

T/621387/C24



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN
DE UN SISTEMA DE CONTROL Y
GUIADO PARA UN VEHÍCULO
ACUÁTICO NO TRIPULADO”**

**TESIS DESARROLLADA POR LOS
BACHILLERES:**
JUAN DAVID JORGE CASTRO GONZALES,
JULIO CESAR OLIVERA URRUTIA,
JORGE ARMANDO PAREJA OBREGÓN

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO

ASESOR:

MSC.ING. JACOB ASTOCONDOR VILLAR

CALLAO – PERÚ
AGOSTO-2013



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO

“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y
GUIADO PARA UN VEHÍCULO ACUÁTICO NO TRIPULADO”

PRESENTADO POR LOS BACHILLERES:
JHIAN DAVID JORGE CASTRO GONZALEZ
JULIO CESAR OLIVERA URRUTIA
JORGE ARMANDO PAREJA OBREGÓN

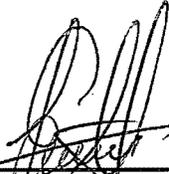
ASESOR:
MSC. ING. JACOB ASTOCONDOR

CALIFICACIÓN

17 (diecisiete)



JURADO (01)
M.Sc., Ing. RAÚL BERJÓN S.



JURADO (03)
ING. LUIS E. CREADO MONTAÑEZ.



JURADO (02)
Ing. Jorge Elias Moscoso Sanchez

CALLAO - PERÚ
AGOSTO-2013

DEDICATORIA

- A nuestros padres quienes siempre estuvieron allí para darnos el empuje, consejos y apoyo durante toda nuestra vida y carrera universitaria, y que eternamente serán el pilar fundamental de lo que hoy en día somos y de lo que hemos logrado en la vida.

- A nuestros abuelos quienes siempre confiaron en nuestras capacidades y valores, les dedicamos esta meta de nuestra vida.

- A la esposa de Julio, Madeleine, quien ha sido su mejor amiga con la que siempre contó y quien le apoyó en este logro de su vida; y su hija Luhana quien es su más grande inspiración.

- A la Universidad Nacional del Callao por habernos admitido y formado como profesionales que somos hoy en día.

ÍNDICE GENERAL

TABLA DE CONTENIDO

PROLOGO	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	9
CAPITULO I	11
I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.1 Identificación del Problema	12
1.2 Formulación del Problema	13
1.3 Objetivos de la Investigación.....	14
1.3.1 Objetivo General.....	14
1.3.2 Objetivos Específicos.....	14
1.4 Justificación.....	14
1.5 Limitaciones Y Facilidades.....	15
1.6 Hipótesis	16
CAPITULO II	17
II. MARCO TEORICO.....	18
2.1 Antecedentes del Estudio	18
2.1.1 RAPHAEL PROTECTOR	18
2.1.2 Flota CLASE USV.....	19
2.1.3 Buque PIRANHA SUPERFICIE.....	20
2.2 Fundamentos Teóricos.....	22
2.2.1 Software	22
2.2.2 Medios de Transmisión	26
2.2.3 Modelamiento Matemático.....	33
2.3 Definición de Términos Básicos.....	53
2.4 Abreviaturas utilizadas.....	54
CAPITULO III	57
III. METODOLOGÍA.....	58
3.1 Relación entre las Variables de la Investigación.....	58
3.1.1 Variables por su Grado de Abstracción	58
3.1.2 Variables por su Posición en la Investigación	58
3.2 Operacionalización de las Variables.....	59
3.2.1 Variable Independiente	59

3.2.2	Variable Dependiente.....	59
3.3	Tipo de Investigación	60
3.3.1	Según la Intervención del Investigador	60
3.4	Diseño de la Investigación.....	61
3.4.1	Objetivos de un Diseño Experimental	62
3.5	Etapas de la Investigación	63
3.6	Técnicas de Instrumentos de Recolección de Datos.....	64
CAPITULO IV.....		66
IV.	RESULTADOS	67
4.1	Resultados Parciales	67
4.1.1	Calculo de los parámetros del controlador.....	67
4.1.2	Desarrollo de Sistemas de Interacción	72
4.1.3	Programa utilizado en el Controlador	76
4.1.4	Programa utilizado en la Estación de Control	76
4.1.5	Diagrama de bloques del vehículo	77
4.2	Resultados Finales	79
CAPITULO V.....		82
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	83
CAPITULO VI.....		84
VI.	CONCLUSIONES	85
CAPITULO VII.....		87
VII.	RECOMENDACIONES	88
CAPITULO VIII.....		89
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	90
8.1	REFERENCIAS.....	90
8.2	ENLACES WEB.....	91
CAPITULO IX.....		92
IX.	ANEXOS.....	93
9.1	ANEXO 1: PAC DE CONTROL.....	93
9.2	ANEXO 2: MODULO DE ACTUADOR FESTO SERVO – DRIVER	95
9.3	ANEXO 3: RADIO MODEM	96
9.4	ANEXO 4: CÁMARA FLIR.....	97
9.5	ANEXO 5: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	99
9.6	ANEXO 6: DISEÑO DEL ACTUADOR LINEAL.....	101
9.7	ANEXO 7: DATOS OBTENIDOS POR MEDICIONES Y CÁLCULOS PREVIOS	104

PROLOGO

Desde hace mucho tiempo el hombre ha tratado de desarrollar maquinas que posean cierta autonomía con respecto a la toma de decisiones (tanto simples como complejas) en afán de imitar la respuesta humana bajo determinadas situaciones.

El ingenio del hombre ha sido tal que hoy en día este campo no es esquivo al avance tecnológico desarrollado en los últimos años, como podemos apreciar en grandes fábricas de producción las cuales poseen sistemas robóticos que realizan procesos automatizados en base a la toma de decisiones. Sin embargo el uso de ésta tecnología no es única y exclusivamente para las grandes industrias civiles, ya que su desarrollo está enfocado quizás en mayor proporción hacia la industria militar.

Existen en la actualidad vehículos no tripulados con la capacidad de mantener cierta autonomía en situaciones no muy complejas, sin embargo aún se hace necesario que un piloto se encargue de su manipulación. Esta tecnología es de gran interés de cara a la realidad nacional. Gracias al interés presentado por la Marina de Guerra del Perú se dio inicio a la investigación y desarrollo de ésta tecnología con el fin de darle un uso estratégico.

Esta iniciativa parte de la necesidad de reducir el peligro al que se encuentra expuesto el personal militar durante las labores de patrullaje en zonas consideradas de alto riesgo, de modo tal que se puedan evitar pérdidas humanas innecesarias, las cuales poseen un valor incalculable para la Marina de Guerra del Perú.

RESUMEN

En el presente trabajo se basó en el desarrollo e implementación de un sistema de control para un vehículo acuático no tripulado o conocido por sus siglas en inglés como USV (Unmanned surface vehicle).

Partiendo de una observación detallada de los sistemas que existen en la actualidad e información brindada tras aplicar un método conocido como ingeniería inversa, se obtuvo una cantidad de conocimiento importante para el desarrollo de esta tesis. Con la recopilación de la información se pudo ir describiendo todos los subsistemas involucrados en el proceso de desarrollo, así como también las variables operacionales que manejan dichos subsistemas. Luego se procedió a definir la filosofía de operación que permitió deducir la filosofía de control con que el vehículo operará de manera eficiente. Se propuso la arquitectura del sistema de supervisión y control asociado al vehículo. Finalmente se estableció los requerimientos de equipos e instrumentos necesarios para respaldar la implantación de la arquitectura de sistema de supervisión y control del vehículo expuesto anteriormente.

Una vez comprendido esto, se procedió a identificar los sistemas con los que contara el vehículo; poseerá un sistema de video el cual constara de una cámara con imagen termal a la cual se le aplicara una serie de algoritmos para procesar dicha señal, cuenta con un sistema de comunicación por radiofrecuencia que transmitirá y recibirá data con un protocolo desarrollado

especialmente para este vehículo y también posee un sistema de control centralizado gobernado por un controlador embebido el cual se encargara de los todos los procesos del vehículo incluido los demás sistemas.

Para la comunicación entre ambos puntos se tiene una estación de control la cual podrá ubicarse en un sitio estratégico y poseerá el gobierno total, obteniendo en tiempo real la transmisión de video y datos adicionales del vehículo.

ABSTRACT

This paper is based on the development and implementation of a control system for unmanned watercraft known by its acronym as USV (Unmanned surface vehicle).

Based on a detailed observation of the systems that exist today and information provided after applying a method known as reverse engineering, we obtained a number of important knowledge for the development of this thesis.

With the collection of information could be describing all the subsystems involved in the development process as well as operational variables that handle these subsystems. Then he proceeded to define the philosophy of operation that allowed control philosophy deduces that the vehicle will operate efficiently. The proposed system architecture for monitoring and control associated with the vehicle. He finally settled requirements necessary equipment and tools to support the implementation of the system architecture for supervision and control of the vehicle stated above.

Once we understand this we proceeded to identify the systems that tell the vehicle, possess a video system which consist of a thermal imaging camera which will implement a series of algorithms to process the signal, has a system RF communications to transmit and receive data with a protocol developed specifically for this vehicle and also has a centralized control system governed by an embedded controller which was in charge of all processes included vehicle other systems.

For communication between two points one has a control station which may be located in a strategic place and possess the whole government, obtaining real-time video transmission and additional vehicle information.

CAPITULO I

El presente capítulo describe con exactitud el problema planteado, siendo la matriz principal que origina la realización de este proyecto de investigación. De igual forma se establece el objetivo general y los objetivos específicos planteados en este proyecto.

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación del Problema

El avance tecnológico en el Perú, es un fenómeno que se viene dando en los últimos años y que sin duda ha traído consigo mejoras considerables para los sectores de la industria y el comercio. Sin embargo la mayoría de las propuestas tecnológicas son adquiridas del extranjero y no existe aún un interés real de invertir en el desarrollo de tecnología propia.

La falta de interés por parte del estado y el sector privado para investigar y desarrollar nueva tecnología obliga a que el precio de adquisición de la misma sea de un costo muy alto, esto se hace más evidente cuando hablamos de la modernización y adquisición de nueva tecnología para las fuerzas armadas. Especialmente en la adquisición de vehículos no tripulados los cuales tienen como principal característica el prescindir de un operador local para realizar las maniobras, lo cual facilita las labores en situaciones donde por el alto riesgo se ponen en peligro vidas humanas.

El insuficiente apoyo en el país hacia la investigación de esta tecnología no ha permitido el avance de las mismas. Es así que solo encontramos algunos diseños y modelamientos de vehículos sin un fin específico, que han sido elaborados como objeto de un área de estudio o un área aplicada; sin embargo ninguno de estos ha sido llevado a producción y en muchos casos no existe tampoco el desarrollo de un prototipo.

Con la finalidad de romper esta barrera. Se ha recopilado la información necesaria y se ha adquirido la tecnología adecuada, de modo tal que La Marina de Guerra del Perú apuesta por el desarrollo e implementación de un vehículo no tripulado que pueda ser controlado a distancia y ejecutar operaciones remotas, con el fin de disminuir el riesgo al que se encuentra expuesto el personal militar.

1.2 Formulación del Problema

En la actualidad, la Marina de Guerra del Perú carece de un vehículo no tripulado capaz de realizar operaciones de patrullaje y controlado a distancia.

