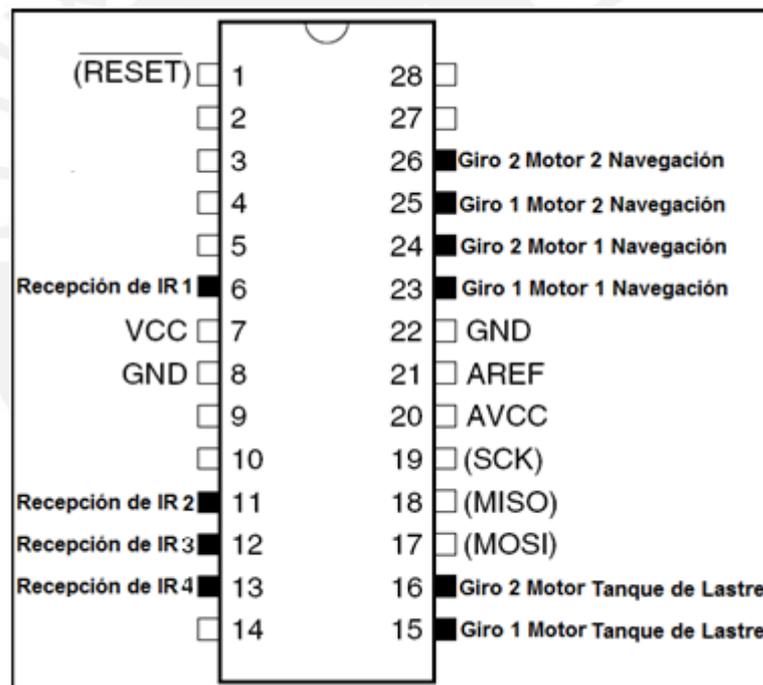


Figura 4.3 Pines usados para la tarjeta de control en prueba

Para finalizar esta etapa, podemos concluir que hasta este punto se necesita implementar de la mejor manera la lógica de control aún en progreso. Por lo pronto se tiene la tarjeta de pruebas ya finalizada y

lista para usar para posteriormente implementar la tarjeta de control final que irá acoplada en el submarino experimental.

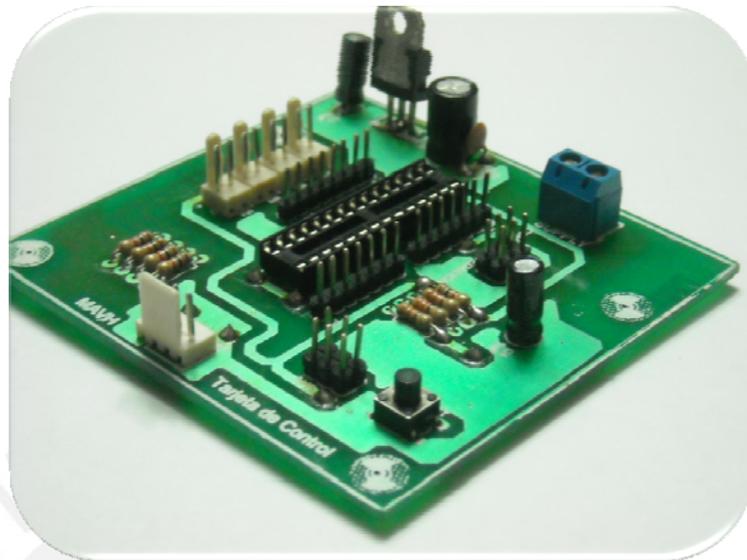


Figura 4.4 Tarjeta de control

4.1.3 Sistema de Sensado:

El sistema de sensado consiste en la funcionalidad de las tarjetas de los sensores de proximidad, los cuales están basados en sensores infrarrojos. Estos sensores, a su vez, están conformados por un led transmisor infrarrojo y un fotodiodo receptor infrarrojo, en la figura 4.5 se muestra la disposición de estos sensores infrarrojos. Y como se podrá observar están separados por una barrera con la finalidad de impedir que haya interferencia entre ambos y no se pueda llegar a su objetivo acometido, el cual es el de detectar obstáculos a cierta distancia y mandar las señales a la tarjeta de control para que maniobre al submarino en sentido contrario y evitar choques.

Como se mencionó anteriormente, los sensores de proximidad serán cuatro (04), esto porque se necesita tener una referencia en cada lado del submarino, es decir, en la parte de adelante, atrás, izquierda y

derecha. Por lo que se necesita manejar el mismo número de señales de recepción en la tarjeta de control, explicado líneas anteriores.

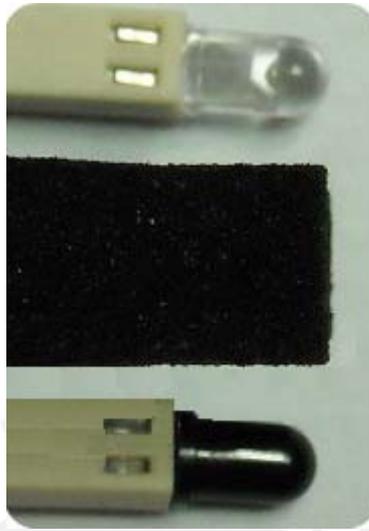


Figura 4.5 Sensores infrarrojos

La ubicación exacta de cada uno de estos sensores se dará a conocer en adelante ya que aún no se acopla todo el sistema en el submarino experimental, y por lo pronto se tiene la tarjeta de pruebas que incluye un generador de señal adecuada para el led transmisor de infrarrojo, y además recibe la señal del fotodiodo receptor de infrarrojos para así detectar el obstáculo. Una vez logrado esto envía una señal a la tarjeta de control para que maniobre al submarino.

Una de las especificaciones en el diseño fue el uso del integrado LM567, el cual es un decodificador de tonos que efectuará la función de emisor de tonos y receptor de la misma señal, a su vez enviará la señal de control.

Y para finalizar las observaciones sobre este sistema podemos concluir diciendo que la tarjeta de sensado fue terminada, estando operativa. La figura 4.6 muestra dicha tarjeta culminada. Las pruebas

fueron hechas alimentando la tarjeta con un nivel de 5 voltios, suficiente para el trabajo normal de la misma. Se verificó que llegase una señal de confirmación o de detección de obstáculo, haciéndolo a una distancia de un metro (1 m.), la cual es suficiente para maniobrar al submarino sin que este llegue a chocar con el obstáculo mientras cambia de sentido.

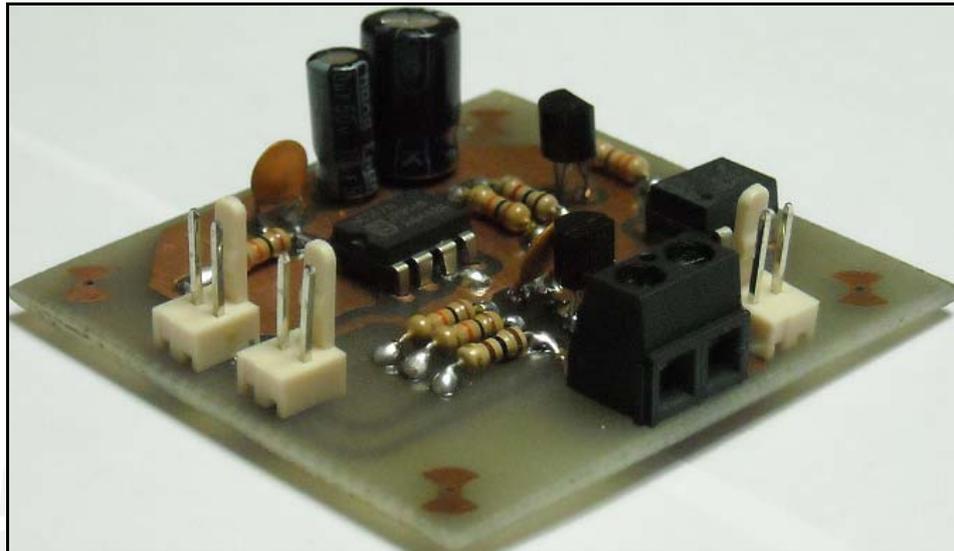


Figura 4.6 Tarjeta de sensado de proximidad

4.1.4 Sistema de Radio Frecuencia:

El sistema de radio frecuencia consta de la transmisión de señales a una frecuencia apropiada para el control inalámbrico del submarino experimental. Si bien en un principio fue sugerido solo como una opción, se requirió tener más control sobre el prototipo por lo que se optó por implementar este sistema.

El desarrollo de esta etapa está en progreso por lo que no se obtienen resultados palpables a este punto del avance del trabajo de tesis. Sin embargo la investigación realizada ha obtenido resultados que suman a esta tesis.

La transmisión de radio frecuencia por debajo del agua no es muy común, incluso no es una opción tomada con demasiado optimismo dentro de la actual tecnología de submarinos experimentales para investigación. Este inconveniente surge porque las ondas electromagnéticas no son transportadas adecuadamente por el agua, y si fuera salada es menor la transmisión, es decir que las señales de radio frecuencia se atenúan considerablemente dentro del agua, sobre todo porque al entrar en contacto con otro medio de diferente densidad, en este caso del agua, pierden potencia y no llegan con la misma fidelidad con la que uno envía estas señales.

Aunque es difícil realizar este tipo de transmisión, es posible implementarla, pero con ciertos criterios. Por ejemplo es muy recomendable transmitir usando una frecuencia muy baja al igual que las que usan los submarinos de gran dimensión. Un problema con esto sería que no existen mucho módulos de transmisión y recepción en el mercado público, al igual que las antenas por lo que el acceso a estos son muy reducidos. Otra especificación es que se tiene que aislar convenientemente la antena para evitar corto circuito con el agua ya que esta es conductora.

El sistema de prueba a usar para lograr la comunicación de radio frecuencia con el submarino es el siguiente. Se utilizará módulos comerciales de radio frecuencia, con una frecuencia no tan alta, como por ejemplo a 433 MHz de portadora. La antena de recepción será aislada y acoplada al submarino para que pueda recibir señales de control remoto desde una pequeña central donde se encontrará el módulo transmisor.

Vale la pena mencionar que la transmisión será controlada con un módulo de mando integrado por un microcontrolador ATmega8, el cual es apropiado para este tipo de tarea. Los comandos de control serán similares a los de un control remoto común, tomando en cuenta los mandos generales como sumergir, emerger, navegar hacia adelante, hacia atrás, a la izquierda o derecha.

Finalizando este punto se concluye que se debe implementar eficientemente este sistema de comunicación ya que por motivos antes descritos se tiene que obtener una buena calidad de transmisión dado el medio de dificultad actual. Además lograr controlar el submarino sin ningún inconveniente de por medio.

4.2 Desarrollo de la Solución

La integración de todos los sistemas requiere de tener todas las tarjetas operativas; es así que, como se mostró anteriormente, se hicieron pruebas independientes con cada sistema para saber qué características tenía cada una y saber si podrían ser acopladas sin problemas.

Empezaremos por la tarjeta de control; como se sabe, es el sistema principal del control electrónico ya que contiene la lógica que permitirá mover al prototipo tanto en navegación como en sumersión y emersión, además de recibir señales del sistema de sensado para evitar obstáculos cuando toda esta integración sea acoplada al submarino experimental.

El programa estará basado en seguir una ruta de navegación autónoma, accionando alternadamente los motores de navegación y el tanque de lastre que permite la sumersión y emersión del submarino. Pero se ha activado la opción de recibir señales de radio control, la cual enviará al control del submarino si se quiere un modo autónomo o un modo de control remoto. Se considera a esto un primer filtro, es decir, la rutina principal del programa será decidir si se ejecuta el modo autónomo o se ejecuta el modo control remoto. Este último está centrado en comunicación por radio frecuencia, anteriormente descrita.

Como se explicó líneas arriba, el modo autónomo consiste en navegar alternadamente, mediante una subrutina previamente grabada en el microcontrolador. Ahora, explicaremos el modo de control remoto. Si bien involucra una comunicación y ejecución en tiempo real, las instrucciones son sencillas, ya que consisten en mover los motores de acuerdo a lo que se indique desde el control remoto.

Una importante anotación respecto a este programa principal es que se estará monitoreando la proximidad de obstáculos al submarino, ya que sensores infrarrojos estarán alrededor del prototipo se tomará en cuenta la ubicación de cada uno de ellos, así poder retroceder en el movimiento y evitar que colisione causando algún daño en el vehículo.

Finalmente cabe resaltar que el programa puede ser flexible a cambios, ya que hay muchas opciones de mejora dentro del submarino y que estarán involucradas en la parte de control, es decir, todo cambio influirá en el control electrónico desarrollado.

4.3 Evaluación Económica

Antes de presentar los cálculos para determinar el presupuesto de este desarrollo de investigación tenemos que definir ciertas partes. Primero, es importante saber que no se cuenta con apoyo económico muy grande, pero si lo suficiente para desarrollar un prototipo eficiente y sin mucha complejidad. Segundo, los diseños de los circuitos se dividirán en partes para tener un mejor control independientemente de cada parte. Y por último, algunos gastos generales como transporte, viajes y trámites no se consideran dentro de este presupuesto.

A continuación se describe los costos generales que tendrá esta investigación:

- Parte Mecánica:

Estimación para Chasis, Estructura mecánica, Reductores, Hélices, Mangueras, etc. : S/ 1500

- Parte Eléctrica:

Estimación para Motores, Baterías, Sistema RF, Cables, Sensores, etc. : S/. 800

- Elaboración de Tarjetas incluyendo componentes:

| | | |
|----------|---|--------|
| Potencia | : | S/. 70 |
| Control | : | S/. 40 |
| Sensores | : | S/. 70 |

| | | |
|-------------------------|---|--------|
| Transmisión y Recepción | : | S/. 50 |
| Fuente | : | S/. 30 |

Todo estas cantidades hacen un total de S/. 2560, el cual se irá ajustando según vaya desarrollándose la investigación e implementación final.

Existen equipos de submarinos de exploración más sofisticados por ser elaborados por empresas de gran capacidad financiera que van desde los 1000 euros hasta unos 2500 euros. Además existen modelos de submarinos a radio control desde 200 euros hasta unos 650 euros [13]. Claro está, el desarrollo de estos equipos en Perú es escaso o casi nulo, es por eso que no se encuentran referencias locales.

CONCLUSIONES

1. La implementación del control electrónico al prototipo experimental brinda las herramientas necesarias para desarrollar una investigación submarina efectiva, siendo necesario continuar con el estudio de esta rama tecnológica dentro del Perú.
2. La realización de este trabajo impulsa a seguir desarrollando la tecnología en el país a partir de técnicas simples que nos pueden llevar a sobresalir en campos en los que hasta ahora no tenemos presencia tecnológica y que son de mucho interés por su utilidad en pro del desarrollo.
3. El funcionamiento del control electrónico brinda buena maniobrabilidad de los actuadores y una satisfactoria reacción a cercanía de obstáculos. Esto convierte al sistema en una alternativa de implementación para investigación submarina recomendable con pocos errores de funcionamiento.
4. Los diseños de los sistemas que componen el control electrónico utilizan electrónica no compleja que permite ser flexible y a la vez sentar una base para mejoras en cada una de ellas.

5. La implementación del control electrónico en el submarino experimental nos da la oportunidad de controlar la navegación por lugares donde un buzo no puede ingresar.

6. El sistema diseñado se muestra como alternativa viable para resolver las limitaciones actuales de la investigación submarina.



FUENTES

- [1] CÓRDOVA SÁNCHEZ, Francisco
2009 “Ciencia y Tecnología en América Latina”
Derecho, Gerencia y Desarrollo
<<http://blog.pucp.edu.pe/item/54468>>
- [2] GARCÍA-ABAD ALONSO, Juan Javier
2004 “Documento 2. Desarrollo y evolución histórica de la Cartografía”
Cartografía Ambiental, Universidad de Alcalá
- [3] DIRECCIÓN DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN – DHN
2008 Misión y Contactos de la Dirección de Hidrografía y Navegación
Marina de Guerra del Perú
<www.dhn.mil.pe>
- [4] ARIAS, Ligia
2007 “Arqueología Subacuática”
<www.redaccionline.com/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=282>
- [5] CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA – CONCYTEC
2008 “Instituciones del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología”
<www.concytec.gob.pe/sinacyt/instituciones>
- [6] GIOVANNINI Y FREIRE, Wladimiro
2004 “*Simuladores Submarinos del Perú*”
Revista de la Marina de Guerra del Perú
- [7] ANÓNIMO
2008 ProQuest®. [en línea]. “Project to Develop Next-Generation AUV
Announced at Subsea '08”. Sea Technology: Abril 2008. Vol. 49, Iss.
4; pg. 61, 2 pgs

- [8] WINTERS, Jeffrey
2008 ProQuest®. [en línea]. “Running Silent”. Mechanical Engineering: Abril 2008. Vol. 130, Iss. 4; pg. 12, 1 pgs
- [9] JAFFREY, Andrew
2008 ProQuest®. [en línea]. “Wireless Control and Monitoring of Subsea Equipment”. Sea Technology: Febrero 2008. Vol. 49, Iss. 2; pg. 10, 5 pgs
- [10] KINSEY, James C.
2007 ProQuest®. [en línea]. Advances in precision navigation of oceanographic submersibles, The Johns Hopkins University.
- [11] NAIK, Mugdha S.
2007 ProQuest®. [en línea]. Nonlinear suboptimal and adaptive pectoral fin control of autonomous underwater vehicle, University of Nevada, Las Vegas.
- [12] KULJACA, Ognjen
2007 ProQuest®. [en línea]. Intelligent neural network and fuzzy logic control of industrial and power systems, University of Texas at Arlington.
- [13] MODELISMO NAVAL
2008 “Anuncios clasificados”
<www.modelismonaval.com/servicios/anuncios/anunciosventas>
- [14] INSTITUTO DE DEFENSA DEL PATRIMONIO CULTURAL SUBACUÁTICO – IDPCS
“Misión y Visión del Instituto”
<www.idpcs.org.pe>
- [15] PERU DIVERS
2008 “Buceo con Scuba”
<www.perudivers.com/AcercaBuceo>
- [16] ASOCIACIÓN PROFESIONAL DE ACTIVIDADES SUBACUÁTICAS
“Buceo Profesional, Deportivo y Científico”
<www.aquaproa.com>

- [17] Islas de Ancón
2007 “Tour de Buceo” – Peru Divers
<www.perudivers.com/doc/ANCON07.pdf>
- [18] SAXTON, Jim
2008 ProQuest®. [en línea]. “Exploring the Oceans: A Responsibility to Meet”. Sea Technology: Enero 2008. Vol. 49, Iss. 1; pg. 28, 2 pgs
- [19] MERRILL, kaylani ; O'ROURKE, Michael y EDWARDS, DEAN
2007 ProQuest®. [en línea]. “Applying Intentionality to AUV Communication”
Sea Technology: Octubre 2007. Vol. 48, Iss. 10; pg. 25, 4 pgs
- [20] ROSANO MATCHAIN, Hugo Leonardo
2001 “Submarino Autónomo U-47”
Proyecto de Diseño, Instituto Tecnológico y Estudios Superiores de Monterrey
- [21] REDOLFO CERRÓN, Gary
2002 “Sistema de Control Electrónico para un Vehículo Eléctrico”
Tesis de Ciencias e Ingeniería, mención en Ingeniería Electrónica.
- [22] RASHID, Muhammad
1993 “Power electronics: circuits, devices, and applications”, Ed. 2
Temas de Electrónica de Potencia
- [23] KUO, Benjamin
2003 “Automatic Control Systems”, Ed. 8
Temas de Control Automático
- [24] OGATA, Katsuhiko
1993 “Ingeniería de Control Moderno”, Ed. 2
Temas de Control Automático
- [25] MARTICORENA, Benjamín
2004 “Ciencia, Tecnología e Investigación en Perú”
<<http://www.oei.es/salactsi/marticorena.pdf>>

ANEXO N° 1

Hoja de Datos: Mosfet IRF9630



IRF9630, RF1S9630SM

Data Sheet

January 2002

6.5A, 200V, 0.800 Ohm, P-Channel Power MOSFETs

These are P-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistors. They are advanced power MOSFETs designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching converters, motor drivers, relay drivers and drivers for other high-power switching devices. The high input impedance allows these types to be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17512.