Según la información obtenida por el Ministerio de Defensa, las estadísticas muestran que el riesgo de vida ocupado en realizar el patrullaje fluvial en las zonas fronterizas del país es de un 2% de Mortalidad y de un 17% de recibir herida no letal. A su vez en la zona de conflicto conocida como VRAEM la Mortalidad es de un 18% y de recibir herida no letal de un 39%.

El área de Investigación y Desarrollo de la Marina de Guerra del Perú ha referido que la posesión de dicho vehículo es primordial para disminuir en altas proporciones las tasas de mortalidad y de heridos en zonas de conflictos, para lo cual propone el desarrollo de un vehículo acuático no tripulado que cuente con las características requeridas y estrictamente orientado para el uso de las fuerzas armadas del Perú.

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de control para vehículos acuáticos no tripulados, basado en la comunicación a larga distancia, el procesamiento de imágenes y el control de desplazamiento y posición óptimo para el vehículo.

1.3.2 Objetivos Específicos

Estudiar y analizar las teorías científicas sobre el modelado de vehículos acuáticos con la finalidad de desarrollar un modelo adecuado a nuestra necesidad.

Evaluar la selección de hardware y los componentes adecuados para la implementación del sistema, y realizar la adquisición de los mismos.

Diseñar un protocolo de comunicación seguro y de larga distancia, el cual nos permita concatenar tramas de datos y videos de modo inalámbrico.

Presentar un diseño sólido y ejecutable del controlador del sistema embebido para su uso en tiempo real.

1.4 Justificación

La Marina de Guerra en la actualidad no cuenta con un presupuesto destinado específicamente para la adquisición de un vehículo acuático

no tripulado, ya que éstos poseen altos costos debido a su baja demanda en el mercado global.

La Investigación y Desarrollo del diseño de un vehículo acuático no tripulado que cumpla similares funciones que sus predecesores resulta una propuesta muy atractiva, la cual en un corto plazo podría dar como resultado la producción de varias unidades perfectamente funcionales.

Reducir el riesgo de la pérdida de vidas humanas durante las labores de patrullaje en las zonas de peligro, es un objetivo importante para la fuerzas armadas del Perú, para lo cual se hace necesario el uso de un sistema completamente confiable y controlado a distancia desde una zona segura.

1.5 Limitaciones Y Facilidades

La presente investigación está enfocada de forma exclusiva a controlar de manera remota un vehículo acuático no tripulado capaz de realizar maniobras en zonas de interés militar. Esta investigación no estudia al detalle todas las variables que pudieran afectar el desempeño del vehículo, ya que está orientada únicamente al estudio de las variables capaces de controlar de manera apropiada su movimiento. Es importante resaltar también que el vehículo no responde de manera autónoma y necesita siempre de un operador que realice el control de éste de manera remota. No se ha investigado la opción de dotar de autonomía al vehículo dado que su diseño está orientado para el uso de las fuerzas armadas, es así que existe un potencial riesgo ya que eventualmente en el futuro el vehículo podría portar armamento.

Es importante mencionar que existe información que forma parte del desarrollo del proyecto, pero no podrá ser mencionada dentro del desarrollo de la tesis debido al nivel de clasificación de seguridad que adopta la Marina de Guerra del Perú con respecto a ésta y haciendo caso pertinente a su solicitud no será expuesta agradeciendo la comprensión de los interesados.

La importancia de esta investigación radica en que el desarrollo e implementación de un sistema de control y guiado para un vehículo acuático no tripulado constituye una gran posibilidad de disminuir el número de pérdidas humanas en las zonas consideradas de alto riesgo de nuestro país. Además de beneficiar el estudio y desarrollo de nuevas tecnologías capaces de generar valor agregado para nuestro país, dado que hasta la actualidad en el Perú no existe una propuesta factible dedicada a la investigación, desarrollo e implementación de éste tipo de vehículo.

1.6 Hipótesis

Mediante la implementación de un vehículo acuático no tripulado para la labor de patrullaje costero y fluvial, se reducirán el número de pérdidas humanas en el desempeño de esta labor. Además se modernizarán y optimizarán las labores de patrullaje, adicionándoles mayor efectividad y alcance.

CAPITULO II

Este capítulo muestra un breve resumen de trabajos en donde la principal problemática es el área de automatización y control de un vehículo no tripulado para su uso en misiones particulares en los cuales se ven reflejados aspectos similares a los que se van a desarrollar en este proyecto. También se explican las bases teóricas relacionadas con el presente trabajo los cuales permitirán obtener información importante acerca de la problemática que se pretende resolver en esta investigación.

II. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes del Estudio

2.1.1 RAPHAEL PROTECTOR

El vehículo no tripulado de superficie (USV) fue desarrollado por los israelíes de Sistemas Avanzados de Defensa Rafael, en respuesta a las nuevas amenazas terroristas en contra de los recursos marítimos, tales como el bombardeo del USS Cole. Está equipado con una estación de armas Mini Typhoon.

Basado en una superficie de 9 metros de casco rígido y un bote inflable (Figura 2.1), el Protector es sigiloso, rápido y muy maniobrable. La estructura del buque está diseñada de una manera que este sellado y sea aerodinámico, a su vez su sistema de plataforma modular permite volver a configurar los compartimientos para satisfacer las necesidades de las misiones que son cambiantes. El casco asemeja una profunda forma de V, que junto con la sección inflable proporciona estabilidad y la resistencia. Posee un motor diesel que acciona un solo chorro de agua, lo que permite una velocidad de 50 nudos (92,6 km / h, 57.5 mph).

El Protector ofrece mayor vigilancia, la identificación y la capacidad de interceptación. Está equipado con un sistema de armas Mini-Typhoon estabilizado, un sistema de vigilancia Top-lite electro-

óptico que otorga un sistema de selección el día o noche, la orientación de capacidades mediante el uso de Forward Looking Infrared, dispositivos acoplados de carga y telémetros láser, así como un sistema de megafonía.



Figura 2.1. *Rafael Protector.*

2.1.2 Flota CLASE USV

El buque de la flota de superficie no tripulado (USV) es un pequeño semi-artesanal casco de planeo, está destinado a operar de un modo opcionalmente tripulado, diseñado para llevar a cabo la guerra antisubmarina, guerra especial, la guerra de minas y misiones de guerra electrónica de los buques de combate litoral de las clases de libertad e independencia, siendo construidos con un diseño modular para permitir cambios rápidos de la misión a través del reemplazo de los módulos, 12 metros de longitud y 7,7 toneladas de desplazamiento, es capaz de alcanzar velocidades de más de 35 nudos (65 km / h) y puede transportar hasta 5,000 libras (2,300 kg) de equipo (Figura 2.2). La flota de la clase está

diseñada para funcionar durante un máximo de 48 horas sin interrupción.

Diseñado para adaptarse a los límites de peso y el manejo de una embarcación rígida convencional de casco inflable, el casco de la USV está diseñada para un comportamiento estable en la mayoría de condiciones en las que se encuentre el mar; los barcos están equipados con controles avanzados para la navegación autónoma y el funcionamiento. Ellos también están diseñados para ser convertido a operación tripulada a través de la sustitución de los módulos en un plazo de 24 horas.

Estos buques son los primeros barcos no tripulados que se consideran como buques de la Armada de los Estados Unidos.



Figura 2.2. USV de los EE.UU.

2.1.3 Buque PIRANHA SUPERFICIE

El barco es de 54 pies de largo y pesa tan sólo 8.000 libras (Figura 2.3). La Piranha es el primer USV en utilizar un sistema de peso

ligero basado en nanotubos de carbono un material mejorado compuesto denominado Arovex, que permite a la embarcación pesar "significativamente menos" que cualquier otra USV.

La ventaja de peso de Arovex da la Piranha una capacidad de carga de 15.000 libras y una autonomía de más de 2.500 kilómetros. Además, los nanotubos de carbono proporcionan realmente un aumento de la fuerza del 20-50% con respecto a los materiales tradicionales.

Con esas características, la Piranha se espera que sea vendido como una posible herramienta para la caza contra la piratería, la búsqueda y rescate de submarinos, y patrulla de puerto.

El primer Piranha comenzó a construirse en febrero de 2010 con una fecha de terminación anticipada de verano de 2010. El Piranha está llevando a cabo pruebas en el mar cerca de Seattle, PugetSound durante los meses de octubre y noviembre de 2010.

El Piranha llegó a la conclusión de aproximadamente 6 meses y 600 millas náuticas de las pruebas de mar en el estado de Washington y Oregon el 4 de abril de 2011.



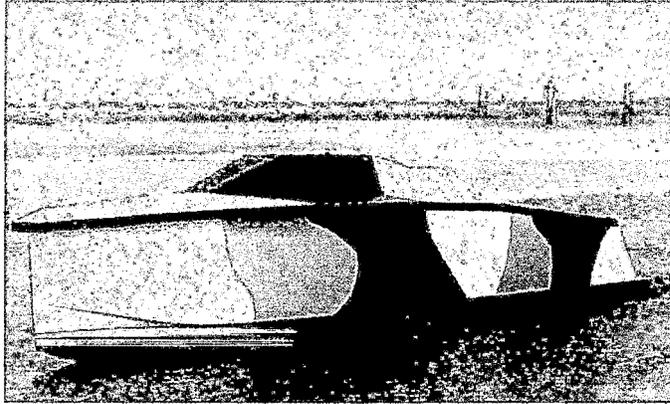


Figura 2.3. Piranha en despliegue.

2.2 Fundamentos Teóricos

2.2.1 Software

a. LABVIEW

LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas

Windows, UNIX, MAC y GNU/Linux. La última versión es la 2012, con la increíble demostración de poderse usar simultáneamente para el diseño del firmware de un instrumento RF de última generación, a la programación de alto nivel del mismo instrumento, todo ello con código abierto.

Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales o VIs, y su origen provenía del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no sólo al control de todo tipo de electrónica (Instrumentación electrónica) sino también a su programación embebida, comunicaciones, matemáticas, etc. Un lema tradicional de LabVIEW es: "La potencia está en el Software", que con la aparición de los sistemas multinúcleo se ha hecho aún más potente. Entre sus objetivos están el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo (no sólo en ámbitos de Pruebas, Control y Diseño) y el permitir la entrada a la informática a profesionales de cualquier otro campo. LabVIEW consigue combinarse con todo tipo de software y hardware, tanto del propio fabricante -tarjetas de adquisición de datos, PAC, Visión, instrumentos y otro Hardware- como de otros fabricantes.

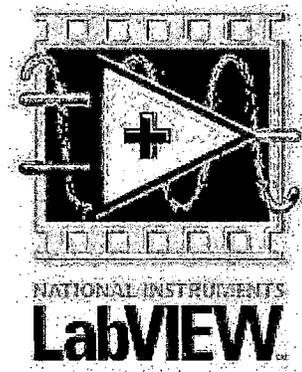


Figura 2.4. Logotipo LabVIEW.

b. SOLIDWORKS

SolidWorks es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una subsidiaria de DassaultSystèmes (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows. Es un modelador de sólidos paramétrico. Fue introducido en el mercado en 1995 para competir con otros programas CAD como Pro/ENGINEER, NX, Solid Edge, CATIA, y Autodesk Mechanical Desktop.

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

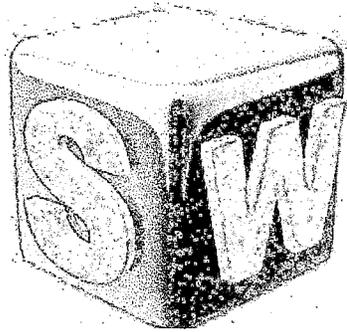


Figura 2.5. *Logotipo SolidWorks.*

c. MATLAB

MATLAB (abreviatura de MATrixLABoratory, "laboratorio de matrices") es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows y Mac OS X.

Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las cajas de herramientas (toolboxes); y las de Simulink con los paquetes de bloques (blocksets).

Es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo. En los últimos años ha aumentado el número de prestaciones, como la de programar directamente procesadores digitales de señal o crear código VHDL.

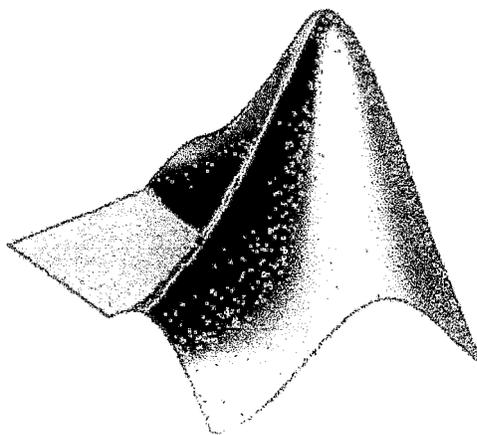


Figura 2.6. Logotipo MATLAB.

2.2.2 MediosdeTransmisión

a. RADIOFRECUENCIA

El término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 kHz y unos 300 GHz. El hercio es la unidad de medida de la frecuencia de las ondas, y corresponde a un ciclo por segundo. Las ondas electromagnéticas de esta región del espectro, se pueden transmitir aplicando la corriente alterna originada en un

generador a una antena. La radiofrecuencia se puede dividir en las siguientes bandas del espectro:

Nombre	Nombre inglés	Abreviatura inglesa	Banda ITU	Frecuencias	Longitud de onda
				< 3 Hz	> 100.000 km
Frecuencia extremadamente baja	Extremely low frequency	ELF	1	3-30 Hz	100.000–10.000 km
Súper baja frecuencia	Super low frequency	SLF	2	30-300 Hz	10.000–1.000 km
Ultra baja frecuencia	Ultra low frequency	ULF	3	300–3.000 Hz	1.000–100 km
Muy baja frecuencia	Very low frequency	VLF	4	3–30 kHz	100–10 km
Baja frecuencia	Low frequency	LF	5	30–300 kHz	10–1 km
Media frecuencia	Medium frequency	MF	6	300–3.000 kHz	1 km – 100 m
			9	300–3.000 MHz	1 m – 100 mm
Súper alta frecuencia	Super high frequency	SHF	10	3-30 GHz	100–10 mm
Frecuencia extremadamente alta	Extremely high frequency	EHF	11	30-300 GHz	10–1 mm
				> 300 GHz	< 1 mm

Tabla 2.1. Bandas de espectros de radiofrecuencia.

A partir de 1 GHz las bandas entran dentro del espectro de las microondas. Por encima de 300 GHz la absorción de la radiación electromagnética por la atmósfera terrestre es tan alta que la atmósfera se vuelve opaca a ella, hasta que, en los denominados rangos de frecuencia infrarrojos y ópticos, vuelve de nuevo a ser transparente.

Las bandas ELF, SLF, ULF y VLF comparten el espectro de la AF (audiofrecuencia), que se encuentra entre 20 y 20.000 Hz aproximadamente. Sin embargo, éstas se tratan de ondas de presión, como el sonido, por lo que se desplazan a la velocidad del sonido sobre un medio material. Mientras que las ondas de radiofrecuencia, al ser ondas electromagnéticas, se desplazan a la velocidad de la luz y sin necesidad de un medio material.

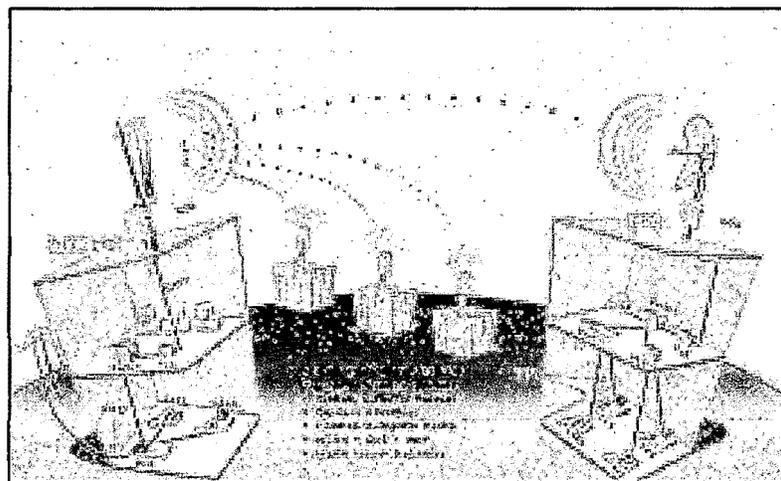


Figura 2.7. *Enlace por Radiofrecuencia.*

b. ETHERNET

Es un estándar de redes de área local para computadores con acceso al medio por contienda CSMA/CD. CSMA/CD (Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones), es una técnica usada en redes Ethernet para mejorar sus prestaciones. El nombre viene del concepto físico de ether. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

La Ethernet se tomó como base para la redacción del estándar internacional IEEE 802.3. Usualmente se toman Ethernet e IEEE 802.3 como sinónimos.

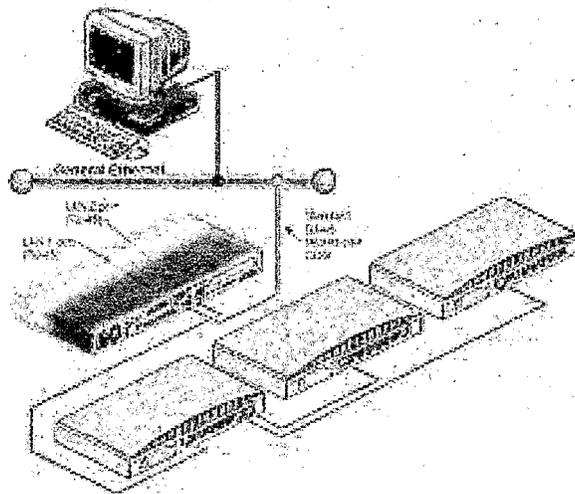


Figura 2.8. Enlace Red Ethernet.

c. PUERTO SERIAL RS-232

Puerto serial es una interfaz de comunicaciones de datos digitales, frecuentemente utilizado por computadoras y periféricos, donde la información es transmitida bit a bit enviando un solo bit a la vez, en contraste con el puerto paralelo que envía varios bits simultáneamente. La comparación entre la transmisión en serie y en paralelo se puede explicar usando una analogía con las carreteras. Una carretera tradicional de un sólo carril por sentido sería como la transmisión en serie y una autovía con varios carriles por sentido sería la transmisión en paralelo, siendo los vehículos los bits que circulan por el cable.

RS232 (Recommended Standard 232, también conocido como Electronic Industries Alliance RS-232C) es una interfaz que designa una norma para el intercambio de una serie de datos binarios entre un DTE (Equipo terminal de datos) y un DCE (Data Communication Equipment, Equipo de Comunicación de datos), aunque existen otras en las que también se utiliza la interfaz RS-232.

En particular, existen ocasiones en que interesa conectar otro tipo de equipamientos, como pueden ser computadores. Evidentemente, en el caso de interconexión entre los mismos, se requerirá la conexión de un DTE (Data Terminal Equipment) con otro DTE. Para ello se utiliza una conexión entre los dos

DTE sin usar módem, por ello se llama: null módem ó módem nulo.

El RS-232 consiste en un conector tipo DB-25 (de 25 pines), aunque es normal encontrar la versión de 9 pines (DE-9, o popularmente también denominados DB-9), más barato e incluso más extendido para cierto tipo de periféricos (como el ratón serie del PC).

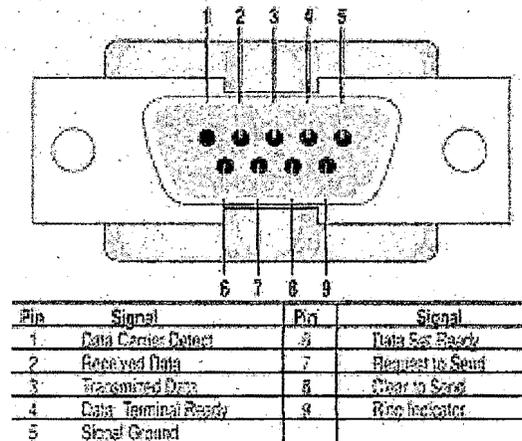


Figura 2.9. Pin de conexiones RS232.

d. SISTEMA SCADA

Es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar variables de proceso a distancia, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos) y controlando el proceso de forma automática por medio de un software especializado. También provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a

2.2.3 Modelamiento Matemático

a. Modelamiento del Vehículo

El uso de la simulación en el diseño de sistemas de control de gobierno de un buque, ha hecho necesario el desarrollo de modelos dinámicos que conservando las principales características de comportamiento, permitan una implementación lo más sencilla posible.

La dinámica de un barco consta de un sólido rígido, es decir, no deformable, con 6 grados de libertad, uno de traslación y otro de rotación en cada uno de los 3 ejes cartesianos x , y , z .

Para los modelos mencionados anteriormente se consideran inicialmente tres grados de libertad, pues el movimiento se realiza en el plano horizontal. Se pueden linealizar en un pequeño intervalo alrededor del estado de equilibrio, los modelos no lineales a los que dan lugar según distintas expresiones de las fuerzas y movimientos hidrodinámicos.

Estos modelos lineales sólo permiten describir el movimiento del buque en línea recta. Si se desea describir otro movimiento del buque, es necesario ingresar términos no lineales en el modelo.

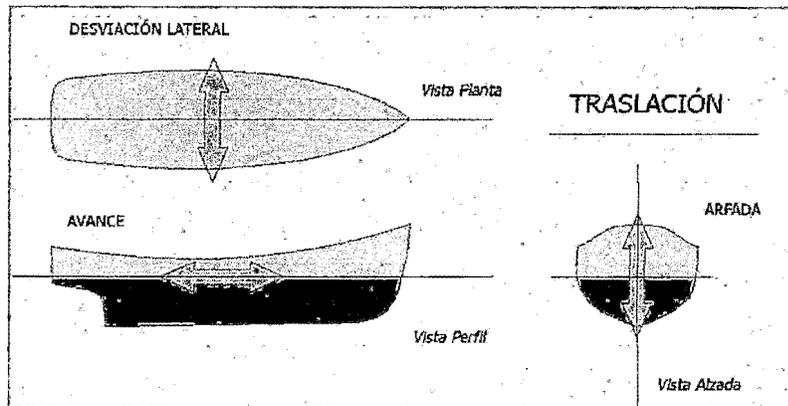


Figura 2.11. Movimientos de traslación de un bote.