Ordering Information

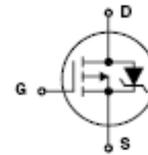
| PART NUMBER | PACKAGE | BRAND |
|-------------|----------|----------|
| IRF9630 | TO-220AB | IRF9630 |
| RF1S9630SM | TO-263AB | RF1S9630 |

NOTE: When ordering, use the entire part number. Add the suffix 9A to obtain the TO-263AB variant in the tape and reel, i.e., RF1S9630SM9A.

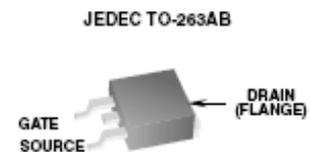
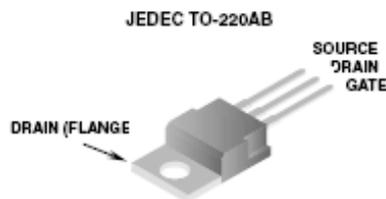
Features

- 6.5A, 200V
- $r_{DS(ON)} = 0.800\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
 - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Symbol



Packaging



IRF9630, RF1S9630SM

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

| | IRF9630, RF1S9630SM | UNITS | |
|--|------------------------|------------|---------------------|
| Drain to Source Voltage (Note 1) | V_{DS} | -200 | V |
| Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20k\Omega$) (Note 1) | V_{DGR} | -200 | V |
| Continuous Drain Current | I_D | -6.5 | A |
| $T_C = 100^\circ\text{C}$ | I_D | -4 | A |
| Pulsed Drain Current (Note 3) | I_{DM} | -26 | A |
| Gate to Source Voltage | V_{GS} | ± 20 | V |
| Maximum Power Dissipation | P_D | 75 | W |
| Dissipation Derating Factor | | 0.6 | W/ $^\circ\text{C}$ |
| Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4) | E_{AS} | 500 | mJ |
| Operating and Storage Temperature | T_J, T_{STG} | -55 to 150 | $^\circ\text{C}$ |
| Maximum Temperature for Soldering Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s. | T_L | 300 | $^\circ\text{C}$ |
| Package Body for 10s, See Techbrief 334 | T_{pkg} | 260 | $^\circ\text{C}$ |

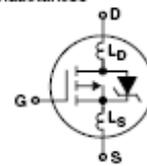
CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

- $T_J = 25^\circ\text{C}$ to 125°C

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

| PARAMETER | SYMBOL | TEST CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|---|-----------------|--|------|-------|-----------|--------------------|
| Drain to Source Breakdown Voltage | BV_{DSS} | $I_D = -250\mu\text{A}, V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 10) | -200 | - | - | V |
| Gate Threshold Voltage | $V_{GS(TH)}$ | $V_{GS} = V_{DS}, I_D = -250\mu\text{A}$ | -2 | - | -4 | V |
| Zero Gate Voltage Drain Current | I_{DSS} | $V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}$ $V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}, T_C = 125^\circ\text{C}$ | - | - | -25 | μA |
| On-State Drain Current (Note 2) | $I_{D(ON)}$ | $V_{DS} \geq I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = -10\text{V}$ | -6.5 | - | - | A |
| Gate to Source Leakage Current | I_{GSS} | $V_{GS} = \pm 20\text{V}$ | - | - | ± 100 | nA |
| On Resistance (Note 2) | $r_{DS(ON)}$ | $I_D = -3.5\text{A}, V_{GS} = -10\text{V}$ (Figures 8, 9) | - | 0.500 | 0.800 | Ω |
| Forward Transconductance (Note 2) | g_{fs} | $V_{DS} \geq I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, I_D = -3.5\text{A}$ (Figure 12) | 2.2 | 3.5 | - | S |
| Turn-On Delay Time | $t_{d(ON)}$ | $V_{DD} = -100\text{V}, I_D = -6.5\text{A}, R_G = 50\Omega$ $R_L = 15.4\Omega$ (Figures 17, 18) | - | 30 | 50 | ns |
| Rise Time | t_r | MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature | - | 50 | 100 | ns |
| Turn-Off Delay Time | $t_{d(off)}$ | | - | 50 | 100 | ns |
| Fall Time | t_f | | - | 40 | 80 | ns |
| Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain) | $Q_{g(TOT)}$ | $V_{GS} = -10\text{V}, I_D = -6.5\text{A}, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$ $I_{g(REF)} = -1.5\text{mA}$ (Figures 14, 19, 20) | - | 31 | 45 | nC |
| Gate to Source Charge | Q_{gs} | Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature | - | 18 | - | nC |
| Gate to Drain ("Miller") Charge | Q_{gd} | | - | 13 | - | nC |
| Input Capacitance | C_{ISS} | $V_{DS} = -25\text{V}, V_{GS} = 0\text{V}, f = 1\text{MHz}$ (Figure 11) | - | 550 | - | pF |
| Output Capacitance | C_{OSS} | | - | 170 | - | pF |
| Reverse Transfer Capacitance | C_{RSS} | | - | 50 | - | pF |
| Internal Drain Inductance | L_D | Measured From the Contact Screw On Tab To the Center of Die | - | 3.5 | - | nH |
| | | Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) From Package to the Center of Die | - | 4.5 | - | nH |
| Internal Source Inductance | L_S | Measured From the Source Lead, 6mm (0.25in) From Package to Source Bonding Pad | - | 7.5 | - | nH |
| Thermal Resistance Junction to Case | $R_{\theta JC}$ | | - | - | 1.67 | $^\circ\text{C/W}$ |
| Thermal Resistance Junction to Ambient | $R_{\theta JA}$ | Typical Socket Mount | - | - | 80 | $^\circ\text{C/W}$ |



IRF9630, RF1S9630SM

Source to Drain Diode Specifications

| PARAMETER | SYMBOL | TEST CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--|-----------|--|-----|-----|------|---------------|
| Continuous Source to Drain Current | I_{SD} | Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Diode | - | - | -6.5 | A |
| Pulse Source to Drain Current (Note 3) | I_{SDM} | | - | - | -26 | A |
| Source to Drain Diode Voltage (Note 2) | V_{SD} | $T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = -6.5\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13) | - | - | -1.5 | V |
| Reverse Recovery Time | t_{rr} | $T_J = 150^\circ\text{C}$, $I_{SD} = -6.5\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ | - | 400 | - | ns |
| Reverse Recovery Charge | Q_{RR} | $T_J = 150^\circ\text{C}$, $I_{SD} = -6.5\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ | - | 2.6 | - | μC |

NOTES:

2. Pulse Test: Pulse width $\leq 300\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.
3. Repetitive Rating: Pulse width limited by Max junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
4. $V_{DD} = 50\text{V}$, starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 17.75\text{mH}$, $R_G = 25\Omega$, peak $I_{AS} = 6.5\text{A}$. (Figures 15, 16).

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

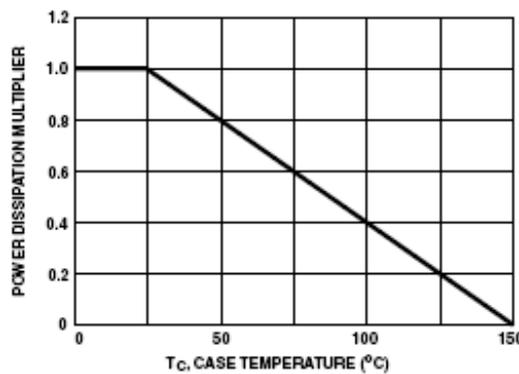


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

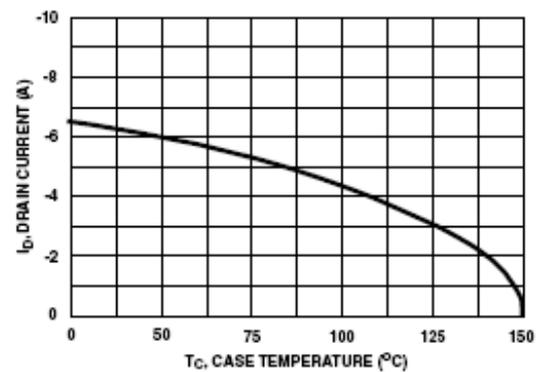


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

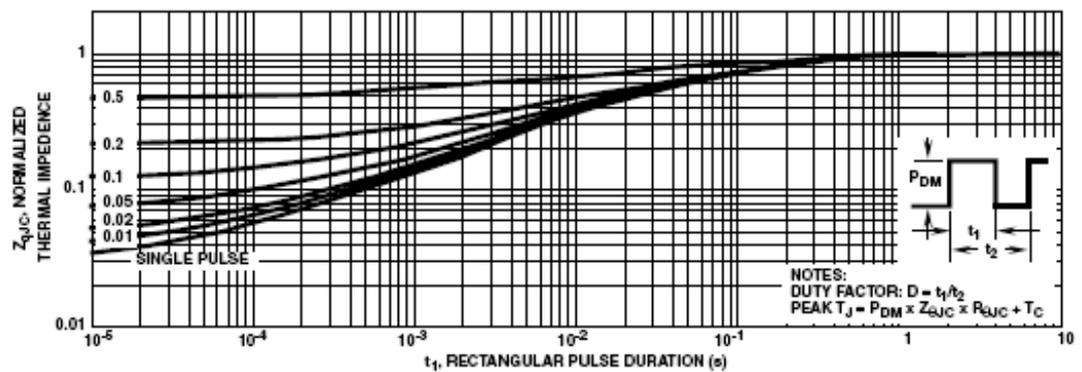


FIGURE 3. NORMALIZED MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

IRF9630, RF1S9630SM

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

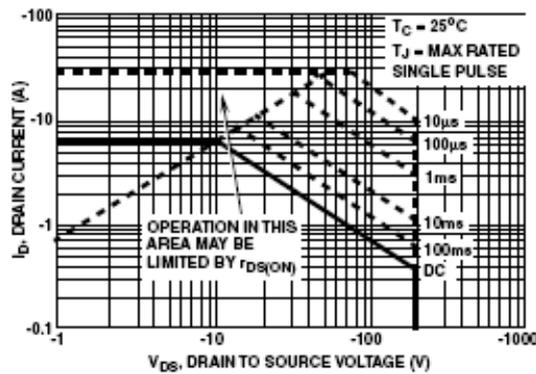


FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

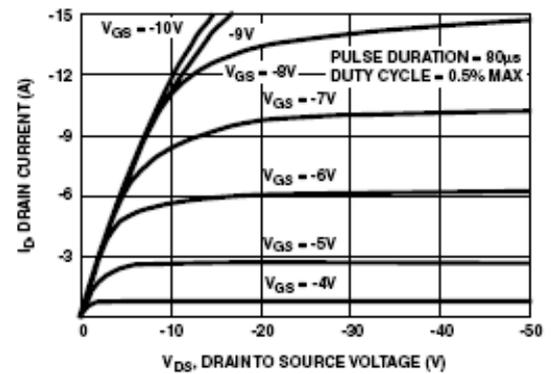


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

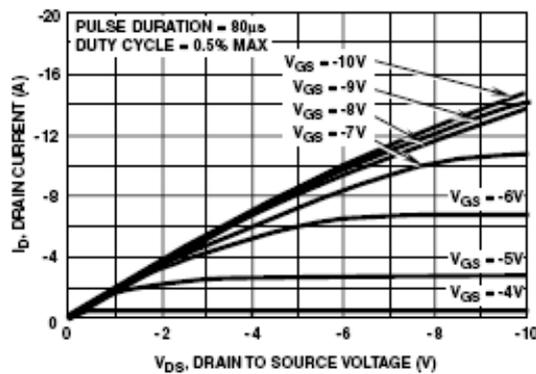


FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

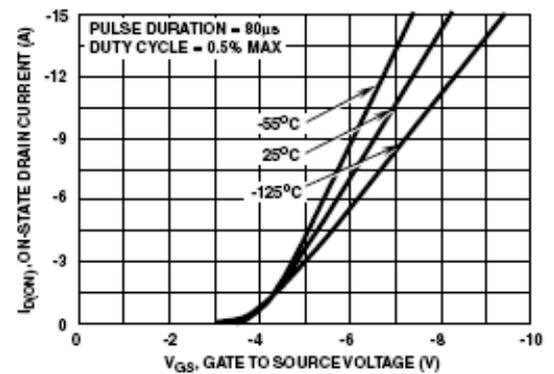
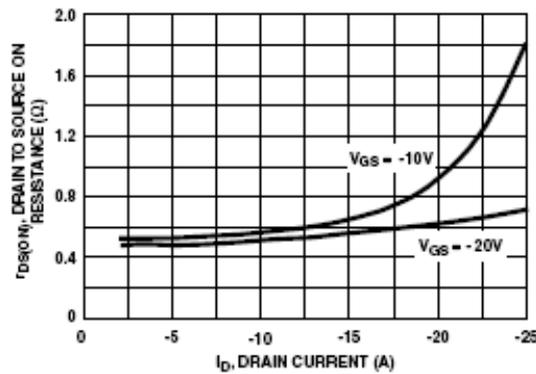


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS



NOTE: Heating effect of 2µs pulse is minimal.
FIGURE 8. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT

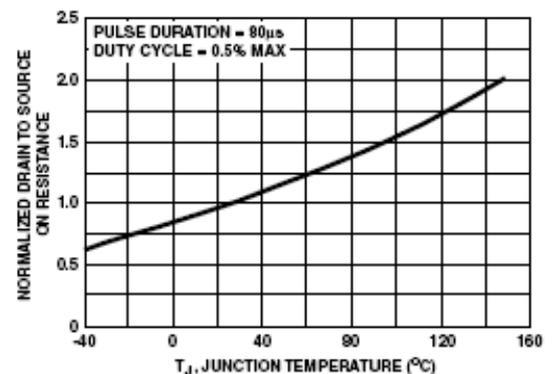


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs JUNCTION TEMPERATURE

IRF9630, RF1S9630SM

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

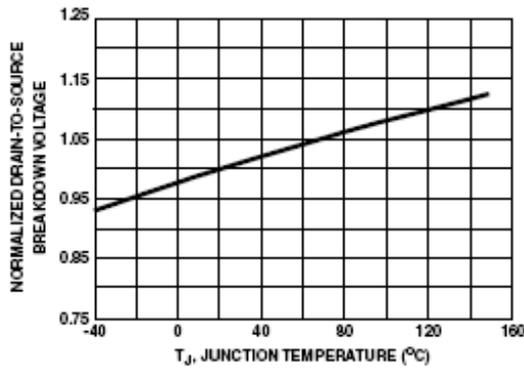


FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

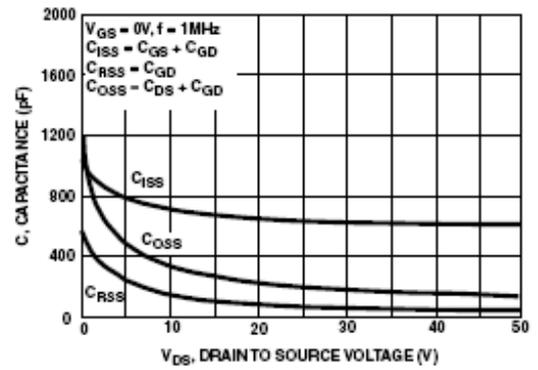


FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

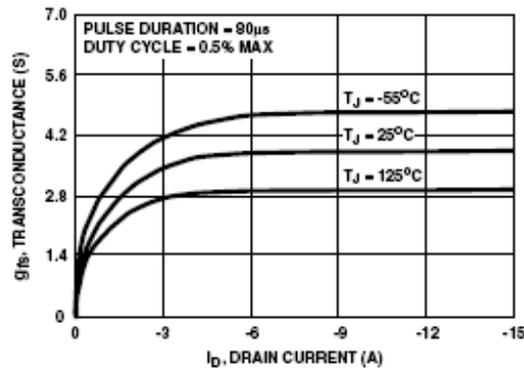


FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

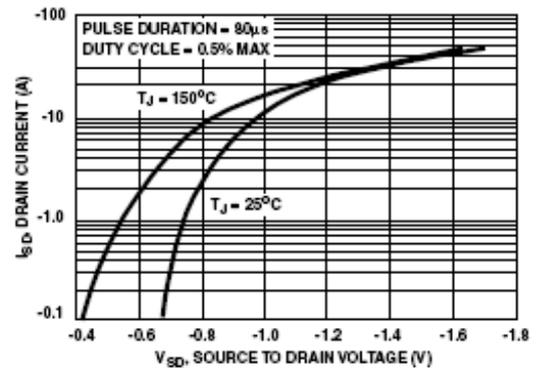


FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

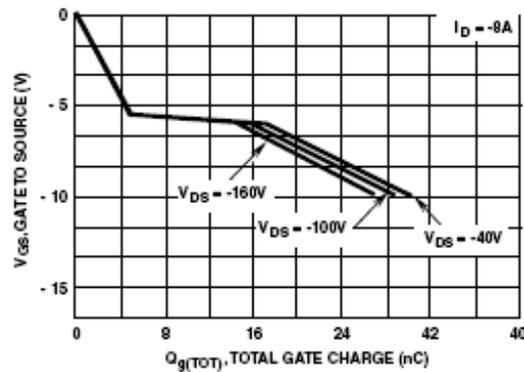


FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

IRF9630, RF1S9630SM

Test Circuits and Waveforms

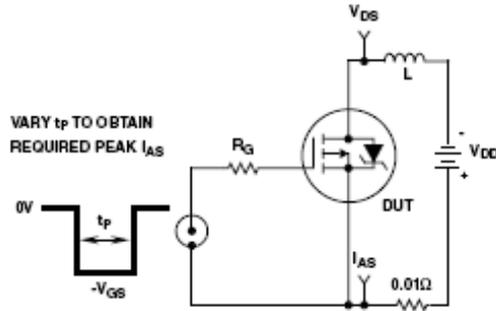


FIGURE 15. UNCLAMPED INDUCTIVE ENERGY TEST CIRCUIT

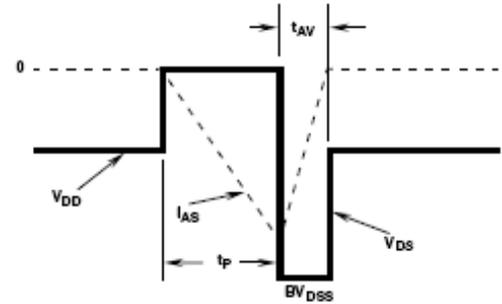


FIGURE 16. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

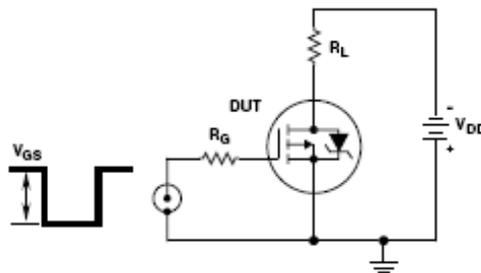


FIGURE 17. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

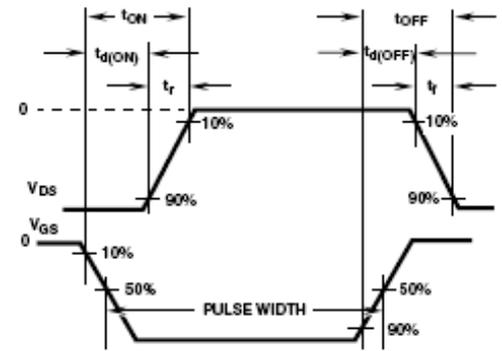


FIGURE 18. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

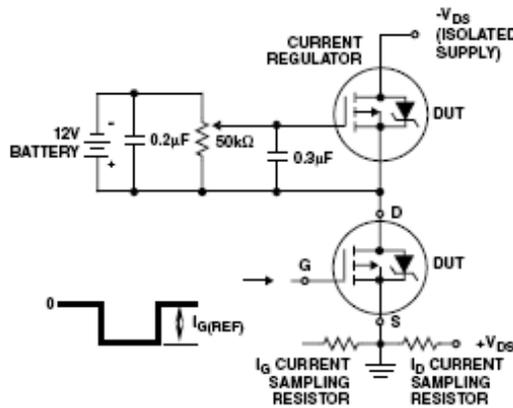


FIGURE 19. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

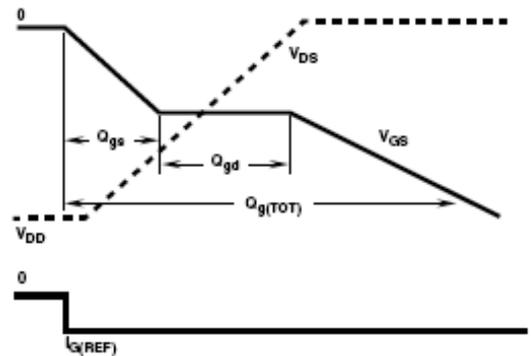


FIGURE 20. GATE CHARGE WAVEFORMS

ANEXO N°2
Hoja de Datos: IRF9610

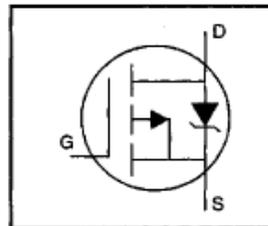
**International
IR Rectifier**

PD-9.350F

IRF9610

HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- P-Channel
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements

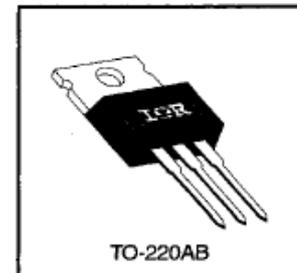


| |
|--------------------------|
| $V_{DSS} = -200V$ |
| $R_{DS(on)} = 3.0\Omega$ |
| $I_D = -1.8A$ |

Description

The HEXFET technology is the key to International Rectifier's advanced line of power MOSFET transistors. The efficient geometry and unique processing of the HEXFET design achieve very low on-state resistance combined with high transconductance and extreme device ruggedness.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

| | Parameter | Max. | Units |
|---------------------------|--|---------------------------------------|-----------------------|
| $I_D @ T_C = 25^\circ C$ | Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10 V$ | -1.8 | A |
| $I_D @ T_C = 100^\circ C$ | Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10 V$ | -1.0 | |
| I_{DM} | Pulsed Drain Current ① | -7.0 | |
| $P_D @ T_C = 25^\circ C$ | Power Dissipation | 20 | W |
| | Linear Derating Factor | 0.16 | W/°C |
| V_{GS} | Gate-to-Source Voltage | ± 20 | V |
| I_{LM} | Inductive Current, Clamp | -7.0 | A |
| dv/dt | Peak Diode Recovery dv/dt ③ | -5.0 | V/ns |
| T_J | Operating Junction and Storage Temperature Range | -55 to +150 | |
| T_{STG} | | Soldering Temperature, for 10 seconds | 300 (1.6mm from case) |
| | | Mounting Torque, 6-32 or M3 screw | 10 lbf.in (1.1 N.m) |

Thermal Resistance

| | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Units |
|-----------------|-------------------------------------|------|------|------|-------|
| $R_{\theta JC}$ | Junction-to-Case | — | — | 6.4 | °C/W |
| $R_{\theta CS}$ | Case-to-Sink, Flat, Greased Surface | — | 0.50 | — | |
| $R_{\theta JA}$ | Junction-to-Ambient | — | — | 62 | |

IRF9610



Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

| | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Units | Test Conditions |
|---------------------------------|--------------------------------------|------|-------|------|----------|---|
| $V_{(BR)DSS}$ | Drain-to-Source Breakdown Voltage | -200 | — | — | V | $V_{GS}=0V, I_D=-250\mu A$ |
| $\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$ | Breakdown Voltage Temp. Coefficient | — | -0.23 | — | V/°C | Reference to $25^\circ\text{C}, I_D=-1\text{mA}$ |
| $R_{DS(on)}$ | Static Drain-to-Source On-Resistance | — | — | 3.0 | Ω | $V_{GS}=-10V, I_D=-0.90A$ ④ |
| $V_{GS(th)}$ | Gate Threshold Voltage | -2.0 | — | -4.0 | V | $V_{DS}=V_{GS}, I_D=-250\mu A$ |
| g_{fs} | Forward Transconductance | 0.90 | — | — | S | $V_{DS}=-50V, I_D=-0.90A$ ④ |
| I_{DSS} | Drain-to-Source Leakage Current | — | — | -100 | μA | $V_{DS}=-200V, V_{GS}=0V$ |
| | | — | — | -500 | | $V_{DS}=-160V, V_{GS}=0V, T_J=125^\circ\text{C}$ |
| I_{GSS} | Gate-to-Source Forward Leakage | — | — | -100 | nA | $V_{DS}=-20V$ |
| | Gate-to-Source Reverse Leakage | — | — | 100 | | $V_{GS}=20V$ |
| Q_g | Total Gate Charge | — | — | 11 | nC | $I_D=-3.5A$ |
| Q_{gs} | Gate-to-Source Charge | — | — | 7.0 | | $V_{DS}=-160V$ |
| Q_{gd} | Gate-to-Drain ("Miller") Charge | — | — | 4.0 | | $V_{GS}=-10V$ See Fig. 11 & 18 ④ |
| $t_{d(on)}$ | Turn-On Delay Time | — | 8.0 | — | ns | $V_{DD}=-100V$ |
| t_r | Rise Time | — | 15 | — | | $I_D=-0.90A$ |
| $t_{d(off)}$ | Turn-Off Delay Time | — | 10 | — | | $R_G=50\Omega$ |
| t_f | Fall Time | — | 8.0 | — | | $R_D=110\Omega$ See Figure 17 ④ |
| L_D | Internal Drain Inductance | — | 4.5 | — | nH | Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact |
| L_S | Internal Source Inductance | — | 7.5 | — | | |
| C_{iss} | Input Capacitance | — | 170 | — | pF | $V_{GS}=0V$ |
| C_{oss} | Output Capacitance | — | 50 | — | | $V_{DS}=-25V$ |
| C_{rss} | Reverse Transfer Capacitance | — | 15 | — | | $f=1.0\text{MHz}$ See Figure 10 |

Source-Drain Ratings and Characteristics

| | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Units | Test Conditions |
|----------|--|---|------|------|---------|--|
| I_S | Continuous Source Current (Body Diode) | — | — | -1.8 | A | MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. |
| I_{SM} | Pulsed Source Current (Body Diode) ① | — | — | -7.0 | | |
| V_{SD} | Diode Forward Voltage | — | — | -5.8 | V | $T_J=25^\circ\text{C}, I_S=-1.8A, V_{GS}=0V$ ④ |
| t_{rr} | Reverse Recovery Time | — | 240 | 360 | ns | $T_J=25^\circ\text{C}, I_F=-1.8A$ |
| Q_{rr} | Reverse Recovery Charge | — | 1.7 | 2.6 | μC | $di/dt=100A/\mu s$ ④ |
| t_{on} | Forward Turn-On Time | intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D) | | | | |

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 5)

② Not Applicable

③ $I_{SD} \leq -1.8A, di/dt \leq 70A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 150^\circ\text{C}$

④ Pulse width $\leq 300 \mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.



IRF9610

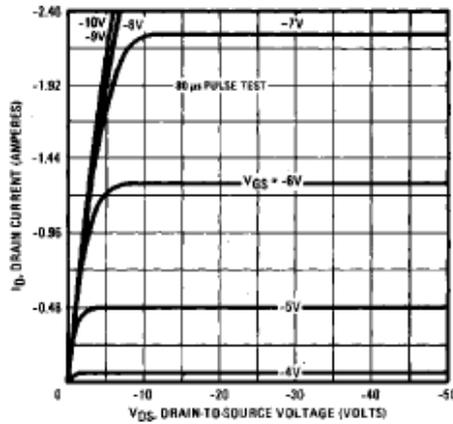


Fig. 1 — Typical Output Characteristics

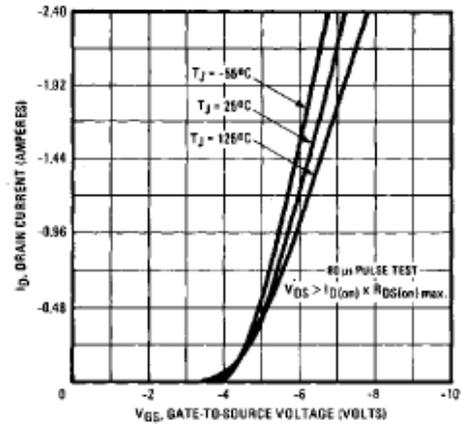


Fig. 2 — Typical Transfer Characteristics

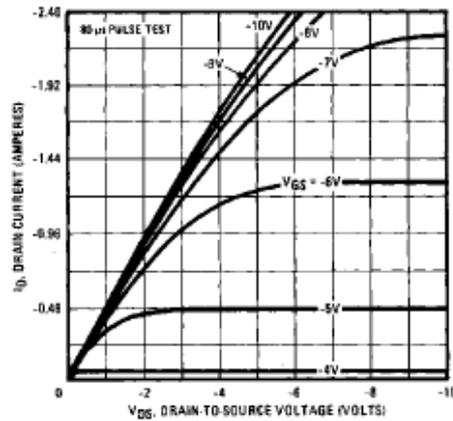


Fig. 3 — Typical Saturation Characteristics

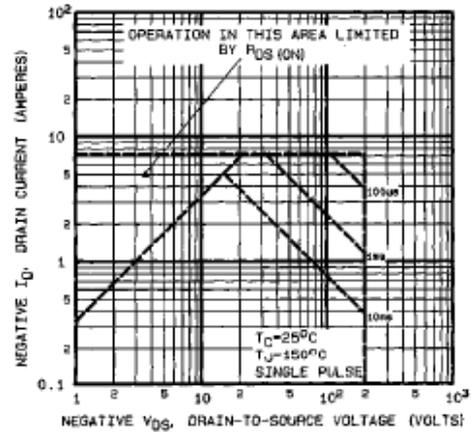


Fig. 4 — Maximum Safe Operating Area

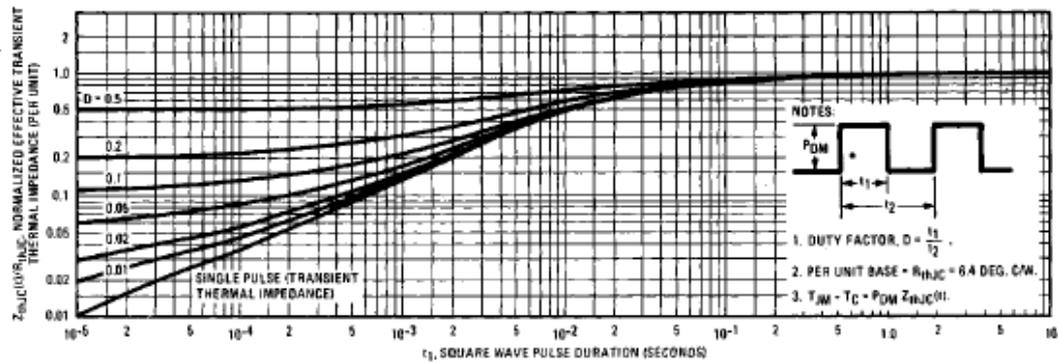


Fig. 5 — Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case Vs. Pulse Duration



IRF9610

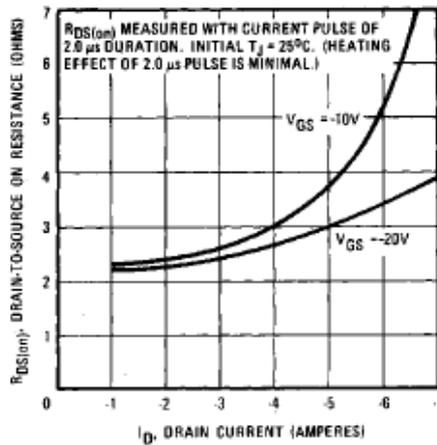


Fig. 12 — Typical On-Resistance Vs. Drain Current

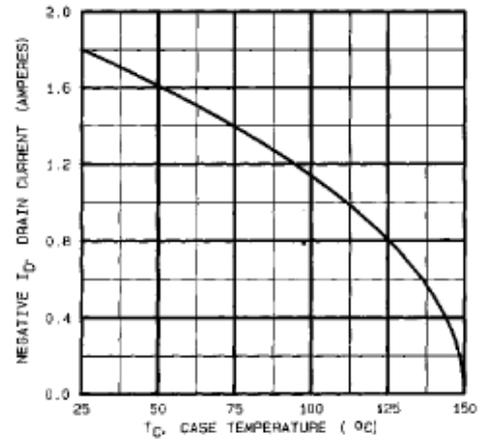


Fig. 13 — Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

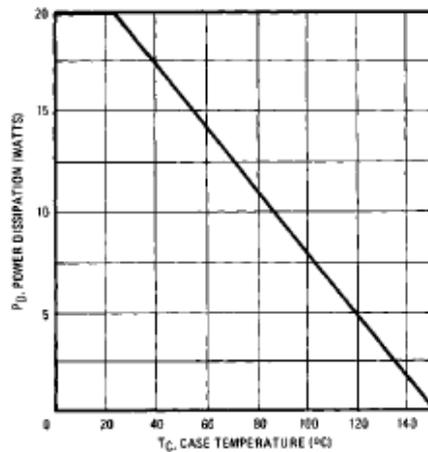


Fig. 14 — Power Vs. Temperature Derating Curve

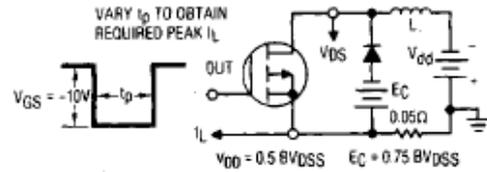


Fig. 15 — Clamped Inductive Test Circuit

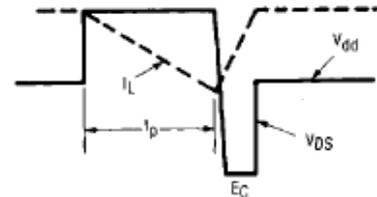


Fig. 16 — Clamped Inductive Waveforms

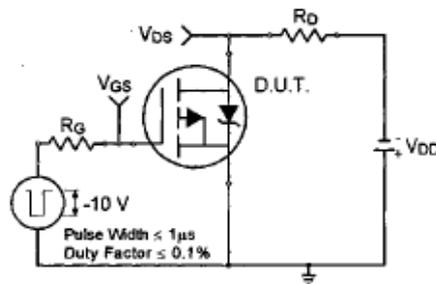


Fig. 17a — Switching Time Test Circuit

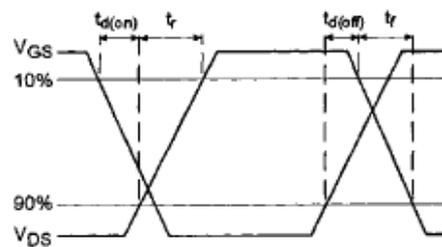


Fig. 17b — Switching Time Waveforms

ANEXO N° 3
Hoja de Datos: IRF630



IRF630, RF1S630SM

Data Sheet

June 1999

File Number 1578.2

9A, 200V, 0.400 Ohm, N-Channel Power MOSFETs

These are N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistors. They are advanced power MOSFETs designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17412.