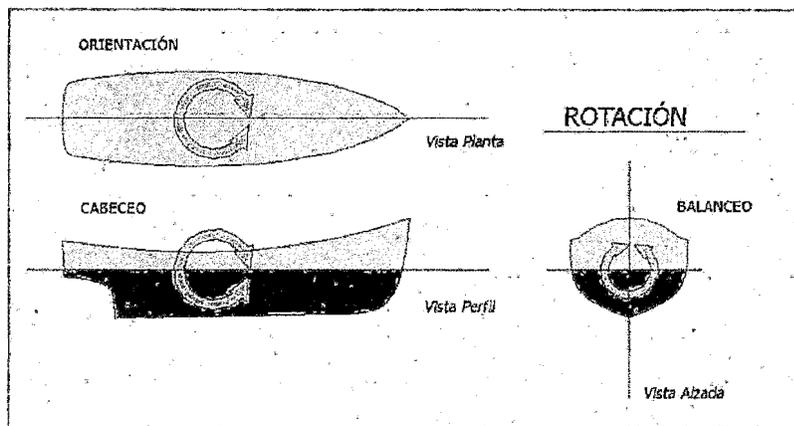


Figura 2.12. Movimientos de rotación de un bote.

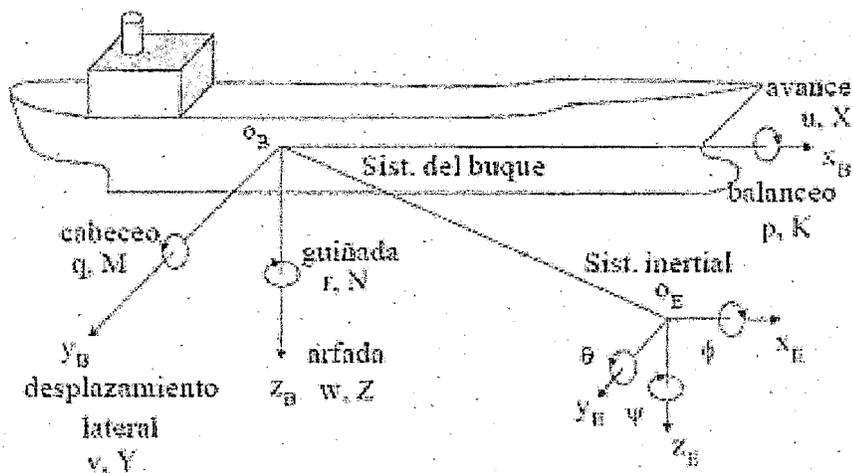


Figura 2.13. Coordenadas con la definición de ángulos y velocidades.

Debido a que el centro de gravedad (CG) varía en un buque dependiendo de sus condiciones de carga, no es conveniente por lo tanto, hacer coincidir este punto con el origen del sistema de coordenadas del buque, pues esto sólo sería útil si el centro de gravedad estuviese situado en el plano principal de simetría. La opción más utilizada que permite lograr una reducción de la complejidad de las ecuaciones, consiste en elegir un sistema de coordenadas ortogonal paralelo a los ejes principales de inercia.

La Tabla 1 resume la nomenclatura que describe el movimiento de un buque y las fuerzas y momentos. Esta es la notación estándar recomendada para su utilización en las aplicaciones de maniobra y control de barcos.

Traslación	Fuerza	Velocidad Lineal	Posición
Avance	X	u	x
Desplazamiento Lateral	Y	v	y
Arfada	Z	w	z
Rotación	Momento	Velocidad Angular	Angulo
Balanceo	K	p	ϕ
Cabeceo	M	q	θ
Guiñada	N	r	Ψ

Tabla 2.2. Nomenclaturas para describir el movimiento del vehículo.

Las velocidades lineales y angulares, las fuerzas y los momentos se definen normalmente con relación al sistema de coordenadas del buque (Sistema local). Sin embargo, para representar la posición y orientación se utiliza el sistema inercial de referencia (Sistema General). Así, el vector velocidad respecto al sistema de coordenadas buque queda definido por:

$$v = [v_1^T, v_2^T]^T \text{ con } v_1 = [u, v, w]^T \text{ y } v_2 = [p, q, r]^T \dots \text{Ec. (1)}$$

Y el vector posición y orientación respecto al sistema inercial de referencia por:

$$n = [n_1^T, n_2^T]^T \text{ con } n_1 = [x, y, z]^T \text{ y } n_2 = [\phi, \theta, \psi]^T \dots \text{Ec. (2)}$$

La derivada del vector de posición y orientación n permite describir la trayectoria seguida por el barco. Este vector está relacionado geoméricamente con el vector velocidad v por la transformación:

$$n = J(n_2)v \dots \text{Ec. (3)}$$

Donde $J(n_2)$ es una matriz de transformación que depende de los ángulos de Euler (ϕ, θ, ψ) . Entonces, las ecuaciones del movimiento del barco con relación al sistema coordenado de OB a partir de las ecuaciones de Newton se pueden expresar en forma vectorial por:

$$M_{RB}\dot{v} + C_{RB}(V)v = \tau_{RB} \dots \text{Ec. (4)}$$

$$n = J(n_2)v \dots \text{Ec. (5)}$$

Donde M_{RB} es la matriz de masas e inercia y $C_{RB}(V)$ es la matriz centrípeta y de Coriolis, ambas debidas a la dinámica del sólido rígido.

El vector τ_{RB} Es un vector generalizado de las fuerzas y momentos externos que está compuesto por las fuerzas y momentos hidrodinámicos producidos por el movimiento del casco en el agua, las debidas a las superficies de control (timones, aletas, etc.), las generadas por los sistemas d propulsión y las debidas a perturbaciones ambientales (olas, viento y corrientes).

Si consideramos ecuaciones dinámicas para 3 grados de libertad:

$$M_{RB}\dot{v}_{(3x3)} + C_{RB}(V)v_{(3x3)} = \tau_{RB(3x1)} \dots \text{Ec. (6)}$$

Dónde:

$$M_{RB(3x3)} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & mX_G \\ 0 & mX_G & I_z \end{bmatrix} \dots \text{Ec. (7)}$$

$$C_{RB}(V)_{(3x3)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -m(X_G r + v) \\ 0 & 0 & mu \\ m(X_G r + v) & -mu & 0 \end{bmatrix} \dots \text{Ec. (8)}$$

$$\tau_{RB(3x1)} = [X, Y, N]^T \dots \text{Ec. (9)}$$

Que se suelen representar de forma compacta como:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Avance: } m(\dot{u} - vr - X_G r^2) = X \\ \text{Desp. Lateral: } m(\dot{v} - ur - X_G \dot{r}) = Y \\ \text{Guiñada: } I_z \dot{r} + mX_G (ur + v') = N \end{array} \right\} \dots \text{ Ec. (10)}$$

b. Modelos Lineales

Existen varios enfoques para el desarrollo de un conjunto de ecuaciones no lineales del movimiento. Cada modelo difiere básicamente en la expresión de las fuerzas hidrodinámicas (X, Y) y de los momentos hidrodinámicos (N) de la ecuación (10) que son complicadas funciones del movimiento del bote.

c. Modelos Lineales

Para obtener las ecuaciones lineales del movimiento se parte de la ecuación (10) y se supone que la velocidad transversal v , la velocidad de guiñada r y el ángulo del timón δ son pequeños. Esto implica que, suponiendo que la velocidad del buque u_0 no varía y el empuje se mantiene constante, la primera ecuación (movimiento longitudinal) se puede desacoplar de las otras dos (movimiento transversal y guiñada). También se considera que la velocidad transversal y de guiñada son nulas ($v_0 = r_0 = 0$). Así, para pequeñas perturbaciones alrededor de los valores nominales u_0 , v_0 y r_0 , la ecuación (10) se puede escribir como:

Ecuación de la Velocidad:

$$X = m\dot{u} \dots \text{Ec. (11)}$$

Ecuaciones de Gobierno:

$$\left. \begin{aligned} Y &= m(\dot{v} - u_0 r + X_G \dot{r}) \\ N &= I_z \dot{r} + mX_G(u_0 r + \dot{v}) \end{aligned} \right\} \dots \text{Ec. (12)}$$

La primera ecuación relaciona el empuje del propulsor con la velocidad del bote y, aunque esta relación es eminentemente o lineal, en el estudio del gobierno del buque por modelos lineales se supone que su velocidad se mantiene constante y sólo se consideran las ecuaciones de gobierno.

Linealizando las funciones Y, N alrededor del estado de equilibrio $v = r = \delta = 0$ en la ecuación (12), se obtiene:

$$\left. \begin{aligned} Y &= Y_v v + Y_{\dot{v}} \dot{v} + Y_r r + Y_{\dot{r}} \dot{r} + Y_{\delta} \delta \\ N &= N_v v + N_{\dot{v}} \dot{v} + N_r r + N_{\dot{r}} \dot{r} + N_{\delta} \delta \end{aligned} \right\} \dots \text{Ec. (13)}$$

Que sustituyendo en las ecuaciones de gobierno de la ecuación (12) y ordenando, resulta:

$$\begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & mX_G - Y_{\dot{r}} \\ mX_G - N_{\dot{v}} & I_z - N_{\dot{r}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_v & Y_r - mu_0 \\ N_v & N_r - mX_G u_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_{\delta} \\ N_{\delta} \end{bmatrix} \delta \dots \text{Ec. (14)}$$

d. Modelode Espaciode Estado

Las ecuaciones de movimiento (Ec. 14) se pueden expresar en el espacio de estado:

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \end{bmatrix} \delta \dots \text{Ec. (15)}$$

e. Función de Transferencia de la Orientación

De las ecuaciones anteriores se puede obtener la función de transferencia que relaciona la velocidad de guiñada r con el ángulo del timón δ :

$$\frac{r}{\delta}(s) = \frac{b_1 s + b_2}{(s^2 + a_1 s + a_2)} = \frac{K(1 + sT_3)}{(1 + sT_1)(1 + sT_2)} \dots \text{Ec. (16)}$$

Y la función que relaciona la velocidad transversal v con el ángulo del timón δ :

$$\frac{v}{\delta}(s) = \frac{c_1 s + c_2}{(s^2 + a_1 s + a_2)} = \frac{K_v(1 + sT_v)}{(1 + sT_1)(1 + sT_2)} \dots \text{Ec. (17)}$$

Siendo:

$$a_1 = -a_{11} - a_{22}$$

$$a_2 = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}$$

$$b_1 = b_{21}$$

$$b_2 = a_{21}b_{11} - a_{11}b_{21}$$

$$c_1 = b_{11}$$

$$c_2 = a_{12}b_{21} - a_{22}b_{11}$$

Donde K_v y T_v son la ganancia y la constante de tiempo que describen el movimiento transversal.

Recordando que para movimientos restringidos al plano horizontal $\dot{\psi} \equiv r$, se puede describir la ecuación (16) como:

$$\frac{\psi}{\delta}(s) = \frac{K(1+sT_3)}{(1+sT_1)(1+sT_2)} \dots \text{Ec. (18)}$$

Que en el dominio del tiempo se expresa por:

$$T_1T_2\ddot{\psi} + (T_1 + T_2)\dot{\psi} + \psi = K(+T_3\dot{\delta}) \dots \text{Ec. (19)}$$

Estos modelos fueron originalmente propuestos por Nomoto y se utilizan habitualmente en el análisis de la estabilidad de buques y en el diseño de pilotos automáticos. Nomoto propuso también un modelo aproximado de primer orden con una constante de tiempo efectiva $T' = T'_1 + T'_2 - T'_3$:

$$\frac{\psi}{\delta}(s) = \frac{K}{s(1+sT)} \dots \text{Ec. (20)}$$

Cuya expresión en el dominio del tiempo resulta:

$$T\ddot{\psi} + \dot{\psi} = K\dot{\delta} \dots \text{Ec. (21)}$$

f. Sistemas de Control

El objetivo de un sistema de control es el de gobernar la respuesta en una planta, sin que el operador intervenga directamente sobre los elementos de salida. Dicho operador manipula únicamente las magnitudes denominadas de consigna y el sistema de control se encarga de gobernar dicha salida a través del accionamiento de los elementos finales de control.