Ordering Information

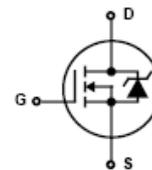
| PART NUMBER | PACKAGE | BRAND |
|-------------|----------|---------|
| IRF630 | TO-220AB | IRF630 |
| RF1S630SM | TO-263AB | RF1S630 |

NOTE: When ordering, use the entire part number. Add the suffix 9A to obtain the TO-263AB variant in the tape and reel, i.e., RF1S630SM9A.

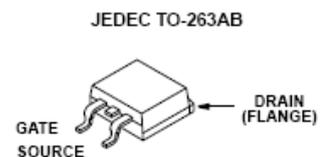
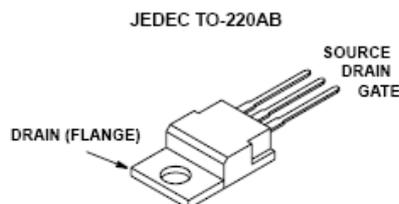
Features

- 9A, 200V
- $r_{DS(ON)} = 0.400\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
 - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Symbol



Packaging



IRF630, RF1S630SM

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

| | IRF630, RF1S630SM | UNITS | |
|--|-------------------|------------|---------------------------|
| Drain to Source Voltage (Note 1) | V_{DS} | 200 | V |
| Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20\text{k}\Omega$) (Note 1) | V_{DGR} | 200 | V |
| Continuous Drain Current | I_D | 9 | A |
| $T_C = 100^\circ\text{C}$ | I_D | 6 | A |
| Pulsed Drain Current (Note 3) | I_{DM} | 36 | A |
| Gate to Source Voltage | V_{GS} | ± 20 | V |
| Maximum Power Dissipation | P_D | 75 | W |
| Linear Derating Factor | | 0.6 | $\text{W}/^\circ\text{C}$ |
| Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4) | E_{AS} | 150 | mJ |
| Operating and Storage Temperature | T_J, T_{STG} | -55 to 150 | $^\circ\text{C}$ |
| Maximum Temperature for Soldering | | | |
| Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s. | T_L | 300 | $^\circ\text{C}$ |
| Package Body for 10s, See Techbrief 334 | T_{pkg} | 260 | $^\circ\text{C}$ |

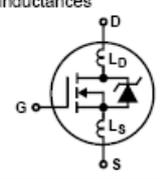
CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

- $T_J = 25^\circ\text{C}$ to 125°C .

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

| PARAMETER | SYMBOL | TEST CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS | |
|--|-------------------|--|---|------|-----------|---------------------------|----|
| Drain to Source Breakdown Voltage | BV_{DSS} | $I_D = 250\mu\text{A}, V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 10) | 200 | - | - | V | |
| Gate Threshold Voltage | $V_{GS(TH)}$ | $V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu\text{A}$ | 2 | - | 4 | V | |
| Zero Gate Voltage Drain Current | I_{DSS} | $V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}$ | - | - | 25 | μA | |
| | | $V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}, T_J = 125^\circ\text{C}$ | - | - | 250 | μA | |
| On-State Drain Current (Note 2) | $I_{D(ON)}$ | $V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = 10\text{V}$ | 9 | - | - | A | |
| Gate to Source Leakage Current | I_{GSS} | $V_{GS} = \pm 20\text{V}$ | - | - | ± 100 | nA | |
| Drain to Source On Resistance (Note 2) | $r_{DS(ON)}$ | $I_D = 5\text{A}, V_{GS} = 10\text{V}$ (Figure 8, 9) | - | 0.25 | 0.4 | Ω | |
| Forward Transconductance (Note 2) | g_{fs} | $V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, I_D = 5\text{A}$ (Figure 12) | 3 | 4.8 | - | S | |
| Turn-On Delay Time | $t_{d(ON)}$ | $V_{DD} = 90\text{V}, I_D = 9\text{A}, R_{GS} = 9.1\Omega, V_{GS} = 10\text{V}$ | - | - | 30 | ns | |
| Rise Time | t_r | $R_L = 9.6\Omega$ | - | - | 50 | ns | |
| Turn-Off Delay Time | $t_{d(OFF)}$ | MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature | - | - | 50 | ns | |
| Fall Time | t_f | | - | - | 40 | ns | |
| Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain) | $Q_g(\text{TOT})$ | $V_{GS} = 10\text{V}, I_D = 9\text{A}, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$ $I_g(\text{REF}) = 1.5\text{mA}$ (Figure 14) | - | 19 | 30 | nC | |
| Gate to Source Charge | Q_{gs} | Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature | - | 10 | - | nC | |
| Gate to Drain "Miller" Charge | Q_{gd} | | - | 9 | - | nC | |
| Input Capacitance | C_{ISS} | $V_{DS} = 25\text{V}, V_{GS} = 0\text{V}, f = 1\text{MHz}$ (Figure 11) | - | 600 | - | pF | |
| Output Capacitance | C_{OSS} | | - | 250 | - | pF | |
| Reverse Transfer Capacitance | C_{RSS} | | - | 80 | - | pF | |
| Internal Drain Inductance | L_D | Measured From the Contact Screw on Tab to Center of Die | Modified MOSFET Symbol Showing the Internal Devices Inductances | - | 3.5 | - | nH |
| | | Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) From Package to Center of Die | | - | 4.5 | - | nH |
| Internal Source Inductance | L_S | Measured From the Source Lead, 6mm (0.25in) From Header to Source Bonding Pad | | - | 7.5 | - | nH |
| Thermal Resistance Junction to Case | $R_{\theta JC}$ | | - | - | 1.67 | $^\circ\text{C}/\text{W}$ | |
| Thermal Resistance Junction to Ambient | $R_{\theta JA}$ | Free Air Operation | - | - | 80 | $^\circ\text{C}/\text{W}$ | |



IRF630, RF1S630SM

Source to Drain Diode Specifications

| PARAMETER | SYMBOL | TEST CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--|-----------|---|-----|-----|-----|---------------|
| Continuous Source to Drain Current | I_{SD} | Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Diode | - | - | 9 | A |
| Pulse Source to Drain Current (Note 3) | I_{SDM} | | - | - | 36 | A |
| Source to Drain Diode Voltage (Note 2) | V_{SD} | $T_J = 25^\circ\text{C}, I_{SD} = 9\text{A}, V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13) | - | - | 2 | V |
| Reverse Recovery Time | t_{rr} | $T_J = 150^\circ\text{C}, I_{SD} = 9\text{A}, di_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ | - | 450 | - | ns |
| Reverse Recovery Charge | Q_{RR} | $T_J = 150^\circ\text{C}, I_{SD} = 9\text{A}, di_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ | - | 3 | - | μC |

NOTES:

2. Pulse Test: Pulse width $\leq 300\mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2\%$.
3. Repetitive rating: Pulse width limited by maximum junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
4. $V_{DD} = 20\text{V}$, starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 3.37\text{mH}$, $R_G = 50\Omega$, peak $I_{AS} = 9\text{A}$.

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

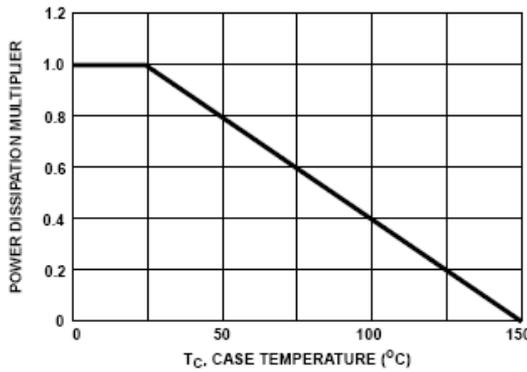


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

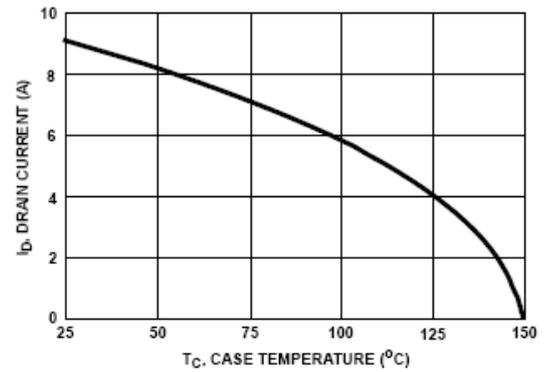


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

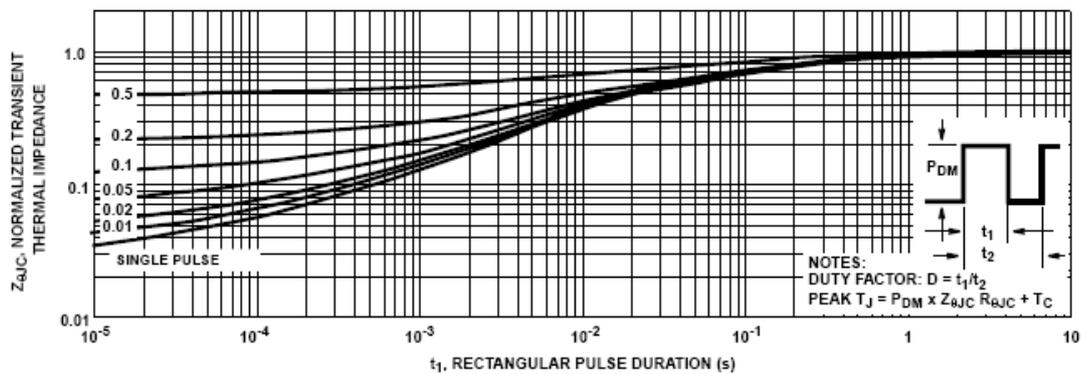


FIGURE 3. NORMALIZED TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

IRF630, RF1S630SM

Test Circuits and Waveforms

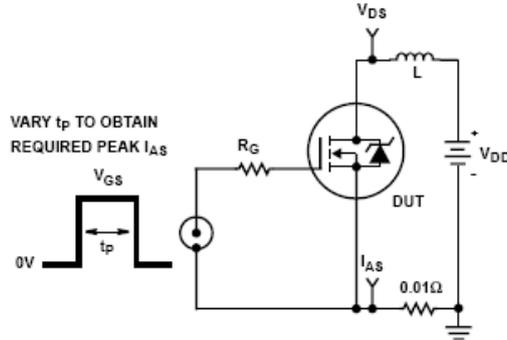


FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

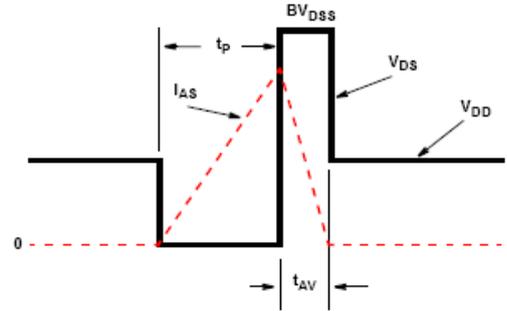


FIGURE 16. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

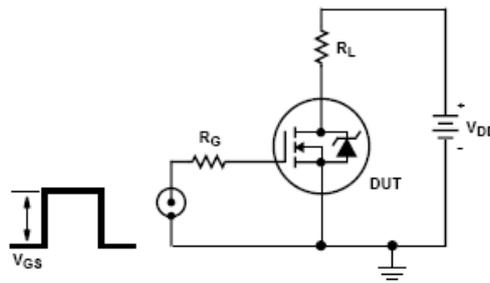


FIGURE 17. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

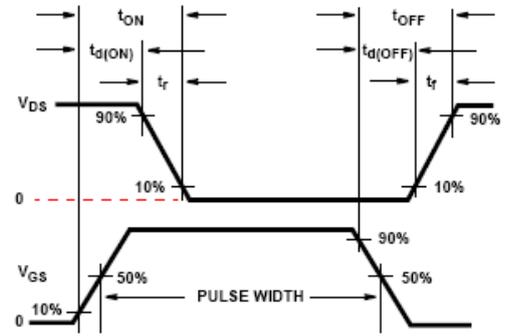


FIGURE 18. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

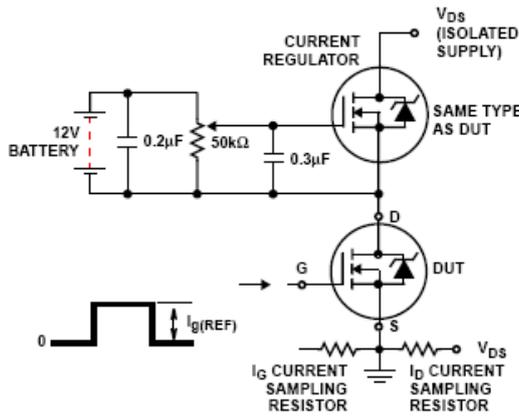


FIGURE 19. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

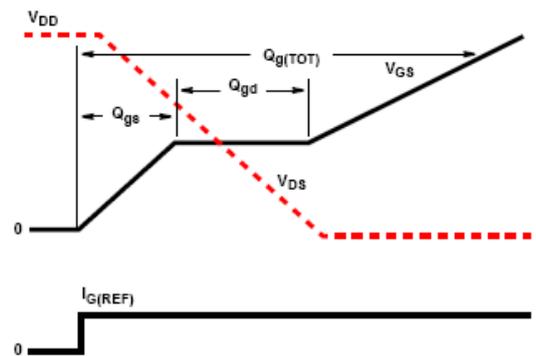


FIGURE 20. GATE CHARGE WAVEFORMS

ANEXO N° 4

Hoja de Datos: IRFZ44N

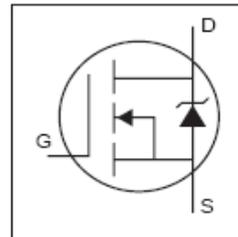
International
IR Rectifier

PD - 94053

IRFZ44N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated

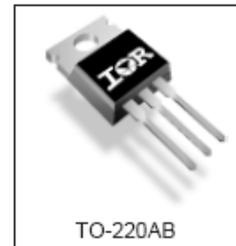


$V_{DSS} = 55V$
 $R_{DS(on)} = 17.5m\Omega$
 $I_D = 49A$

Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

| | Parameter | Max. | Units |
|---------------------------|--|--------------------|-------|
| $I_D @ T_C = 25^\circ C$ | Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$ | 49 | A |
| $I_D @ T_C = 100^\circ C$ | Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$ | 35 | |
| I_{DM} | Pulsed Drain Current ① | 160 | |
| $P_D @ T_C = 25^\circ C$ | Power Dissipation | 94 | W |
| | Linear Derating Factor | 0.63 | W/°C |
| V_{GS} | Gate-to-Source Voltage | ± 20 | V |
| I_{AR} | Avalanche Current ① | 25 | A |
| E_{AR} | Repetitive Avalanche Energy ① | 9.4 | mJ |
| dv/dt | Peak Diode Recovery dv/dt ③ | 5.0 | V/ns |
| T_J | Operating Junction and | -55 to + 175 | °C |
| T_{STG} | Storage Temperature Range | | |
| | Soldering Temperature, for 10 seconds | | |
| | Mounting torque, 6-32 or M3 screw | 10 lbf•in (1.1N•m) | |

Thermal Resistance

| | Parameter | Typ. | Max. | Units |
|-----------------|-------------------------------------|------|------|-------|
| $R_{\theta JC}$ | Junction-to-Case | — | 1.5 | °C/W |
| $R_{\theta CS}$ | Case-to-Sink, Flat, Greased Surface | 0.50 | — | |
| $R_{\theta JA}$ | Junction-to-Ambient | — | 62 | |

IRFZ44N

International
IR Rectifier

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

| | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Units | Conditions |
|---------------------------------|--------------------------------------|------|-------|-------|-------|---|
| $V_{(BR)DSS}$ | Drain-to-Source Breakdown Voltage | 55 | — | — | V | $V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$ |
| $\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$ | Breakdown Voltage Temp. Coefficient | — | 0.058 | — | V/°C | Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1mA$ |
| $R_{DS(on)}$ | Static Drain-to-Source On-Resistance | — | — | 17.5 | mΩ | $V_{GS} = 10V, I_D = 25A$ ③ |
| $V_{GS(th)}$ | Gate Threshold Voltage | 2.0 | — | 4.0 | V | $V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$ |
| g_{fs} | Forward Transconductance | 19 | — | — | S | $V_{DS} = 25V, I_D = 25A$ ④ |
| I_{DSS} | Drain-to-Source Leakage Current | — | — | 25 | μA | $V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$ |
| | | — | — | 250 | | $V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$ |
| I_{GSS} | Gate-to-Source Forward Leakage | — | — | 100 | nA | $V_{GS} = 20V$ |
| | Gate-to-Source Reverse Leakage | — | — | -100 | | $V_{GS} = -20V$ |
| Q_g | Total Gate Charge | — | — | 63 | nC | $I_D = 25A$ |
| Q_{gs} | Gate-to-Source Charge | — | — | 14 | | $V_{DS} = 44V$ |
| Q_{gd} | Gate-to-Drain ("Miller") Charge | — | — | 23 | | $V_{GS} = 10V$, See Fig. 6 and 13 |
| $t_{d(on)}$ | Turn-On Delay Time | — | 12 | — | ns | $V_{DD} = 28V$ |
| t_r | Rise Time | — | 60 | — | | $I_D = 25A$ |
| $t_{d(off)}$ | Turn-Off Delay Time | — | 44 | — | | $R_G = 12\Omega$ |
| t_f | Fall Time | — | 45 | — | | $V_{GS} = 10V$, See Fig. 10 ④ |
| L_D | Internal Drain Inductance | — | 4.5 | — | nH | Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact |
| L_S | Internal Source Inductance | — | 7.5 | — | | |
| C_{iss} | Input Capacitance | — | 1470 | — | pF | $V_{GS} = 0V$ |
| C_{oss} | Output Capacitance | — | 360 | — | | $V_{DS} = 25V$ |
| C_{rss} | Reverse Transfer Capacitance | — | 88 | — | | $f = 1.0MHz$, See Fig. 5 |
| E_{AS} | Single Pulse Avalanche Energy ② | — | 530 ③ | 150 ⑥ | mJ | $I_{AS} = 25A, L = 0.47mH$ |

Source-Drain Ratings and Characteristics

| | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Units | Conditions |
|----------|--|---|------|------|-------|--|
| I_S | Continuous Source Current (Body Diode) | — | — | 49 | A | MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. |
| I_{SM} | Pulsed Source Current (Body Diode) ① | — | — | 160 | | |
| V_{SD} | Diode Forward Voltage | — | — | 1.3 | V | $T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 25A, V_{GS} = 0V$ ④ |
| t_{rr} | Reverse Recovery Time | — | 63 | 95 | ns | $T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 25A$ |
| Q_{rr} | Reverse Recovery Charge | — | 170 | 260 | nC | $di/dt = 100A/\mu s$ ④ |
| t_{on} | Forward Turn-On Time | Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D) | | | | |

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
- ② Starting $T_J = 25^\circ\text{C}, L = 0.48mH$
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = 25A$. (See Figure 12)
- ③ $I_{SD} \leq 25A, di/dt \leq 230A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width $\leq 400\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.
- ⑤ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.
- ⑥ This is a calculated value limited to $T_J = 175^\circ\text{C}$.

International
IGR Rectifier

IRFZ44N

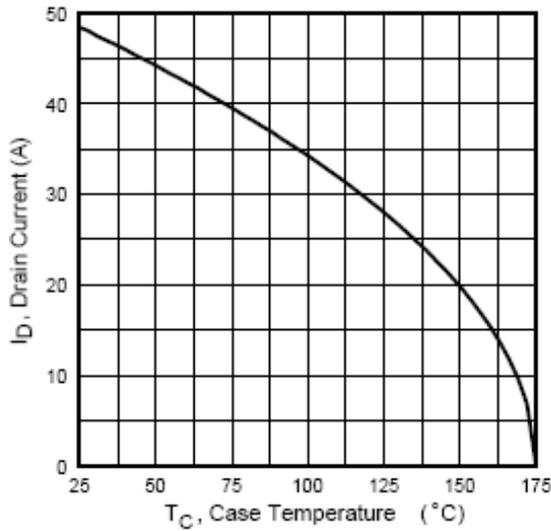


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

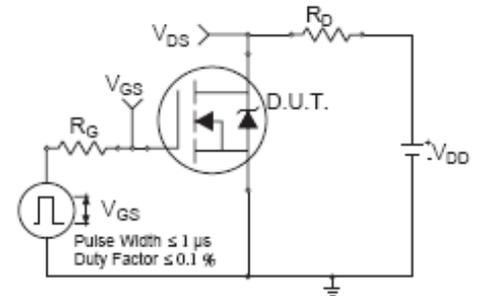


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

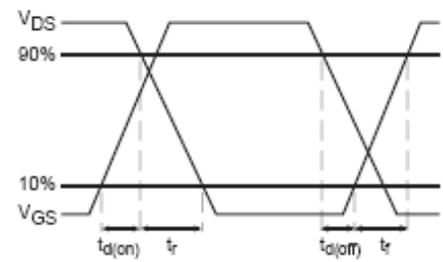


Fig 10b. Switching Time Waveforms

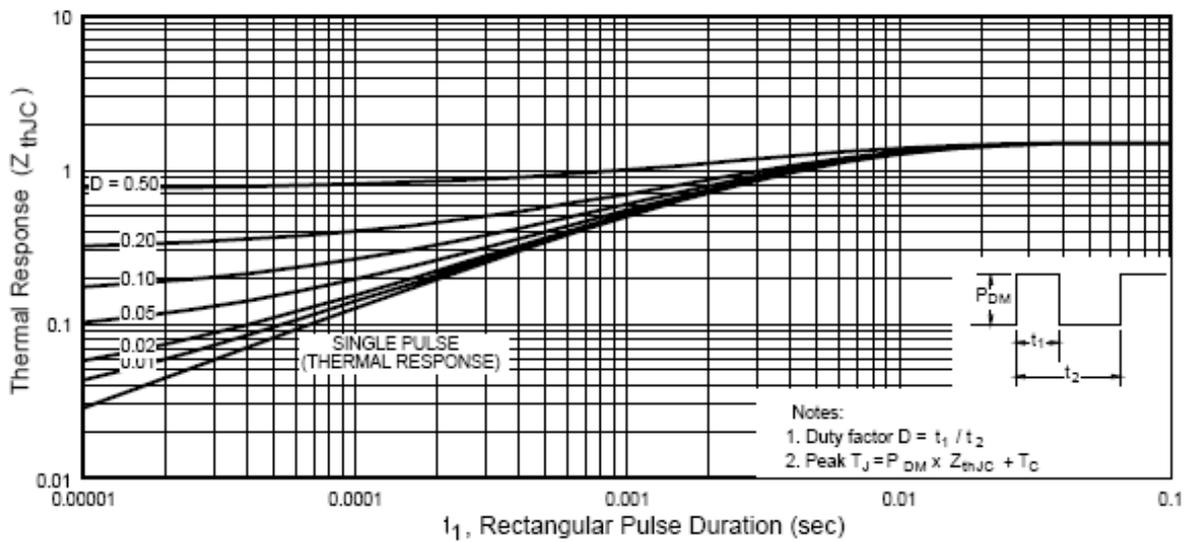


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

IRFZ44N

International
IGR Rectifier

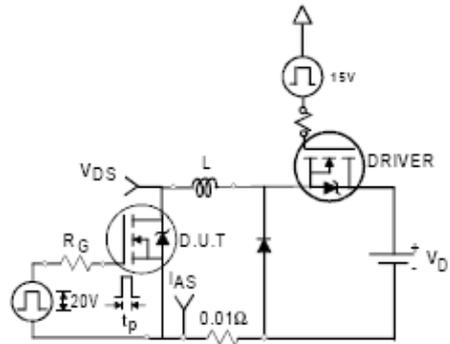


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

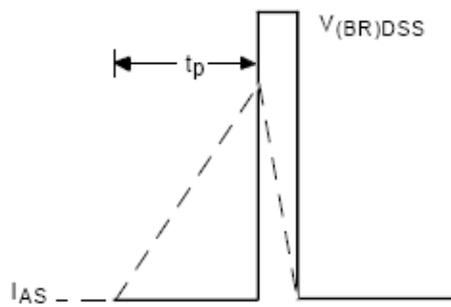


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

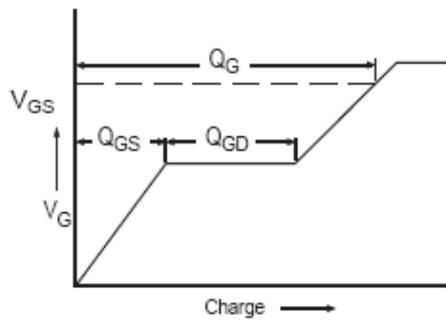


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

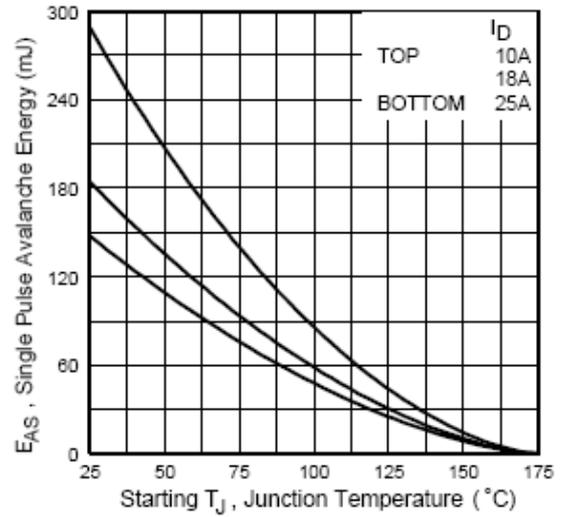


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

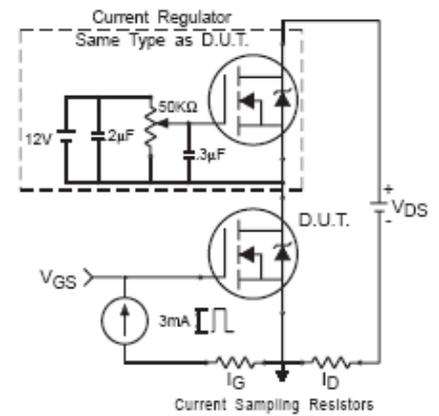


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

ANEXO N° 5

Hoja de Datos: 4N33



GENERAL PURPOSE 6-PIN PHOTODARLINGTON OPTOCOUPLEDERS

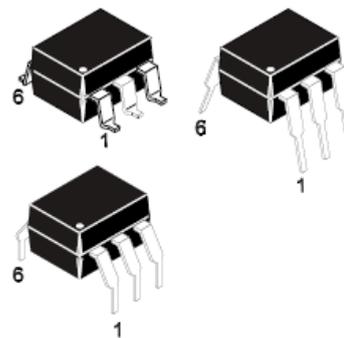
DESCRIPTION

The 4N29, 4N30, 4N31, 4N32, 4N33 have a gallium arsenide infrared emitter optically coupled to a silicon planar photodarlington.

| | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 4N29 | 4N30 | 4N31 | 4N32 | 4N33 |
|------|------|------|------|------|

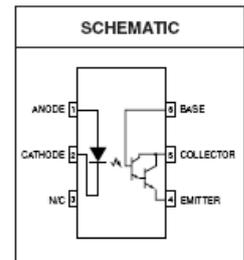
FEATURES

- High sensitivity to low input drive current
- Meets or exceeds all JEDEC Registered Specifications
- VDE 0884 approval available as a test option
-add option .300. (e.g., 4N29.300)



APPLICATIONS

- Low power logic circuits
- Telecommunications equipment
- Portable electronics
- Solid state relays
- Interfacing coupling systems of different potentials and impedances.



| ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified.) | | | |
|--|------------|----------------|----------------------|
| Parameter | Symbol | Value | Units |
| TOTAL DEVICE | | | |
| Storage Temperature | T_{STG} | -55 to +150 | $^\circ\text{C}$ |
| Operating Temperature | T_{OPR} | -55 to +100 | $^\circ\text{C}$ |
| Lead Solder Temperature | T_{SOL} | 260 for 10 sec | $^\circ\text{C}$ |
| Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ | P_D | 250 | mW |
| Derate above 25°C | | 3.3 | mW/ $^\circ\text{C}$ |
| EMITTER | | | |
| Continuous Forward Current | I_F | 80 | mA |
| Reverse Voltage | V_R | 3 | V |
| Forward Current - Peak (300 μs , 2% Duty Cycle) | $I_F(pk)$ | 3.0 | A |
| LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ | P_D | 150 | mW |
| Derate above 25°C | | 2.0 | mW/ $^\circ\text{C}$ |
| DETECTOR | | | |
| Collector-Emitter Breakdown Voltage | BV_{CEO} | 30 | V |
| Collector-Base Breakdown Voltage | BV_{CBO} | 30 | V |
| Emitter-Collector Breakdown Voltage | BV_{ECO} | 5 | V |
| Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ | P_D | 150 | mW |
| Derate above 25°C | | 2.0 | mW/ $^\circ\text{C}$ |
| Continuous Collector Current | I_C | 150 | mA |



GENERAL PURPOSE 6-PIN PHOTODARLINGTON OPTOCOUPERS

4N29 4N30 4N31 4N32 4N33

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C Unless otherwise specified.)

INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS

| Parameter | Test Conditions | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|--------------------------------------|--|-------------------|-----|-------|-----|------|
| EMITTER | | | | | | |
| *Input Forward Voltage | (I _F = 10 mA) | V _F | | 1.2 | 1.5 | V |
| *Reverse Leakage Current | (V _R = 3.0 V) | I _R | | 0.001 | 100 | μA |
| *Capacitance | (V _F = 0 V, f = 1.0 MHz) | C | | 150 | | pF |
| DETECTOR | | | | | | |
| *Collector-Emitter Breakdown Voltage | (I _C = 100 μA, I _B = 0) | BV _{CEO} | 30 | 60 | | |
| *Collector-Base Breakdown Voltage | (I _C = 100 μA, I _E = 0) | BV _{CBO} | 30 | 100 | | V |
| *Emitter-Collector Breakdown Voltage | (I _E = 100 μA, I _B = 0) | BV _{ECC} | 5.0 | 8 | | V |
| *Collector-Emitter Dark Current | (V _{CE} = 10 V, Base Open) | I _{CEO} | | 1 | 100 | nA |
| DC Current Gain | (V _{CE} = 5.0 V, I _C = 500 μA) | h _{FE} | | 5000 | | |

TRANSFER CHARACTERISTICS

| DC Characteristic | Test Conditions | Symbol | Min | Typ | Max | Units |
|---|--|----------------------|----------|-----|-----|--------|
| *Collector Output Current ^(1,2) (4N32, 4N33) | (I _F = 10 mA, V _{CE} = 10 V, I _B = 0) | I _C (CTR) | 50 (500) | | | mA (%) |
| (4N29, 4N30) | | | 10 (100) | | | |
| (4N31) | | | 5 (50) | | | |
| *Saturation Voltage ⁽²⁾ (4N29, 4N30, 4N32, 4N33) | (I _F = 8.0 mA, I _C = 2.0 mA) | V _{CE(sat)} | | | 1.0 | V |
| (4N31) | | | | | 1.2 | |

TRANSFER CHARACTERISTICS

| AC Characteristic | Test Conditions | Symbol | Min | Typ | Max | Units |
|---|--|-----------------|------------------|-----|-----|-------|
| Turn-on Time ⁽³⁾ | (I _F = 200 mA, I _C = 50 mA, V _{CC} = 10 V) (Fig.7) | t _{on} | | | 5.0 | μs |
| Turn-off Time ⁽³⁾ (4N32, 4N33) | | | t _{off} | | 100 | |
| (4N29, 4N30, 4N31) | | | | | 40 | |
| Bandwidth ^(4,5) | | BW | | 30 | | KHz |

ISOLATION CHARACTERISTICS

| Characteristic | Test Conditions | Symbol | Min | Typ | Max | Units |
|---|--|------------------|------|------------------|-----|----------|
| Input-Output Isolation Voltage ⁽⁶⁾ | (I _{I-O} ≤ 1 μA, V _{rms} , t = 1 min.) | V _{ISO} | 5300 | | | Vac(rms) |
| (4N29, 4N30, 4N31, 4N32, 4N33) | | | 2500 | | | V |
| * (4N32) | | | VDC | 1500 | | |
| | | * (4N33) | VDC | | | |
| Isolation Resistance ⁽⁶⁾ | (V _{I-O} = 500 VDC) | R _{ISO} | | 10 ¹¹ | | Ω |
| Isolation Capacitance ⁽⁶⁾ | (V _{I-O} = ∅, f = 1 MHz) | C _{ISO} | | 0.8 | | pf |



GENERAL PURPOSE 6-PIN PHOTODARLINGTON OPTOCOUPLERS

| | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 4N29 | 4N30 | 4N31 | 4N32 | 4N33 |
|------|------|------|------|------|

Fig. 1 Output Current vs. Input Current

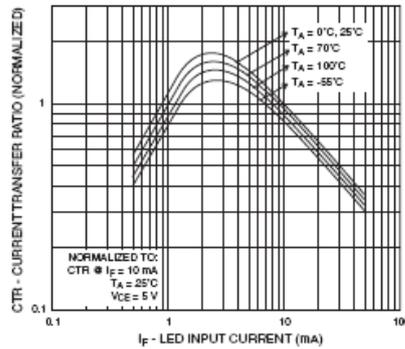


Fig. 2 Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature

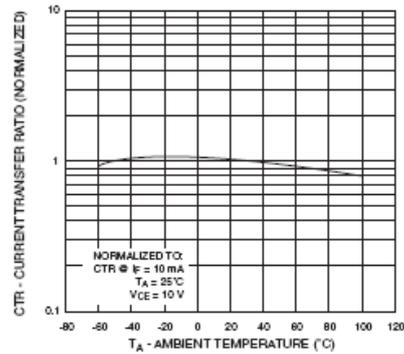


Fig. 3 Collector Current vs. Collector-Emitter Voltage

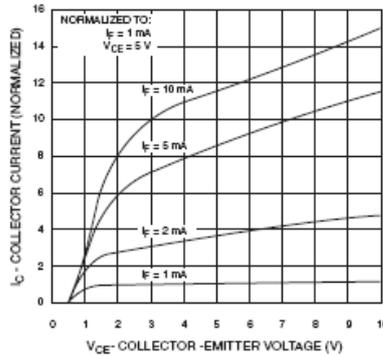


Fig. 4 Dark Current vs. Ambient Temperature

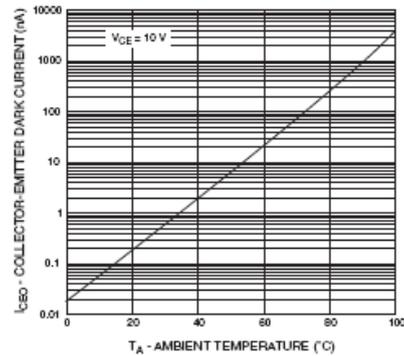


Fig. 5 Turn-On Time vs. Input Current

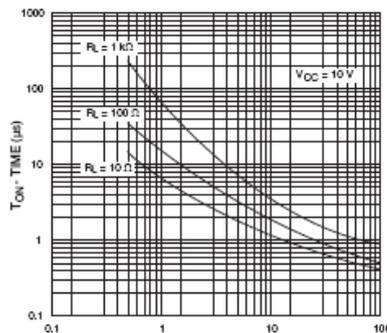
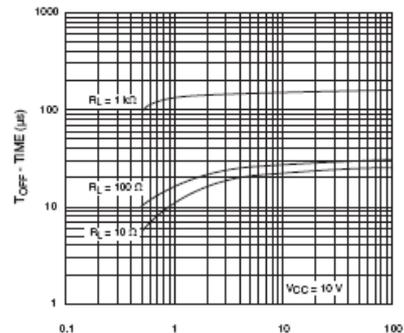


Fig. 6 Turn-Off Time vs. Input Current



ANEXO N° 6

Hoja de Datos: L7805



**L7800
SERIES**

POSITIVE VOLTAGE REGULATORS

- OUTPUT CURRENT TO 1.5A
- OUTPUT VOLTAGES OF 5; 5.2; 6; 8; 8.5; 9; 10; 12; 15; 18; 24V
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSITION SOA PROTECTION

DESCRIPTION

The L7800 series of three-terminal positive regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-220FM, TO-3 and D²PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltage and currents.