El conjunto de sistemas de control y accionamiento se limitaría a ser un convertidor amplificador de potencia que ejecuta las órdenes dadas a través de las magnitudes de consigna. Este tipo de sistema de control se denomina en lazo abierto, por el hecho de que no recibe ningún tipo de información del comportamiento de la planta.

Lo habitual, sin embargo, es que el sistema de control se encargue de la toma de ciertas decisiones ante determinados comportamientos de la planta, hablándose entonces de sistemas automáticos de control. Para ello se requiere la existencia de algunos sensores que detectan el comportamiento de dicha planta y de unas interfaces para adaptar las señales de los sensores a las entradas del sistema de control. Este tipo de sistema se denomina en lazo cerrado ya que poseen una estructura con una cadena directa y un retorno o realimentación, formando un lazo de

control, donde la señal de salida o controlada interviene en las acciones de control.

g. Sistemas de Control de Lazo Abierto

Es aquel sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada, y da como resultado una señal de salida independiente.

Estos sistemas se caracterizan por:

- Sencillos y de conceptos fáciles.
- Nada asegura su estabilidad ante una perturbación.
- La salida no se compara con la entrada.
- Afectado por las perturbaciones.
- La precisión depende de la previa calibración del sistema.

h. Sistemas de Control de Lazo Cerrado

Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Sus características son:

- Complejos, pero amplios de parámetros.
- La salida se compara con la entrada y la afecta para el control del sistema.
- Estos sistemas se caracterizan por su propiedad de retroalimentación.

i. Controlador PID

Un PID (Proporcional Integral Derivativo) es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso.

El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo.

El valor Proporcional determina la reacción del error actual.

El Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero.

El Derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso vía un elemento de control como la posición de una válvula de control o la energía suministrada a un calentador, por ejemplo.

Ajustando estas tres variables en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso a realizar. La respuesta del controlador puede ser descrita en términos de respuesta del control ante un

error, el grado el cual el controlador llega al "set point", y el grado de oscilación del sistema.

Nótese que el uso del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo. Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control. Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas. Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control.

Para lo cual se consideró el moldeamiento matemático del sistema que resultó de segundo orden, el sistema es capaz de corregir en forma automática su posición de acuerdo a un setpoint (referencia) que se le asigne, la simulación que se le presenta a continuación está realizada bajo el modelo matemático del vehículo se presenta la parte del código en lenguaje G así como las gráficas de los resultados.

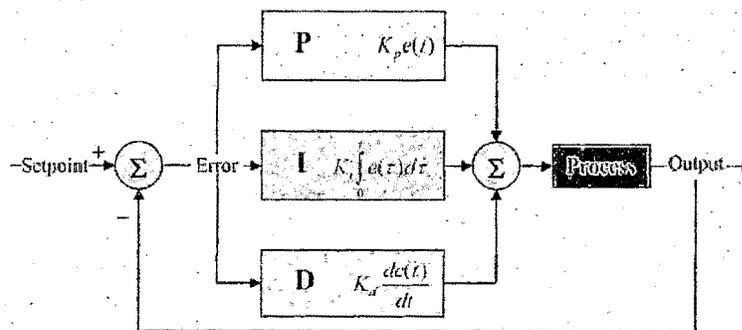


Figura 2.14. Esquema PID.

j. Sintonización por ZIEGLER Y NICHOLS

El método de Ziegler-Nichols permite ajustar o "sintonizar" un regulador PID de forma empírica, sin necesidad de conocer las ecuaciones de la planta o sistema controlado. Estas reglas de ajuste propuestas por Ziegler y Nichols fueron publicadas en 1942 y desde entonces es uno de los métodos de sintonización más ampliamente difundido y utilizado. Los valores propuestos por este método intentan conseguir en el sistema realimentado una respuesta al escalón con un sobre impulso máximo del 25%, que es un valor robusto con buenas características de rapidez y estabilidad para la mayoría de los sistemas.

El método de sintonización de reguladores PID de Ziegler-Nichols permite definir las ganancias proporcional, integral y derivativa a partir de la respuesta del sistema en lazo abierto o a partir de la

respuesta del sistema en lazo cerrado. Cada uno de los dos ensayos se ajusta mejor a un tipo de sistema.

Este método de sintonización se adapta bien a los sistemas que son estables en lazo abierto y que presentan un tiempo de retardo desde que reciben la señal de control hasta que comienzan a actuar.

Para poder determinar la respuesta al escalón de la planta o sistema controlado, se debe retirar el controlador PID y sustituirlo por una señal escalón aplicada al accionador.

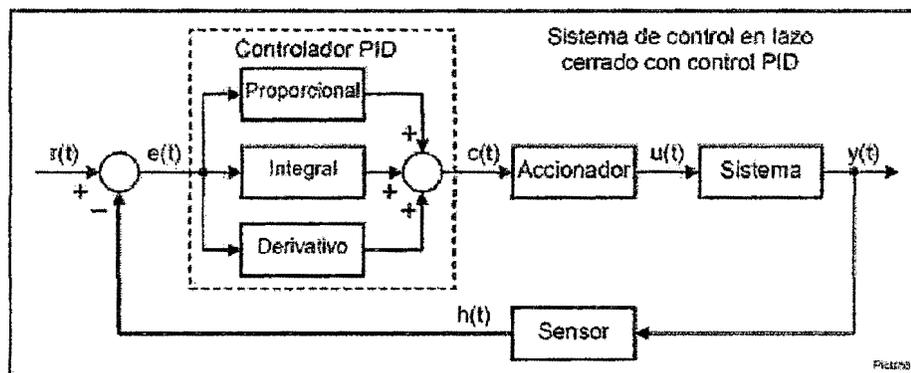


Figura 2.15. Sistema de Control de lazo cerrado

En la siguiente figura se muestra la modificación que hay que realizar al sistema de control en lazo cerrado para convertirlo en un sistema en lazo abierto que responda a una señal escalón, retirando el controlador PID:

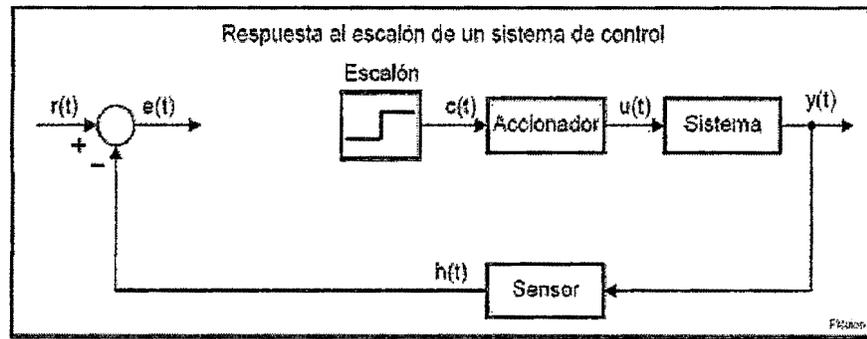


Figura 2.16. Respuesta al escalón de un sistema de control

En la imagen siguiente se puede ver representado en rojo la entrada escalón al accionador o señal $c(t)$. En azul se representa la salida del sistema medida por el sensor o señal $h(t)$. El escalón de entrada $c(t)$ debe estar entre el 10% y el 20% del valor nominal de entrada. Como puede apreciarse, la respuesta del sistema presenta un retardo, también llamado tiempo muerto, representado por T_1 .

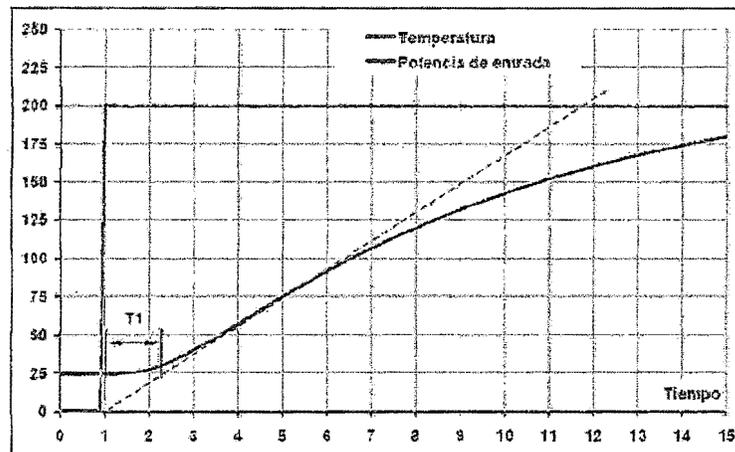


Figura 2.17. Respuesta al escalón de un sistema de control

Para calcular los parámetros se comienza por trazar una línea recta tangente a la señal de salida del sistema (curva azul). Esta tangente está dibujada en la imagen con una recta a trazos.

El tiempo T_1 corresponde al tiempo muerto. Este es el tiempo que tarda el sistema en comenzar a responder. Este intervalo se mide desde que la señal escalón sube, hasta el punto de corte de la recta tangente con el valor inicial del sistema, que en este caso es el valor 25°C

El tiempo T_2 es el tiempo de subida. Este tiempo se calcula desde el punto en el que la recta tangente corta al valor inicial del sistema hasta el punto en el que la recta tangente llega al valor final del sistema.

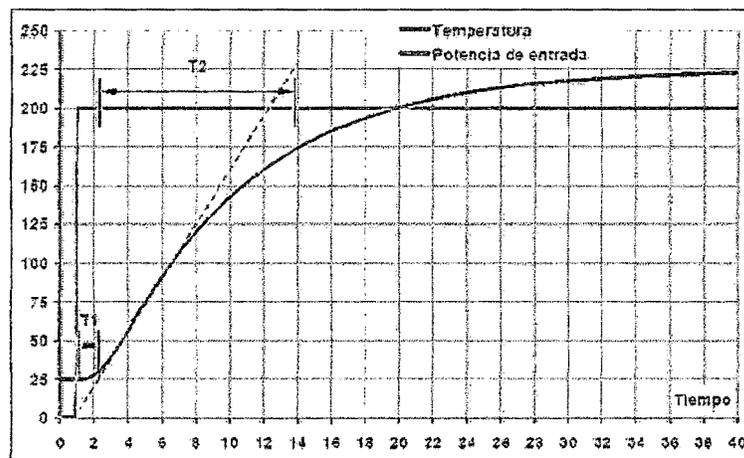


Figura 2.18. Línea Tangente para el cálculo de parámetros

A partir de estos valores se puede calcular la constante del sistema :

$$K_o = (\partial x * T2) / (\partial y * T1) \dots \text{Ec. (22)}$$

Y a partir de la constante K_o se pueden calcular los parámetros del controlador PID con acción solo proporcional (P), proporcional e integral (PI) o proporcional integral y derivativa (PID):

	K_p	T_i	T_d
P	K_o	-	-
PI	$0.9 * K_o$	$3.3 * T1$	-
PID	$1.2 K_o$	$2 * T1$	$0.5 T1$