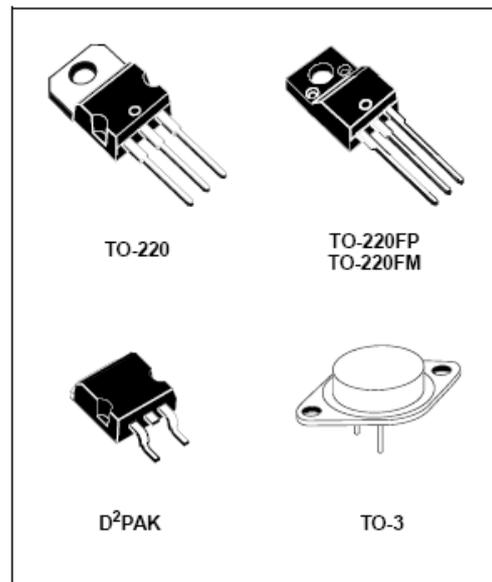
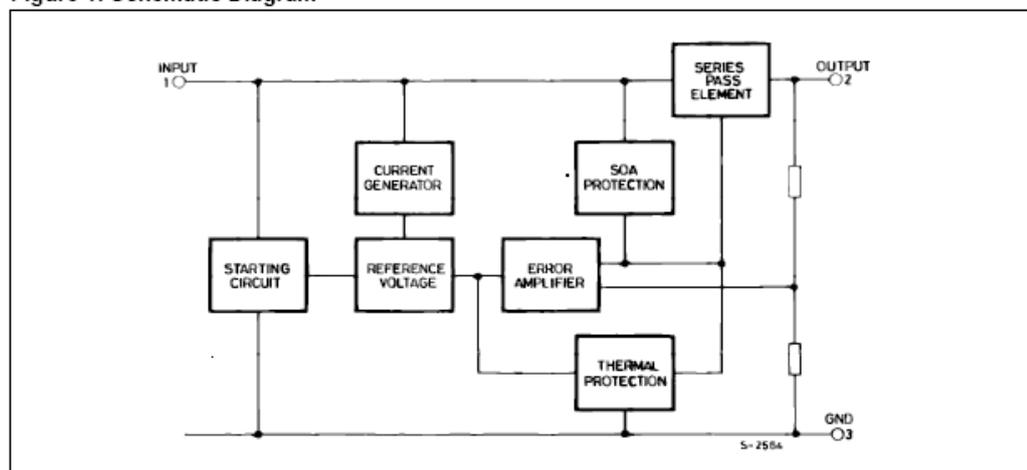


Figure 1: Schematic Diagram



L7800 SERIES

Table 1: Absolute Maximum Ratings

| Symbol | Parameter | | Value | Unit |
|-----------|--------------------------------------|------------------------|--------------------|------|
| V_I | DC Input Voltage | for $V_O = 5$ to $18V$ | 35 | V |
| | | for $V_O = 20, 24V$ | 40 | |
| I_O | Output Current | | Internally Limited | |
| P_{tot} | Power Dissipation | | Internally Limited | |
| T_{stg} | Storage Temperature Range | | -65 to 150 | °C |
| T_{op} | Operating Junction Temperature Range | for L7800 | -55 to 150 | °C |
| | | for L7800C | 0 to 150 | |

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

Table 2: Thermal Data

| Symbol | Parameter | D ² PAK | TO-220 | TO-220FP | TO-220FM | TO-3 | Unit |
|----------------|---|--------------------|--------|----------|----------|------|------|
| $R_{thj-case}$ | Thermal Resistance Junction-case Max | 3 | 5 | 5 | 5 | 4 | °C/W |
| $R_{thj-amb}$ | Thermal Resistance Junction-ambient Max | 62.5 | 50 | 60 | 60 | 35 | °C/W |

Figure 2: Schematic Diagram

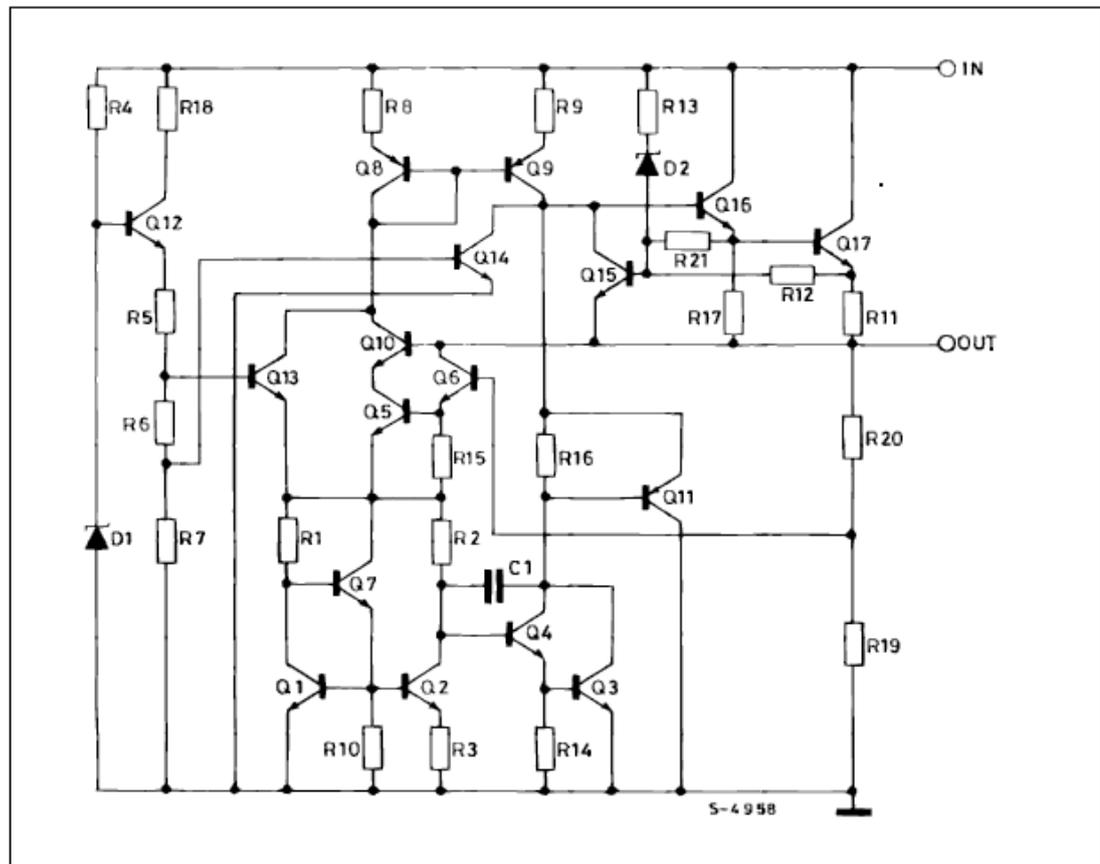


Figure 7: Ripple Rejection

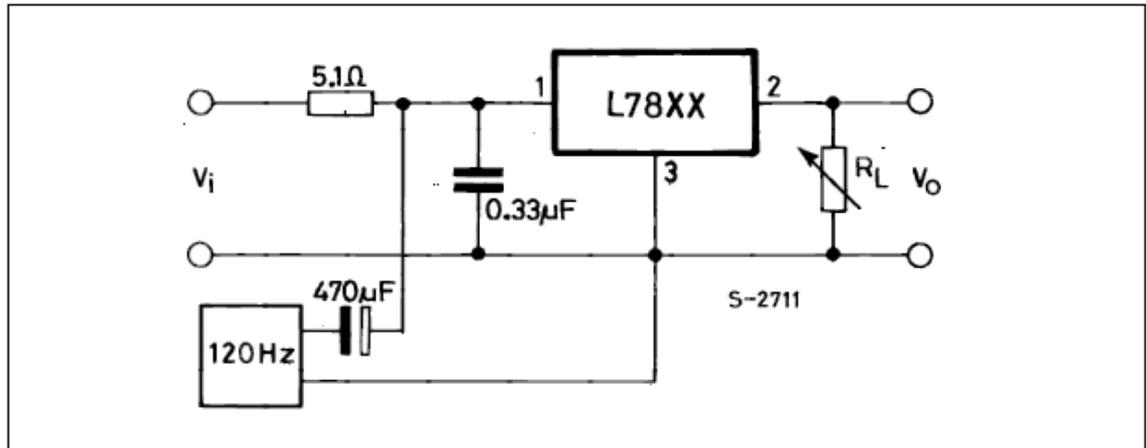


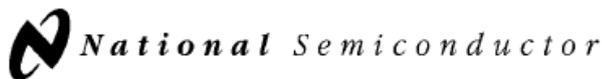
Table 4: Electrical Characteristics Of L7805 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 10\text{V}$, $I_O = 500$ mA, $C_I = 0.33$ μF , $C_O = 0.1$ μF unless otherwise specified).

| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|-----------------------|----------------------------|---|------|------|------------|----------------------|
| V_O | Output Voltage | $T_J = 25^\circ\text{C}$ | 4.8 | 5 | 5.2 | V |
| V_O | Output Voltage | $I_O = 5$ mA to 1 A $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 8$ to 20 V | 4.65 | 5 | 5.35 | V |
| $\Delta V_O(^*)$ | Line Regulation | $V_I = 7$ to 25 V $T_J = 25^\circ\text{C}$ | | 3 | 50 | mV |
| | | $V_I = 8$ to 12 V $T_J = 25^\circ\text{C}$ | | 1 | 25 | |
| $\Delta V_O(^*)$ | Load Regulation | $I_O = 5$ mA to 1.5 A $T_J = 25^\circ\text{C}$ | | | 100 | mV |
| | | $I_O = 250$ to 750 mA $T_J = 25^\circ\text{C}$ | | | 25 | |
| I_d | Quiescent Current | $T_J = 25^\circ\text{C}$ | | | 6 | mA |
| ΔI_d | Quiescent Current Change | $I_O = 5$ mA to 1 A $V_I = 8$ to 25 V | | | 0.5 0.8 | mA |
| $\Delta V_O/\Delta T$ | Output Voltage Drift | $I_O = 5$ mA | | 0.6 | | mV/ $^\circ\text{C}$ |
| eN | Output Noise Voltage | B = 10Hz to 100KHz $T_J = 25^\circ\text{C}$ | | | 40 | $\mu\text{V}/V_O$ |
| SVR | Supply Voltage Rejection | $V_I = 8$ to 18 V $f = 120\text{Hz}$ | 68 | | | dB |
| V_d | Dropout Voltage | $I_O = 1$ A $T_J = 25^\circ\text{C}$ | | 2 | 2.5 | V |
| R_O | Output Resistance | $f = 1$ KHz | | 17 | | m Ω |
| I_{sc} | Short Circuit Current | $V_I = 35$ V $T_J = 25^\circ\text{C}$ | | 0.75 | 1.2 | A |
| I_{scp} | Short Circuit Peak Current | $T_J = 25^\circ\text{C}$ | 1.3 | 2.2 | 3.3 | A |

(*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

ANEXO N° 7

Hoja de Datos: LM567



February 1995

LM567/LM567C Tone Decoder

General Description

The LM567 and LM567C are general purpose tone decoders designed to provide a saturated transistor switch to ground when an input signal is present within the passband. The circuit consists of an I and Q detector driven by a voltage controlled oscillator which determines the center frequency of the decoder. External components are used to independently set center frequency, bandwidth and output delay.

Features

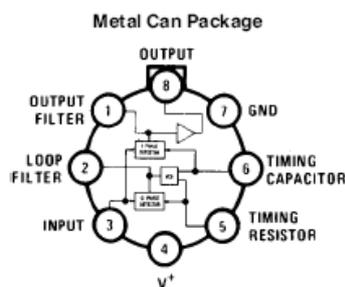
- 20 to 1 frequency range with an external resistor
- Logic compatible output with 100 mA current sinking capability

- Bandwidth adjustable from 0 to 14%
- High rejection of out of band signals and noise
- Immunity to false signals
- Highly stable center frequency
- Center frequency adjustable from 0.01 Hz to 500 kHz

Applications

- Touch tone decoding
- Precision oscillator
- Frequency monitoring and control
- Wide band FSK demodulation
- Ultrasonic controls
- Carrier current remote controls
- Communications paging decoders

Connection Diagrams

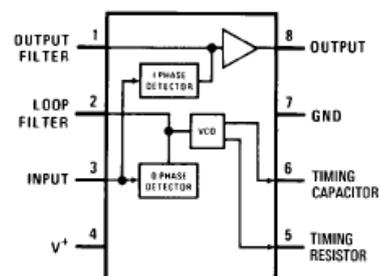


TL/H/8975-1

Top View

Order Number LM567H or LM567CH
See NS Package Number H08C

Dual-In-Line and Small Outline Packages



TL/H/8975-2

Top View

Order Number LM567CM
See NS Package Number M08A
Order Number LM567CN
See NS Package Number N08E

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

| | |
|-----------------------------|-----------------|
| Supply Voltage Pin | 9V |
| Power Dissipation (Note 1) | 1100 mW |
| V_8 | 15V |
| V_3 | -10V |
| V_3 | $V_4 + 0.5V$ |
| Storage Temperature Range | -65°C to +150°C |
| Operating Temperature Range | |
| LM567H | -55°C to +125°C |
| LM567CH, LM567CM, LM567CN | 0°C to +70°C |

Soldering Information

| | |
|-----------------------|-------|
| Dual-In-Line Package | |
| Soldering (10 sec.) | 260°C |
| Small Outline Package | |
| Vapor Phase (60 sec.) | 215°C |
| Infrared (15 sec.) | 220°C |

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

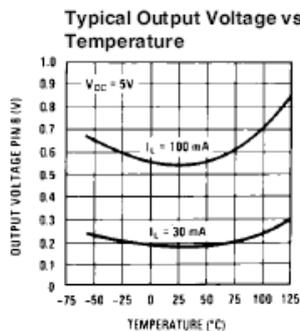
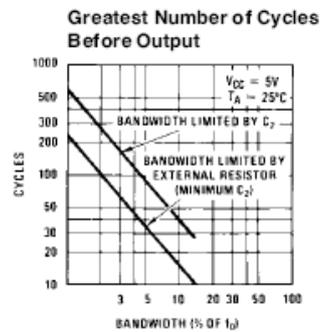
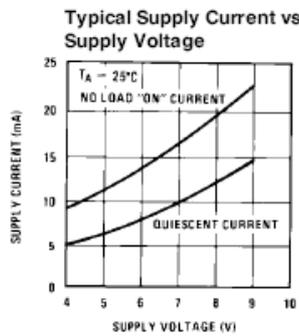
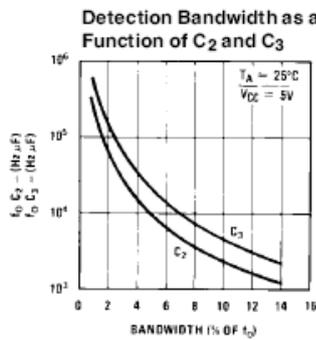
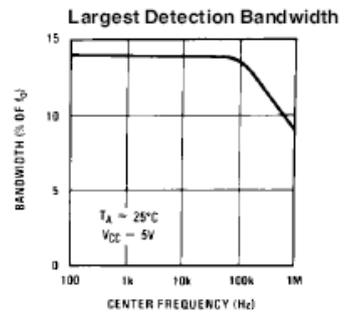
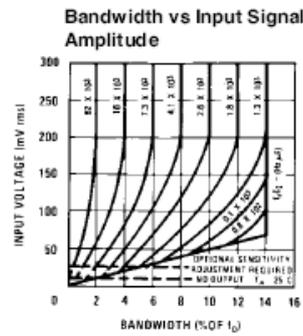
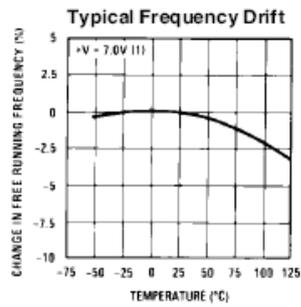
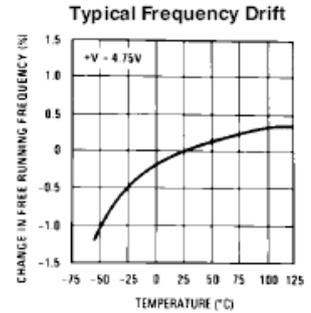
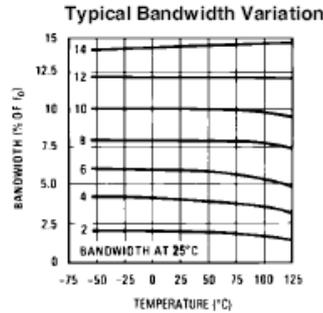
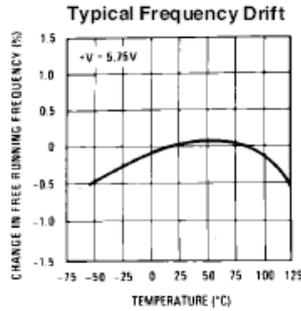
Electrical Characteristics AC Test Circuit, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V^+ = 5V$

| Parameters | Conditions | LM567 | | | LM567C/LM567CM | | | Units |
|--|---|-------|-----------------------------|------------|----------------|-----------------------------|------------|------------------|
| | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| Power Supply Voltage Range | | 4.75 | 5.0 | 9.0 | 4.75 | 5.0 | 9.0 | V |
| Power Supply Current Quiescent | $R_L = 20k$ | | 6 | 8 | | 7 | 10 | mA |
| Power Supply Current Activated | $R_L = 20k$ | | 11 | 13 | | 12 | 15 | mA |
| Input Resistance | | 18 | 20 | | 15 | 20 | | k Ω |
| Smallest Detectable Input Voltage | $I_L = 100 \text{ mA}$, $f_i = f_o$ | | 20 | 25 | | 20 | 25 | mVrms |
| Largest No Output Input Voltage | $I_C = 100 \text{ mA}$, $f_i = f_o$ | 10 | 15 | | 10 | 15 | | mVrms |
| Largest Simultaneous Outband Signal to Inband Signal Ratio | | | 6 | | | 6 | | dB |
| Minimum Input Signal to Wideband Noise Ratio | $B_n = 140 \text{ kHz}$ | | -6 | | | -6 | | dB |
| Largest Detection Bandwidth | | 12 | 14 | 16 | 10 | 14 | 18 | % of f_o |
| Largest Detection Bandwidth Skew | | | 1 | 2 | | 2 | 3 | % of f_o |
| Largest Detection Bandwidth Variation with Temperature | | | ± 0.1 | | | ± 0.1 | | %/°C |
| Largest Detection Bandwidth Variation with Supply Voltage | 4.75 - 6.75V | | ± 1 | ± 2 | | ± 1 | ± 5 | %V |
| Highest Center Frequency | | 100 | 500 | | 100 | 500 | | kHz |
| Center Frequency Stability (4.75-5.75V) | $0 < T_A < 70$ $-55 < T_A < +125$ | | 35 ± 60 35 ± 140 | | | 35 ± 60 35 ± 140 | | ppm/°C ppm/°C |
| Center Frequency Shift with Supply Voltage | 4.75V - 6.75V 4.75V - 9V | | 0.5 2.0 | 1.0 2.0 | | 0.4 2.0 | 2.0 2.0 | %/V %/V |
| Fastest ON-OFF Cycling Rate | | | $f_o/20$ | | | $f_o/20$ | | |
| Output Leakage Current | $V_B = 15V$ | | 0.01 | 25 | | 0.01 | 25 | μA |
| Output Saturation Voltage | $e_i = 25 \text{ mV}$, $I_B = 30 \text{ mA}$ $e_i = 25 \text{ mV}$, $I_B = 100 \text{ mA}$ | | 0.2 0.6 | 0.4 1.0 | | 0.2 0.6 | 0.4 1.0 | V |
| Output Fall Time | | | 30 | | | 30 | | ns |
| Output Rise Time | | | 150 | | | 150 | | ns |

Note 1: The maximum junction temperature of the LM567 and LM567C is 150°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient or 45°C/W, junction to case. For the DIP the device must be derated based on a thermal resistance of 110°C/W, junction to ambient. For the Small Outline package, the device must be derated based on a thermal resistance of 160°C/W, junction to ambient.

Note 2: Refer to RETS567X drawing for specifications of military LM567H version.

Typical Performance Characteristics



ANEXO N° 8

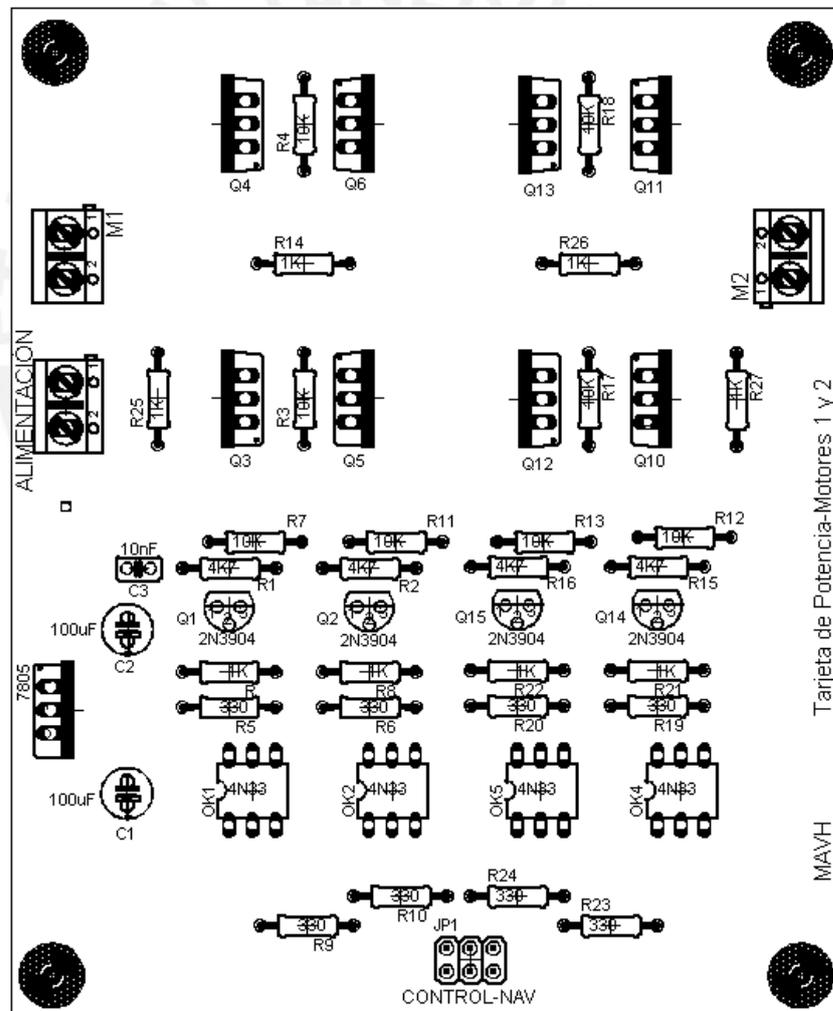
Hoja de Datos: ATmega 8

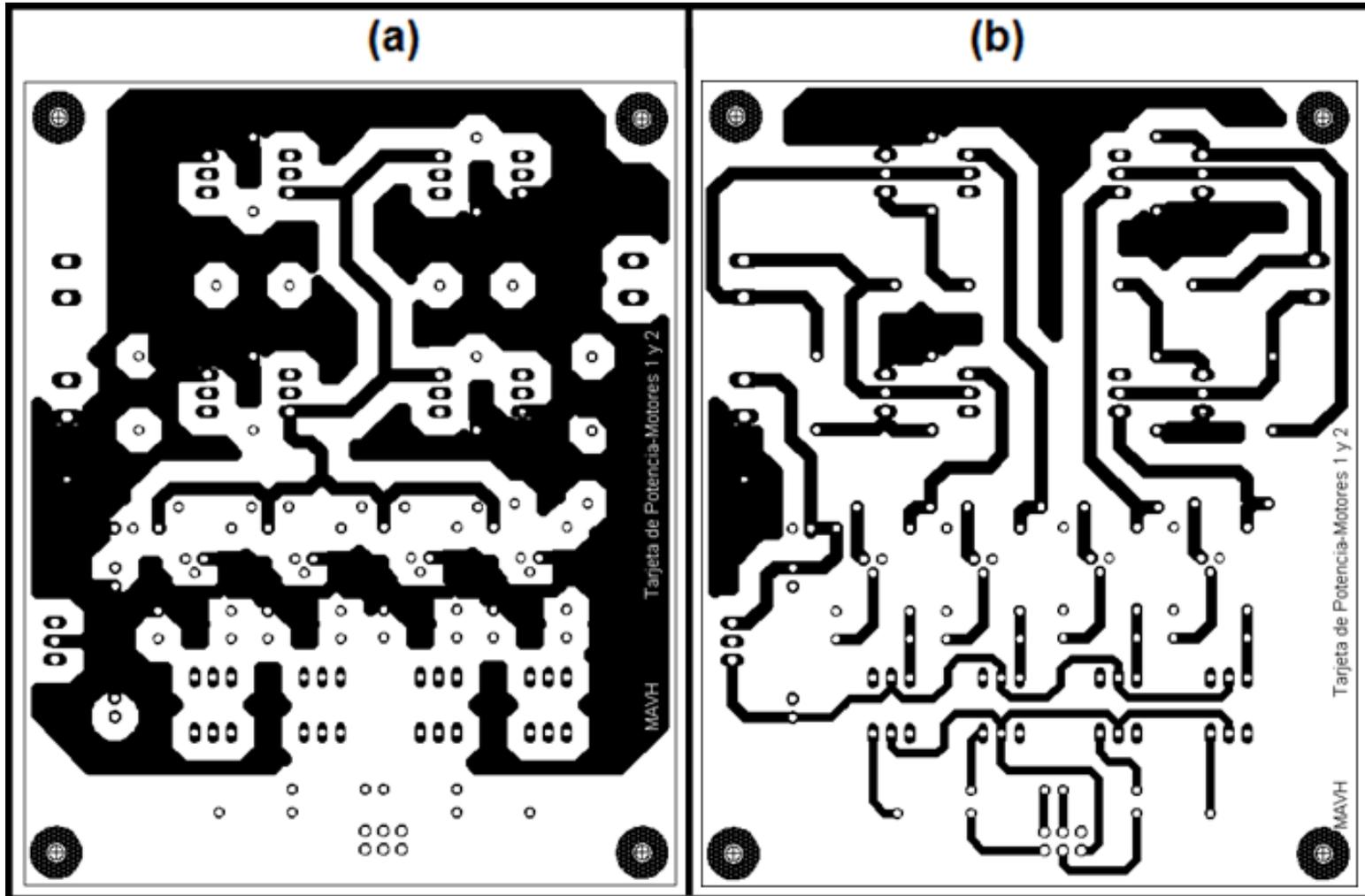
(Hoja de Datos adjunta en CD por su tamaño)



ANEXO N° 9

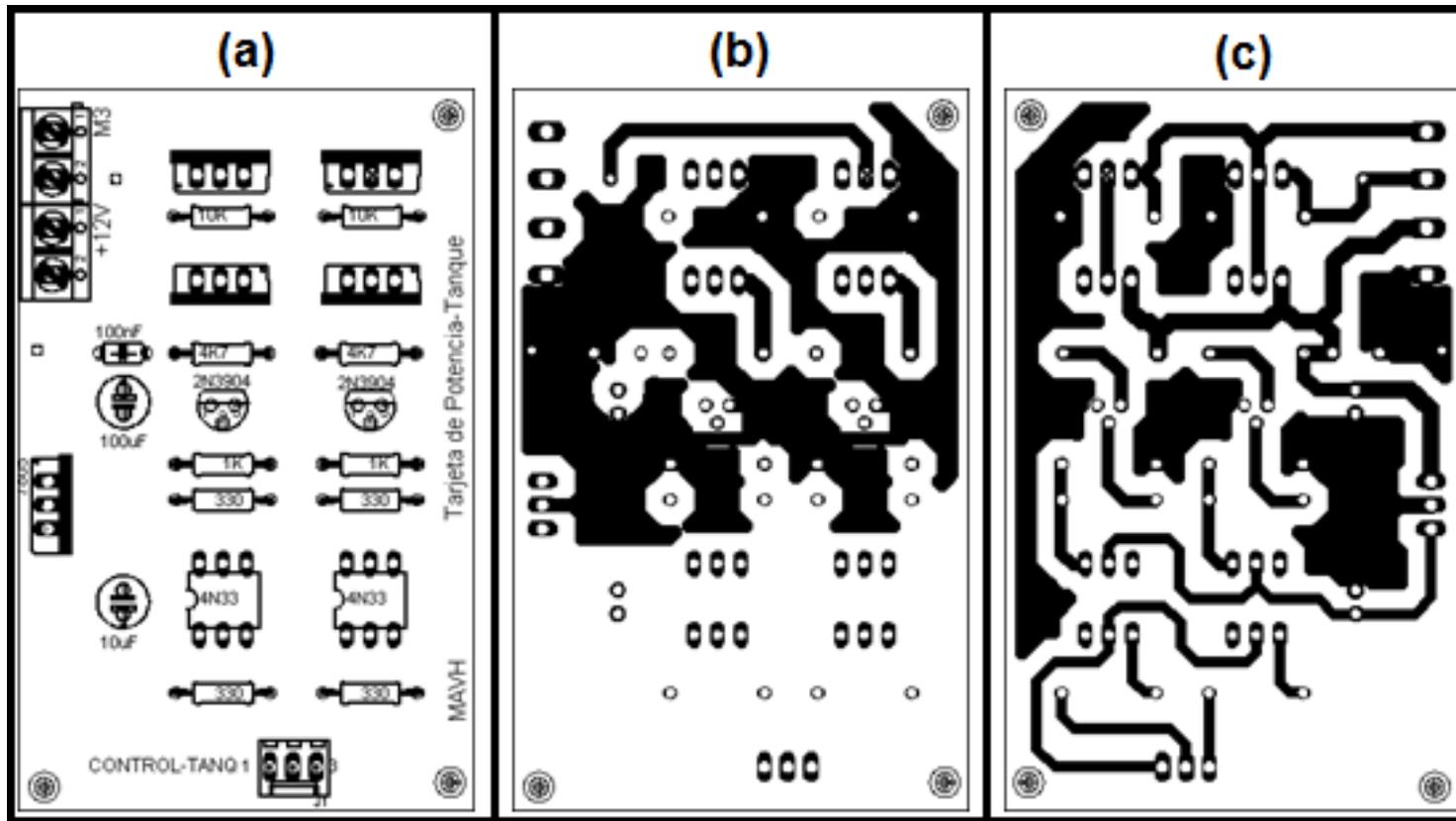
Disposición de componentes, vista “top” (a) y “bottom” (b) de la tarjeta de potencia-navegación.