Tabla 2.3. Relación para el cálculo de los parámetros T

La constante K_p corresponde a la ganancia proporcional, T_i es la constante de tiempo integral y T_d es la constante de tiempo derivativa. En el caso de tener el controlador PID configurado con la ganancia integral K_i y derivativa K_d en vez de los tiempos T_i y T_d , hay que tener en cuenta las siguientes relaciones entre ellos:

$$K_i = K_p / T_i \dots \text{Ec. (23)}$$

$$K_d = K_p * T_d \dots \text{Ec. (24)}$$

Con lo cual la tabla de valores para ajustar el controlador PID será la siguiente:

P		-	-
PI			-
PID			

Tabla 2.4. Relación para valores ajustados

Para la sintonización por la ganancia crítica en lazo cerrado no requiere retirar el controlador PID del lazo cerrado. En este caso sólo hay que reducir al mínimo la acción derivativa y la acción integral del regulador PID. El ensayo en lazo cerrado consiste en aumentar poco a poco la ganancia proporcional hasta que el sistema oscile de forma mantenida ante cualquier perturbación. Esta oscilación debe ser lineal, sin saturaciones. En este momento hay que medir la ganancia proporcional, llamada ganancia crítica o K_c , y el periodo de oscilación T_c en segundos

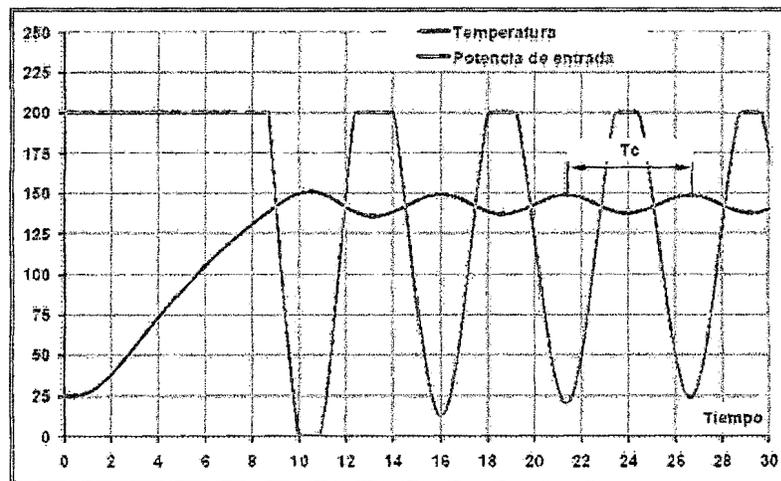


Figura 2.19. Ensayo en lazo cerrado

Una vez hallados estos dos parámetros se pueden calcular los parámetros del controlador PID con acción solo proporcional (P), proporcional e integral (PI) o proporcional integral y derivativa (PID):

	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 * K_c$	-	-
PI	$0.45 * K_c$	$0.83 * T_c$	-
PID	$0.59 * K_c$	$0.5 * T_c$	$0.125 * T_c$

Tabla 2.5. Relación para el cálculo de los parámetros T_c

Si los valores de tiempo T_i y T_d se traducen a ganancias, se obtiene:

	K_p	K_i	K_d
P	$0.5 * K_c$	-	-
PI	$0.45 * K_c$	$0.54 * K_c / T_c$	-
PID	$0.59 * K_c$	$1.18 * K_c / T_c$	$0.074 * K_c / T_c$

Tabla 2.6. Relación para valores ajustados a ganancias

2.3 Definición de Términos Básicos

- Nodos: El nudo es una medida de velocidad utilizada tanto para navegación marítima como aérea. Equivale a una milla náutica por hora. También se utiliza en meteorología para medir la velocidad de los vientos, 1 nudo = 1 milla náutica por hora = 1852 m/h (metros por hora), es decir aproximadamente 0,5144 metros por segundo.

- Proa: es la parte delantera en que se unen las amuras de un barco formando el canto o roda que al avanzar va cortando las aguas en que navega. En este sector se alojan el cabrestante, las anclas, el torrotito y los emblemas. También se denomina proa al tercio anterior del buque.

- Popa: terminación posterior de la estructura de un barco. Por extensión se denomina también popa a la parte trasera de un buque considerando a éste dividido en tres partes iguales a contar desde la proa.

- Avance: desplazamiento de maza en forma lineal tomándose como referencia el vector ubicado de forma paralela al vector X que atraviesa de la popa hacia la proa.

- Desplazamiento: desplazamiento de maza en forma lineal tomándose como referencia el vector ubicado de forma paralela al vector Y de forma perpendicular a la lineal que une la popa y la proa.
- Arfada: desplazamiento de maza en forma lineal tomándose como referencia el vector ubicado de forma paralela al vector Z de forma perpendicular a la lineal que une la popa y la proa.
- Balanceo: es el desplazamiento angular que se produce al realizarse una inclinación tomando como referencia el plano del eje Y.
- Cabeceo: es el desplazamiento angular que se produce al realizarse una inclinación tomando como referencia el plano del eje Z.
- Guiñada: es el desplazamiento angular que se produce al realizarse una inclinación tomando como referencia el plano del eje X.
- Sintonizador: Sistema que permite aumentar o disminuir la longitud de onda en una señal para adaptarla o manipularla de acuerdo a lo que sea requerido.

2.4 Abreviaturas utilizadas

- USV: Vehículo de superficie no tripulado.
- VRAEM: Valle del Río Apurímac Ene y Mantaro.

- RS: Estándar recomendado.

- RF: Radiofrecuencia.

- P: Proporcional.

- I: Integral.

- D: Derivativo.

- T2: Tiempo de subida.

- T1: Tiempo muerto.

- GUI: Interface gráfica usuario.

- VDHL: Lenguaje descriptivo para Hardware de alta velocidad.

- OSI: Integración de sistemas abiertos.

- DTE: Equipo terminal de datos.

- DB: Base de datos.

- CG: Centro de gravedad.

- Ec: Ecuación.

- FLIR: Visión con predicción en infrarrojo.

- SCADA: Control supervisado y Adquisición de datos.

- Ko: Constante de paso.

- Kp: Constante proporcional.

- Ki: Constante integral.

- Kp: Constante proporcional.

- Ti: Constante tiempo integral.

- Td: Constante tiempo derivativo.

- Kc: Constante crítica.

- Tc: Periodo de oscilación.

- VI's: Programa ejecutable por LabVIEW

- SubVI's: Subprogramas ejecutables por LabVIEW

CAPITULO III

En el presente capítulo se realizará la identificación de las variables, de igual manera su descripción detalla en los aspectos relevantes para poder hacer un estudio detenido para el diseño del controlador, además la metodología empleada y las herramientas expuestas durante el proceso de desarrollo del trabajo.

III. METODOLOGÍA

3.1 Relación entre las Variables de la Investigación

3.1.1 Variables por su Grado de Abstracción

- Variables Teóricas: Condición climática; debido a la influencia sobre el vehículo.
- Variables Intermedias: Comportamiento del Mar.
- Variables empíricas: tenemos 3 en particular (movido, suave, calmado).

3.1.2 Variables por su Posición en la Investigación

- Variable Dependiente: Posición dada por el acelerómetro; La variable por defecto a controlar.
- Variable Independiente: Guiñada, Cabeceo y Balanceo nos brindaran la posición exacta.
- Variable Extrañas: peso del bote; influye directamente con la estabilidad de la posición.

3.2 Operacionalización de las Variables

3.2.1 Variable Independiente

Guiñada (N), nos brinda la posición geo-referenciada con respecto al norte, es la variable por defecto a controlar, ya que nos permitirá mantener el rumbo deseado por el vehículo.

Balanceo (K) y Cabeceo (M), funcionan como limitadores o saturadores para acciones específicas del proceso de control.

Sus indicadores se muestran a continuación:

Guiñada = N, donde: $0 < N < 360$

Balanceo = K, donde: $-90 < K < 90$

Cabeceo = M, donde: $-90 < M < 90$

3.2.2 Variable Dependiente

La Posición, con respecto a los 3 ejes las cuales son brindadas por un acelerómetro.

La Velocidad, cual será reflejada por la combinación de las 3 variables dependientes de acuerdo a posiciones específicas.

Desplazamiento, proporción recorrida en un espacio de tiempo establecido para observar y verificar las acciones del controlador.

Sus indicadores se muestran a continuación:

Posición = (X', Y', Z')

Velocidad = Km/h

Desplazamiento = metros

3.3 Tipo de Investigación

3.3.1 Según la Intervención del Investigador

La investigación es del tipo experimental. Estas siempre son prospectivas, longitudinales, analíticas y de nivel investigativo "explicativo" (*causa – efecto*), además de ser "controladas".

Este tipo de investigación usa experimentos y los principios encontrados en el método científico. Los experimentos pueden ser llevados a cabo en el laboratorio o en la vida real en este caso a la aplicación real del mismo.

En esta investigación, el investigador divide al objeto de la investigación en dos grupos (*sin control* y *con control*). Los dos grupos recibirán tratamientos idénticos, excepto que el investigador da a un grupo y no al otro la condición en la que se está interesado: el *control de posición*. El investigador medirá las reacciones de ambos grupos.

Mediante la regulación de las condiciones de ambos grupos y dándole el *control de posición* a uno de ellos, se puede concluir que las diferentes reacciones en ambos grupos son debidas únicamente al tratamiento del mismo.

3.4 Diseño de la Investigación

“Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida”(Montgomery 1991). Actualmente los métodos de diseño experimental tienen una amplia aplicación en muchas disciplinas.

El Diseño Experimental puede ser considerado como parte del proceso científico y una de las formas en que aprendemos acerca de la forma en que funcionan los sistemas o procesos.

Por lo general, este aprendizaje se da a través de una serie de actividades en las cuales hacemos conjeturas sobre un proceso, realizamos experimentos para generar datos a partir del proceso, y entonces usamos la información del experimento para establecer nuevas suposiciones, que llevan a realizar nuevos experimentos, y así sucesivamente, comportándose cíclicamente.

3.4.1 Objetivos de un Diseño Experimental

Todo proceso o sistema productivo puede representarse mediante el modelo mostrado en la siguiente figura.

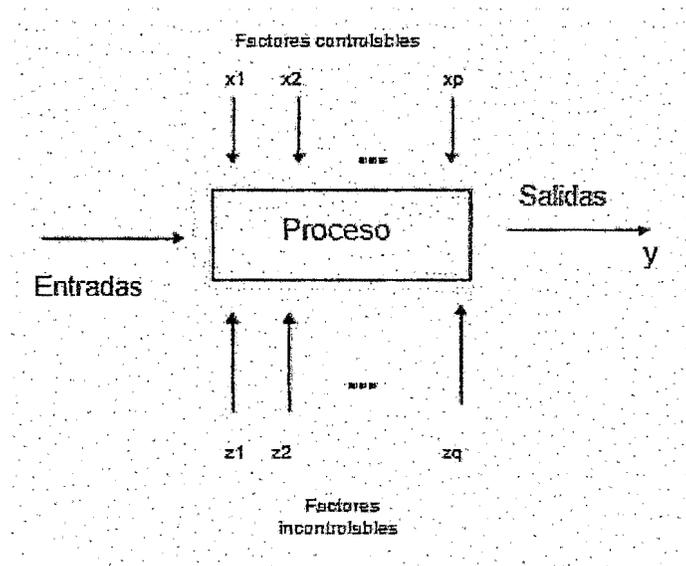


Figura 3.1. Modelo del proceso.