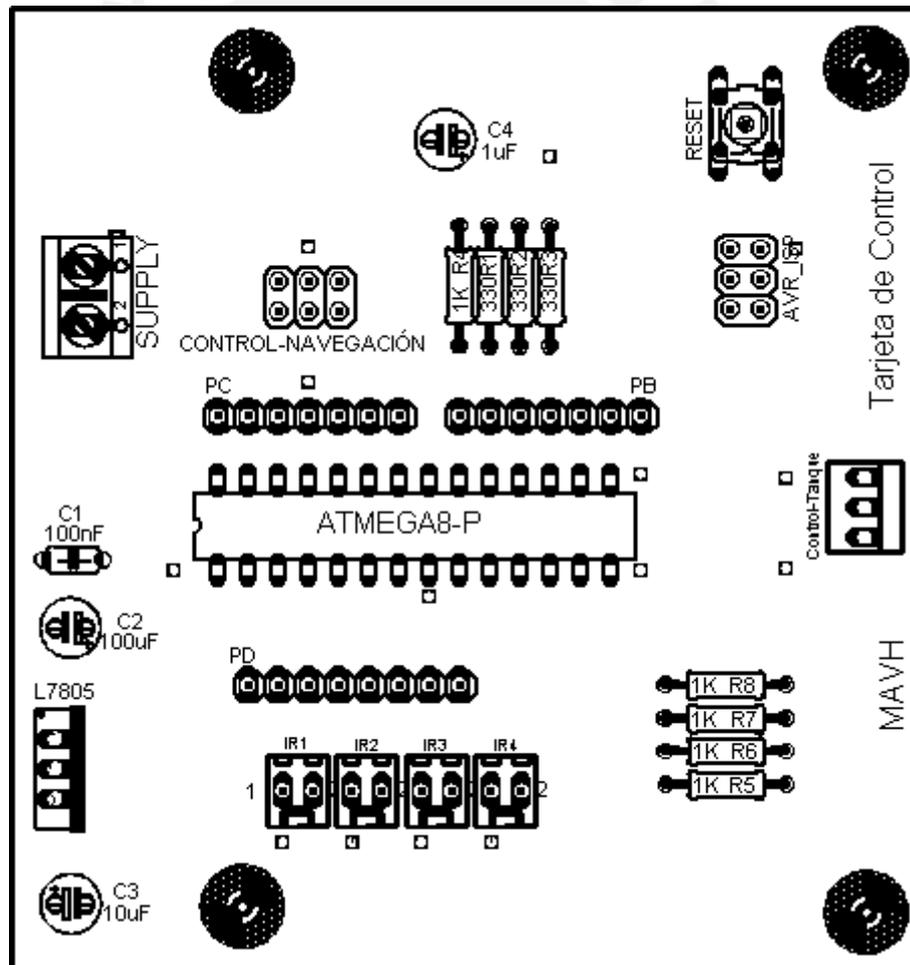
ANEXO N° 10

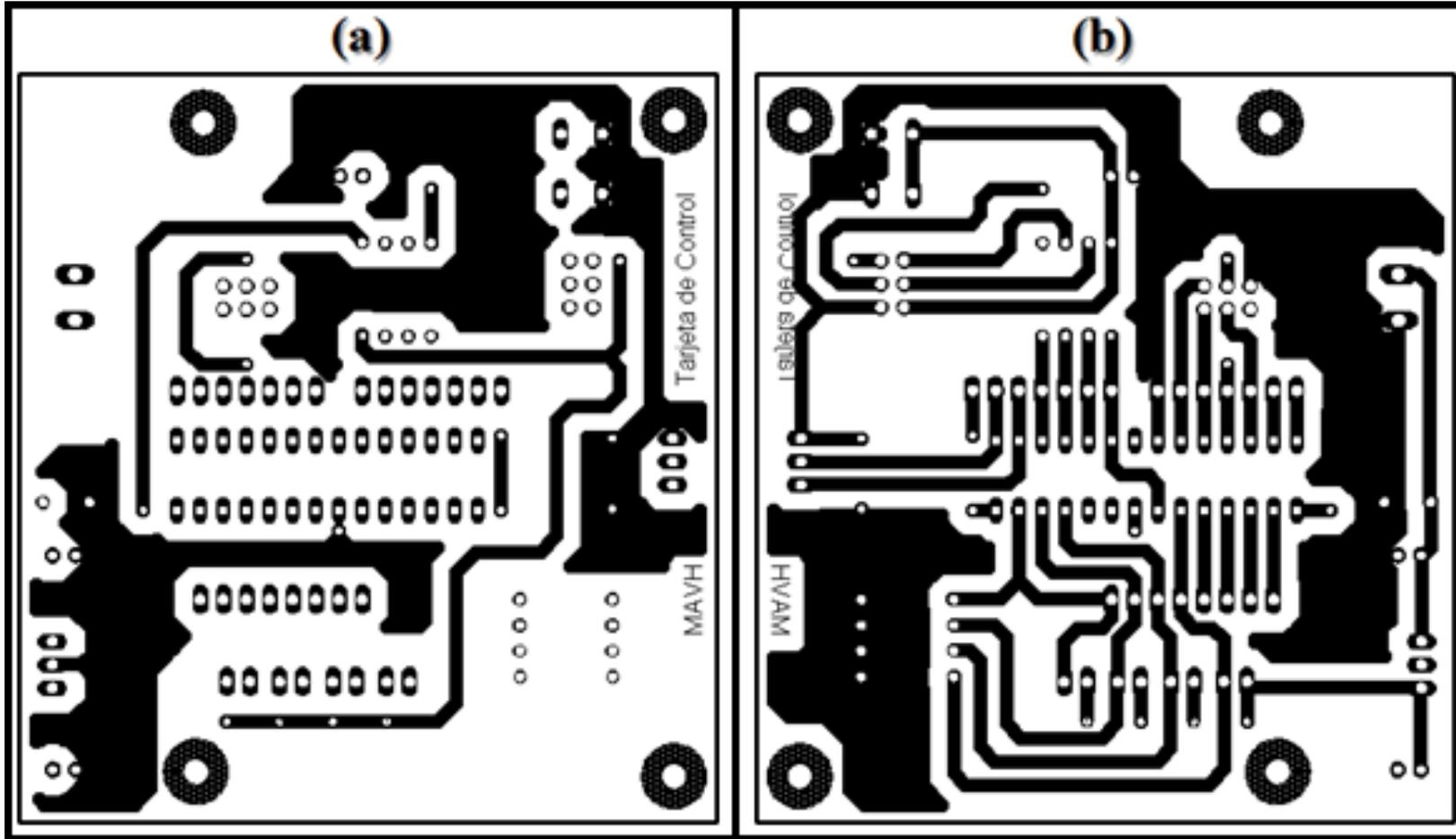
Disposición de componentes (a), vista “top” (b) y “bottom” (c) de la tarjeta de potencia-tanque de lastre



ANEXO N° 11

Disposición de componentes, vista “top” (a) y “bottom” (b) de la tarjeta de control





ANEXO N° 13

Ecuación Diferencial del Submarino

A continuación mostramos la ecuación diferencial y el diagrama de fuerzas en los tres estados de movimiento del submarino (descender, ascender y equilibrio).

A) Descenso:

Cuando el submarino desciende intervienen fuerzas que afectan su movimiento. Estas fuerzas son: El empuje (E) generado para oponerse al peso (W) del submarino, y además la fuerza viscosa (f_v) propia del fluido por donde se desplaza el submarino. Podemos apreciar el diagrama de fuerzas para el descenso en la siguiente figura.

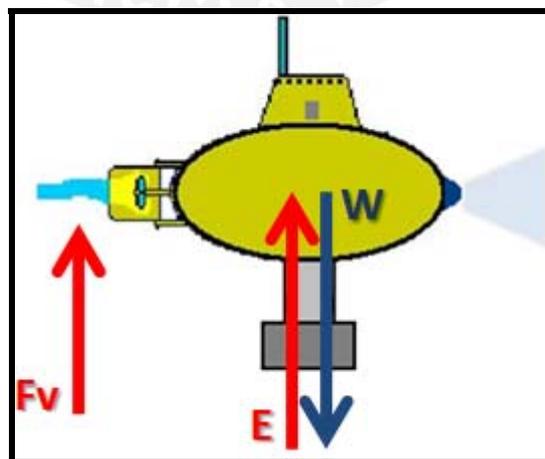


Figura 1 Diagrama de fuerzas cuando submarino desciende

La ecuación diferencial podemos obtenerla de dicho diagrama de fuerzas.

Entonces podemos desarrollar la ecuación según la Segunda Ley de Newton donde la suma de fuerzas es igual al producto de la masa por la aceleración:

$$W - f_v - E = m(dv/dt) + v(dm/dt) \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

$$W = m \cdot g \quad (\text{Ec. 2})$$

$$f_v = k \cdot v \quad (\text{Ec. 3})$$

$$E = \rho \cdot V \cdot g \quad (\text{Ec. 4})$$

$$\rho = m/V \quad (\text{Ec. 5})$$

ρ : Densidad del fluido

V : Volumen desalojado

m : Masa del submarino

v : Velocidad

g : Aceleración de la gravedad

Ahora sustituimos las ecuaciones 2, 3 y 4 en la ecuación 1 y obtenemos:

$$m \cdot g - k \cdot v - \rho \cdot V \cdot g = m(dv/dt) + v(dm/dt) \quad (\text{Ec. 6})$$

Para que el submarino descienda el tanque de lastre es inundado con agua y así pueda cambiar la densidad del mismo, con esto hacemos que la densidad total del submarino y el agua en su interior sea mayor que la del fluido por ende el submarino irá sumergiéndose.

De la ecuación 6 podríamos encontrar una relación entre la variación de densidad y la profundidad a la que se sumerge el submarino.

B) Ascenso:

En esta ocasión al ascender, la fuerza viscosa se opone por lo que siempre es importante tener en cuenta el efecto que pueda tener sobre el movimiento del submarino.

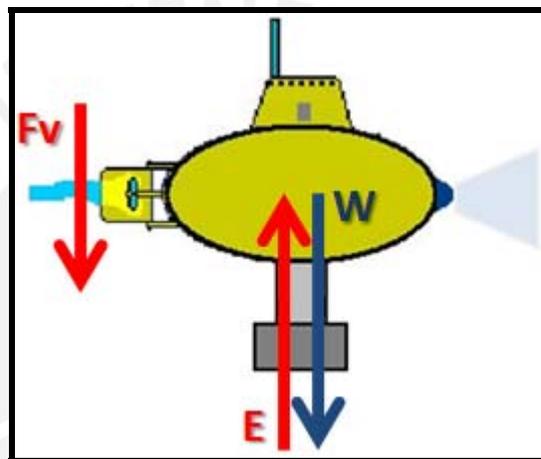


Figura 2 Diagrama de fuerzas cuando submarino asciende

Del diagrama de fuerzas de la figura 2 podemos obtener su respectiva ecuación diferencial.

$$E - W - fv = m(dv/dt) + v(dm/dt) \quad (\text{Ec. 7})$$

Procedemos al igual que en el descenso, entonces obtendremos:

$$\rho.V.g - m.g - k.v = m(dv/dt) + v(dm/dt) \quad (\text{Ec. 8})$$

C) Equilibrio:

En este estado solo intervienen las fuerzas de empuje y el peso, siendo iguales para mantener el equilibrio. A continuación se muestra el diagrama de fuerzas del estado.

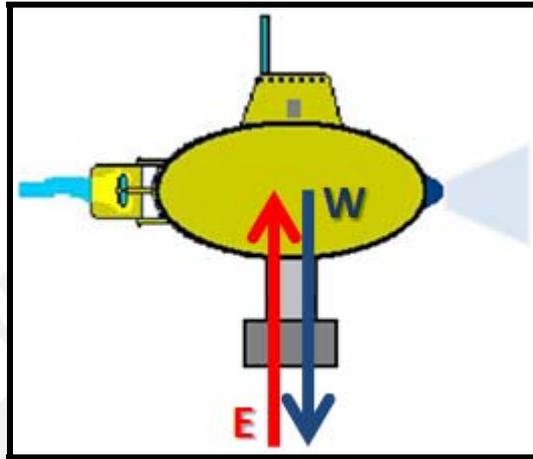


Figura 2 Diagrama de fuerzas cuando submarino

$$W - E = m(dv/dt) + v(dm/dt) \quad (\text{Ec. 9})$$

Por encontrarse en equilibrio no hay variación de velocidad por lo que la ecuación queda de la siguiente forma:

$$W = E \quad (\text{Ec. 10})$$

ANEXO N° 14

Código de Programación

```
.include "m8def.inc"

; Define here the variables
;
.def temp      = r17
.def infra     = r18

.equ valortope = 15624

.MACRO ADELANTE ;00000101

    cbi PORTC,3
    sbi PORTC,2
    cbi PORTC,1
    sbi PORTC,0

.ENDMACRO

.MACRO DERECHA ;00001001

    sbi PORTC,3
    cbi PORTC,2
    cbi PORTC,1
    sbi PORTC,0

.ENDMACRO

.MACRO IZQUIERDA ;00000110

    cbi PORTC,3
    sbi PORTC,2
    sbi PORTC,1
    cbi PORTC,0

.ENDMACRO
```

```

.MACRO   ATRAS           ;00001010

        sbi   PORTC,3
        cbi   PORTC,2
        sbi   PORTC,1
        cbi   PORTC,0

.ENDMACRO

.MACRO   SUMERGE        ;00000010

        cbi   PORTB,2
        sbi   PORTB,1

.ENDMACRO

.MACRO   EMERGE         ;00000100

        sbi   PORTB,2
        cbi   PORTB,1

.ENDMACRO

; Define here Reset and interrupt vectors, if any
;
reset:
  rjmp inicio_principal
  rjmp int_infra           ; Addr $01 (INT0-PD2)
  reti   ; Addr $02
  reti   ; Addr $03
  reti   ; Addr $04
  reti   ; Addr $05
  reti   ; Addr $06      Use 'rjmp myVector'
  reti   ; Addr $07      to define a interrupt vector
  reti   ; Addr $08
  reti   ; Addr $09
  reti   ; Addr $0A
  reti   ; Addr $0B      This is just an example
  reti   ; Addr $0C      Not all MCUs have the same
  reti   ; Addr $0D      number of interrupt vectors
  reti   ; Addr $0E
  reti   ; Addr $0F
  reti   ; Addr $10

; Program starts here after Reset

```

```

*****
;
;   PROGRAMA PRINCIPAL
;
*****
inicio_principal:

    cli

    ldi    r16,high(RAMEND) ; inicializamos pila
    out   SPH,R16
    ldi    r16,low(RAMEND)
    out   SPL,R16

    rcall config_puertos
    rcall config_interrup

inicializa:

    sei
    rjmp  nav_auto

*****
;
;   config_puertos:
;
    push  r16

    ldi    r16,0b00000000    ;PD2 entrada (recepción de IR)
    out   ddrd,r16
    ldi    r16,0b11111111    ;Activamos pull-up
    out   portd,r16
    ldi    r16,0b00001111    ;PC0-PC3 y PC4 salidas y entrada
    out   ddrb,r16          (motores navegación
                           ;y RX-IR de prueba)
    ldi    r16,0b00000110    ;PB1-PB2 salidas (motor tanque de
    out   ddrb,r16          lastre)

    pop   r16
    ret

*****
;
;   config_interrup:
;
    push  r16

    ldi    r16,(0<<ISC01)|(1<<ISC00)|(0<<ISC10)|(1<<ISC11)
    ;config. para flanco de subida
    out   MCUCR,r16
    ldi    r16,(1<<INT0)|(0<<INT1)                ;habilita PD2
    out   GICR,r16

```

pop r16
ret

```

.*****
;
;   RUTINA DE NAVEGACIÓN AUTÓNOMA
.*****
autonomo:      ;   Tabla de movimientos del submarino

```

```

.db
1,5,1,2,1,1,3,1,1,1,3,1,1,1,3,1,1,1,3,1,1,1,3,1,1,3,5,1,1,1,1,6,6,4,4,4,4,0

```

```

.*****
;
nav_auto:

```

```

    ldi      zh,high(autonomo<<1)   ;Apuntamos a inicio de tabla
    ldi      zl,low(autonomo<<1)    ;donde se guardaran las
instrucciones

```

```
sigue_nav:
```

```

    lpm     temp,z+                  ;cargamos movimientos para la
    cpi     temp,0                   ;la navegación autónoma
    breq    fin_nav_auto             ;En 0 acaba la rutina autónoma

```

```

    cpi     temp,1                   ;iniciamos filtro de movimientos
    breq    mov_adelante
    cpi     temp,2
    breq    mov_derecha
    cpi     temp,3
    breq    mov_izquierda
    cpi     temp,4
    breq    mov_atras
    cpi     temp,5
    breq    mov_sumerge
    cpi     temp,6
    breq    mov_emerge

```

```

.*****
;

```

```
mov_adelante:      ;submarino va hacia adelante
```

```

    ADELANTE
    rcall  delay_1s
    rjmp  sigue_nav

```

```
mov_derecha:      ;submarino va hacia la derecha 90°
```

```

    DERECHA
    rcall  delay_1s

```

```

    rjmp  sigue_nav

mov_izquierda:                                ;submarino va hacia la izquierda 90°

    IZQUIERDA
    rcall delay_1s
    rjmp  sigue_nav

mov_atras:                                    ;submarino va hacia atrás

    ATRAS
    rcall delay_1s
    rjmp  sigue_nav

mov_sumerge:                                 ;submarino se sumerge

    SUMERGE
    rcall delay_1s
    rjmp  sigue_nav

mov_emerge:                                  ;submarino emerge

    EMERGE
    rcall delay_1s
    rjmp  sigue_nav

fin_nav_auto:

    ldi   r16,0                                ;detiene al submarino
    out  PORTC,r16
    rcall delay_1s

    rjmp  inicializa                          ;regresa a programa principal

;*****
;
;   RUTINA DE INTERRUPCIÓN EXTERNA POR INFRARROJO
;*****
int_infra:

    push r16
    in   r16,sreg
    push r16

    cpi  temp,1                                ;iniciamos filtro de movimientos para evitar
    breq mov_atras_ev
    cpi  temp,2
    breq mov_izquierda_ev
    cpi  temp,3
    breq mov_derecha_ev

```

```

    cpi    temp,4
    breq   mov_adelante_ev
    cpi    temp,5
    breq   mov_emerge_ev
    cpi    temp,6
    breq   mov_sumerge_ev
  
```

mov_adelante_ev: ;submarino va hacia adelante

```

    ADELANTE
    rcall  delay_1s
    rcall  delay_1s
    pop    r16
    out    sreg,r16
    pop    r16
    reti
  
```

mov_derecha_ev: ;submarino va hacia la derecha 90°

```

    DERECHA
    rcall  delay_1s
    rcall  delay_1s
    pop    r16
    out    sreg,r16
    pop    r16
    reti
  
```

mov_izquierda_ev: ;submarino va hacia la izquierda 90°

```

    IZQUIERDA
    rcall  delay_1s
    rcall  delay_1s
    pop    r16
    out    sreg,r16
    pop    r16
    reti
  
```

mov_atras_ev: ;submarino va hacia atrás

```

    ATRAS
    rcall  delay_1s
    rcall  delay_1s
    pop    r16
    out    sreg,r16
    pop    r16
    reti
  
```

mov_sumerge_ev: ;submarino se sumerge

```

    SUMERGE
  
```

```

rcall delay_1s
rcall delay_1s
pop r16
out sreg,r16
pop r16
reti

```

```

mov_emerge_ev:                                ;submarino emerge

```

```

EMERGE
rcall delay_1s
pop r16
out sreg,r16
pop r16
reti

```

```

.*****
;
; REALIZA RETARDO DE UN SEGUNDO APROXIMADAMENTE
.*****
;

```

```

delay_1s:

```

```

push r16
rcall config_timer1

```

```

valida_cuenta:

```

```

in r16,TIFR ;leemos el valor de OCF1A, si vale 1
entonces quiere decir
andi r16,0b00010000 ;que se lleo a la cuenta
cpi r16,0b00010000
breq cuenta_ok
rjmp valida_cuenta

```

```

cuenta_ok:

```

```

in r16,TIFR
ori r16,0b00010000
out TIFR,r16

pop r16
ret

```

```

.*****
;
; config_timer1:

```

```

push r16

clr r16
out TCNT1H,r16

```

```

out   TCNT1L,r16

ldi   r16,high(valortope)
out   OCR1AH,r16
ldi   r16,low(valortope)
out   OCR1AL,r16
ldi   r16,(1<<CS10)|(0<<CS11)|(1<<WGM12)
out   TCCR1B,r16
clr   r16
out   TCCR1A,r16

pop   r16
ret
    
```

.*****
,