Es decir, que puede ser visualizado como una combinación de máquinas, métodos, personas y otros recursos que transforman alguna entrada (materia prima), en una salida que tiene una o más respuestas observables. Algunas variables dentro del proceso son controlables, mientras que otras son incontrolables.

Para nuestro caso particular tendríamos el siguiente diagrama:

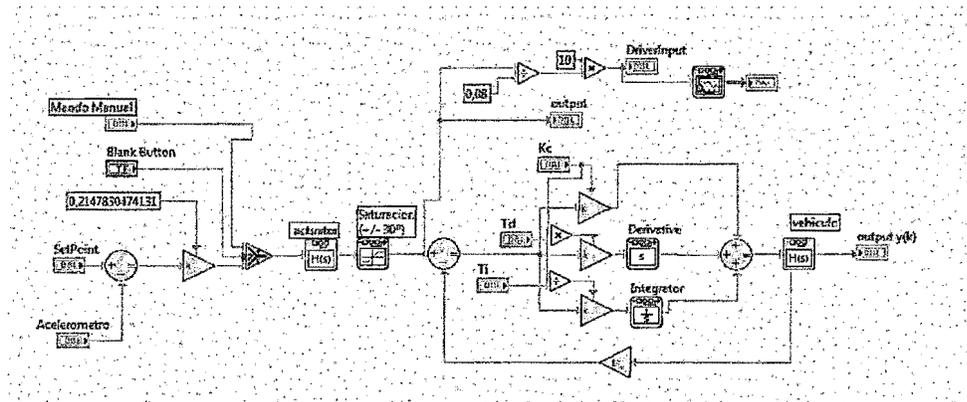


Figura 3.2. Modelo del sistema deseado.

3.5 Etapas de la Investigación

Para poder analizar un experimento de manera correcta, es necesario que se tenga una idea clara sobre el problema que se va a estudiar, el modo de la recolección de datos y su análisis.

Comprensión y planteamiento del problema: Aunque este punto pudiera parecer obvio, en muchas ocasiones resulta complicado diseñar un planteamiento claro y aceptable. Es necesario consultar a todas las partes implicadas: cuerpo técnico, aseguramiento de calidad, manufactura, clientes, etc. Un planteamiento claro del problema contribuye a tener un mejor conocimiento del fenómeno y de la solución final del problema.

Elección de factores y niveles: Una vez elegidos los factores y los niveles específicos a los cuales variará el experimento, se procede a una combinación de experiencia y comprensión teórica.

Selección de la variable de respuesta: La selección de la variable dependiente, hecha en etapas anteriores, debe de asegurar que la medición de ésta pueda realmente proveer información sobre el proceso estudiado.

Elección del diseño experimental: Una vez escogido el modelo lineal para embarcaciones guiándonos de las ecuaciones obtenidas anteriormente se procede al diseño del controlador y sus cálculos correspondientes.

Realización del experimento: Cuando se realiza el experimento, es vital monitorear el proceso para asegurar que todo se haga conforme a lo planeado, ya que los errores en esta fase suelen anular la validez experimental.

Análisis de datos: Se realizara un estudio de la respuesta del vehículo y se compara este sin contar con el control de dirección y contando con el control de dirección para constatar las bondades de poseer este sistema.

3.6 Técnicas de Instrumentos de Recolección de Datos

Recolectar los datos implica seleccionar un instrumento de medición disponible, aplicar los instrumentos de medición y preparar las mediciones obtenidas para que puedan analizarse correctamente,

para este caso utilizaremos el acelerómetro que nos indicara la posición actual del vehículo con respecto a la posición deseada.

En toda la investigación medimos las variables contenidas, en tiempo real y bajo un periodo de muestreo determinado, esto nos brindara saber la velocidad de respuesta de nuestro controlador.

CAPITULO IV

En el presente capítulo se pretende presentar todos y cada uno de los resultados obtenidos basándose en el desarrollo sistemático de los objetivos específicos. Estos resultados estarán definidos por lo siguiente: en primer término se estudia el sistema actual de la planta tomando en cuenta las variables que intervienen en el proceso; posteriormente se establecerá la filosofía de operación que permitirá definir la filosofía de control de la planta, seguidamente, se procede a plantear la arquitectura de control la cual tiene que ver con los protocolos de comunicación de información que emiten todos los equipos dispuestos en la planta, finalmente se plantea los requerimientos de equipos necesarios que están directamente relacionada con la arquitectura de control propuesta anteriormente para lograr la automatización y control del vehículo en cuestión.

IV. RESULTADOS

4.1 Resultados Parciales

4.1.1 Cálculo de los parámetros del controlador

De la función de transferencia por las ecuaciones de Nomoto de 2do Orden tenemos la Ec. 20:

$$\frac{\psi}{\delta}(s) = \frac{K}{s(1+sT)} \dots \text{Ec. (20)}$$

Reemplazando los valores de la tabla 9.1 incluida en el ANEXO 7 correspondientes al vehículo en la Ec. 14, tenemos que los valores para K y T son:

$$K = 8,1428$$

$$T = 0,7142$$

Luego procedemos al cálculo de los valores K, Ti y Td por medio de la herramienta MATLAB la cual aplicando una serie de algoritmos nos permitirá obtener los valores para el diseño del controlador.

Definiendo la Función de Transferencia:

```
clc; close all; clear all

%Parámetros
n=[8.1428];
d=[0.7148 1 0];

%Función Transferencia con retardo
ret = 0.02;
SYS = tf(n,d, 'InputDelay',ret);
Gp = tf(n,d);
t = 0:0.05: 1;
y = step(SYS,t);
plot(t,y,'k','LineWidth',2)
xlabel('\bf t')
hl = ylabel('\bf y(t)');
set(hl,'Rotation',pi/2)
axis([0 1 0 2 ])
title('Funcion Transferencia Identificada')
t1 = 0:0.001:1.2;
y = step(SYS,t1);
N = length(t1);
```

$$G_p = \frac{8.143}{0.7148 s^2 + s}$$

Figura 4.1. Función de Transferencia del Vehículo.

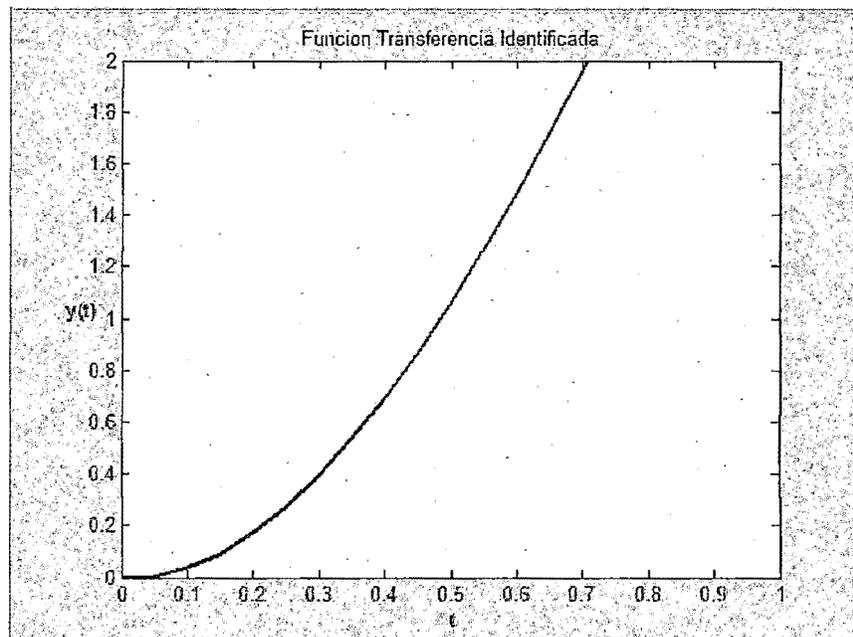


Figura 4.2. Gráfica de la Función de Transferencia del Vehículo.

Iniciamos el algoritmo para el cálculo de la máxima pendiente:

```
%Inicia algoritmo de buscar máxima pendiente
Pmax = 0;
imax = 0;

for i = 1:N-1
    P = (y(i+1)- y(i)) / (t1(i+1) - t1(i));
    if P>Pmax
        Pmax = P;
        imax = i;
    end
end
ymax = [y(imax) y(imax + 1)];
tmax = [t1(imax) t1(imax + 1)];

%Hallando los parámetros K, L, T
k = median (y(N-3:N));

%trazando recta de mayor pendiente
P = polyfit(tmax, ymax,1);
R = polyval(P,t1);
```

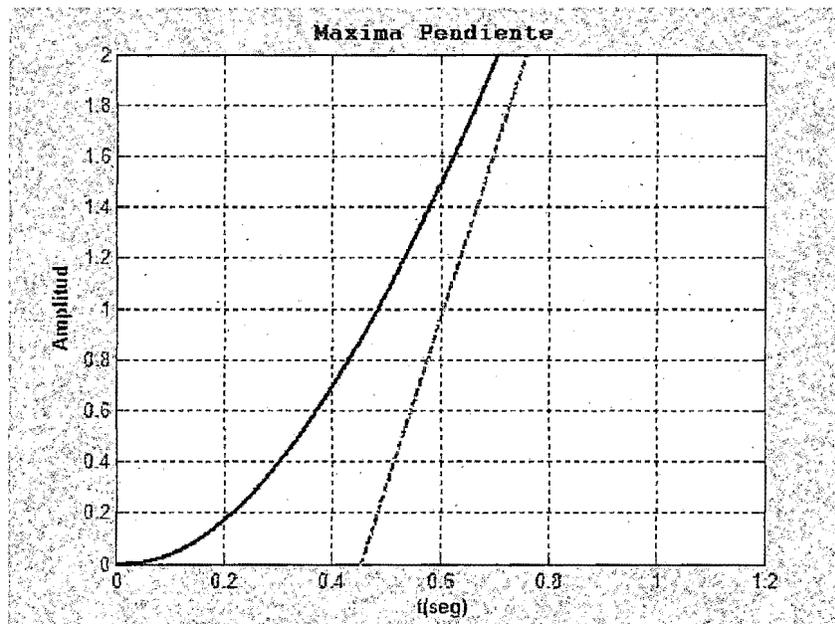


Figura 4.3. Gráfica de la máxima pendiente

Cálculo de los parámetros del controlador:

```
% %Controlador Ziegler-N
a = k*L/T
Kp = 1.2/a
Ti = 2*L
Td = 0.5*L

% %Controlador Paralelo
Kp = Kp
Ki = Kp/Ti
Kd = Kp*Td
```

```

a =
    2.9900

Ki =
    0.4415

Ti =
    0.9089

Kp =
    0.4013

Kd =
    0.0912

Td =
    0.2272
```

Figura 4.4. Resultado de los parámetros

Finalmente identificamos la ganancia del controlador y la función de transferencia total del sistema.

```
% %Ganancia del controlador
Gc = tf([Kd Kp Ki],[1 0])

% %Función del sistema total
Gt = feedback(series(Gp,Gc),1)
t = 0:0.05:8;
y = step(Gt,t);
```

Gc =

$$\frac{0.0912 s^2 + 0.4013 s + 0.4415}{s}$$

Continuous-time transfer function.

Gt =

$$\frac{0.7426 s^2 + 3.268 s + 3.595}{0.7148 s^3 + 1.743 s^2 + 3.268 s + 3.595}$$

Continuous-time transfer function.

Figura 4.5. Función de la Ganancia y del Sistema total

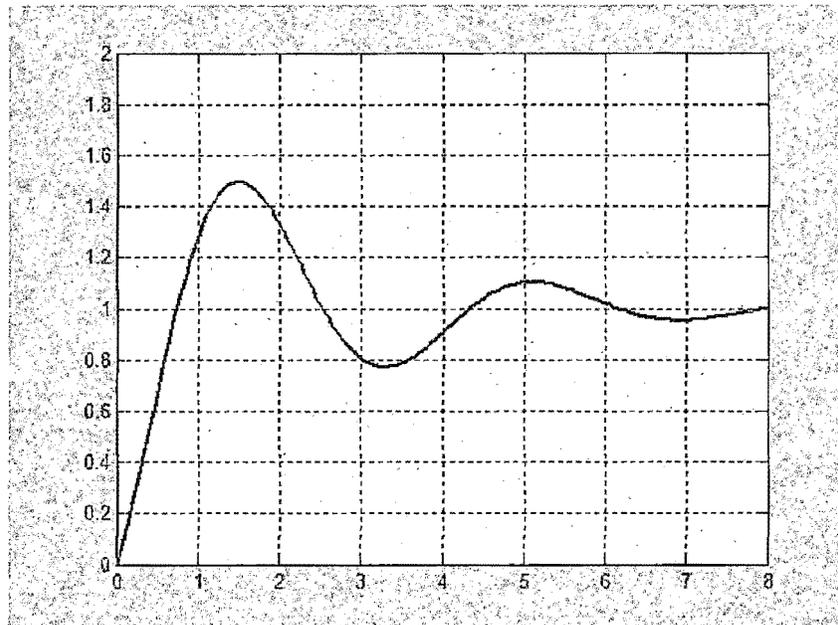


Figura 4.6. Respuesta del sistema frente a un estímulo

4.1.2 Desarrollo de Sistemas de Interacción

a. Programa de Adquisición del Acelerómetro

El acelerómetro digital nos brinda la posición del vehículo (Guiñada, Balanceo y Cabeceo), su interface de comunicación es vía RS 232 la cual es adquirida por el controlador a través de la siguiente programación:

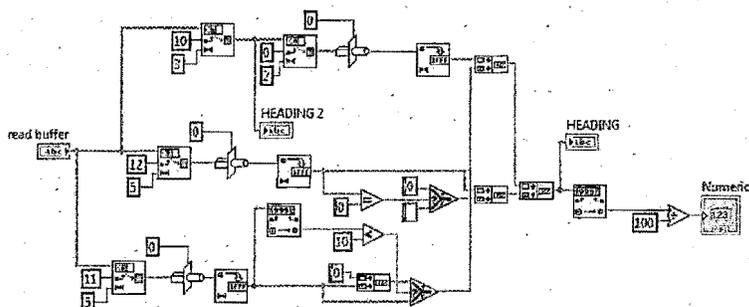


Figura 4.7. Adquisición de la guiñada

De igual manera se obtienen el balanceo y el cabeceo, estos 3 programas se generan en VI's para ser usados como SubVI's, de esta manera se optimiza la programación

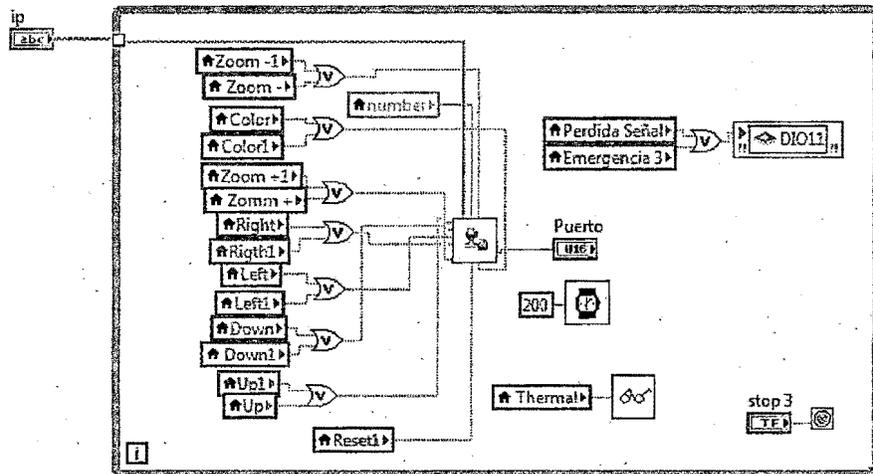


Figura 4.10. Control total de la cámara FLIR

c. Programa del controlador

Luego de haber calculado los parámetros, realizamos el programa del controlador:

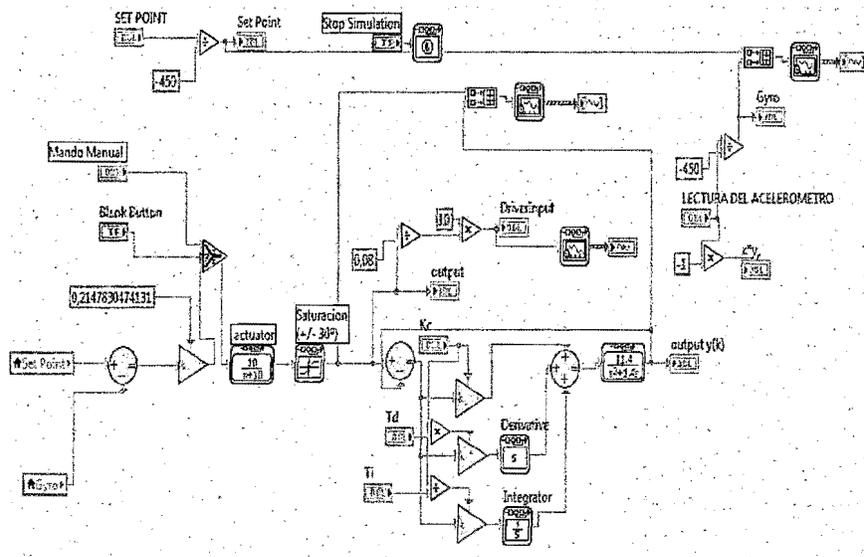


Figura 4.11. Control del vehículo

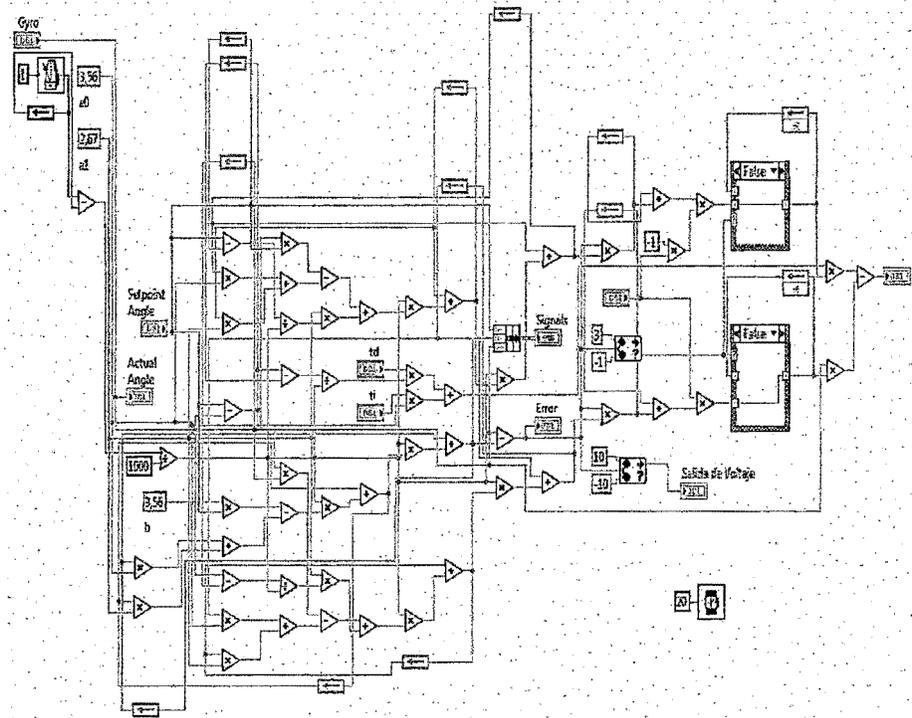


Figura 4.12. Control del vehículo por código puro

d. Programa de adquisición de video

Se adquiere el video por medio del siguiente programa:

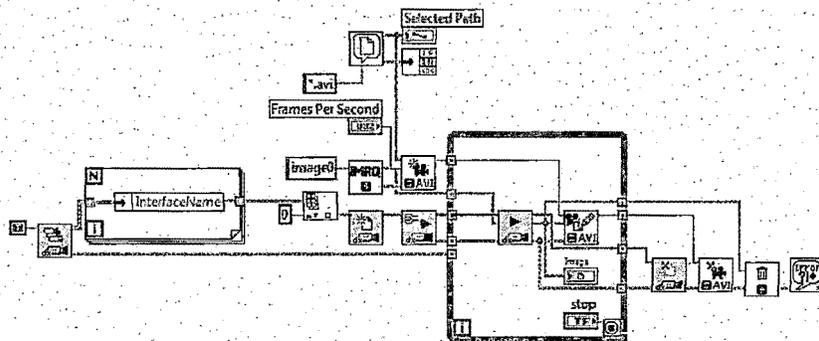


Figura 4.13. Adquisición de video

4.1.3 Programa utilizado en el Controlador

El siguiente programa se desarrolló para ser embebido en el controlador, la imagen continuación es la parte más relevante del mismo, ya que en este programa se agrupan los demás subsistemas vistos en el apartado anterior.

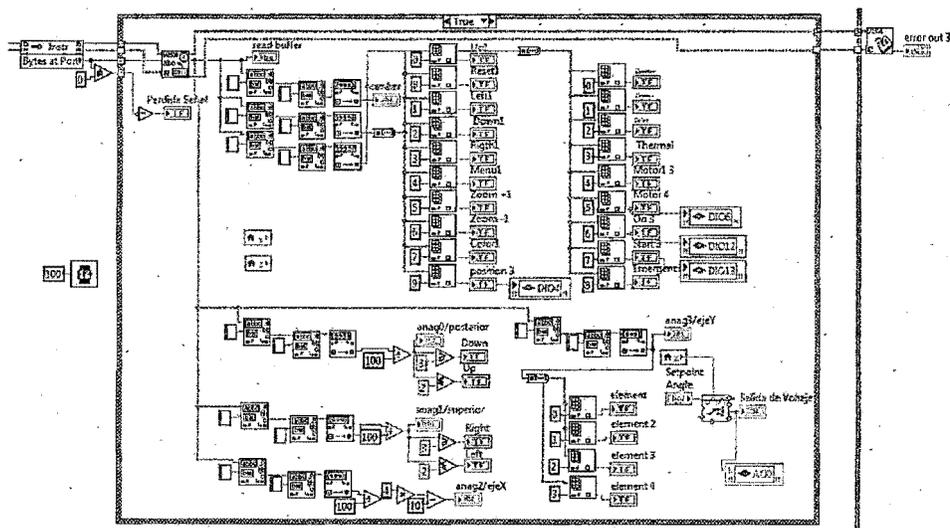


Figura 4.14. Programa General del vehículo

4.1.4 Programa utilizado en la Estación de Control

El siguiente programa se desarrolló para ser utilizado en la estación de control, por lo cual tiene la característica de poder ser creado como un aplicativo en extensión .exe lo cual permitirá su fácil acceso desde la consola.

A continuación se muestra la parte más relevante del programa:

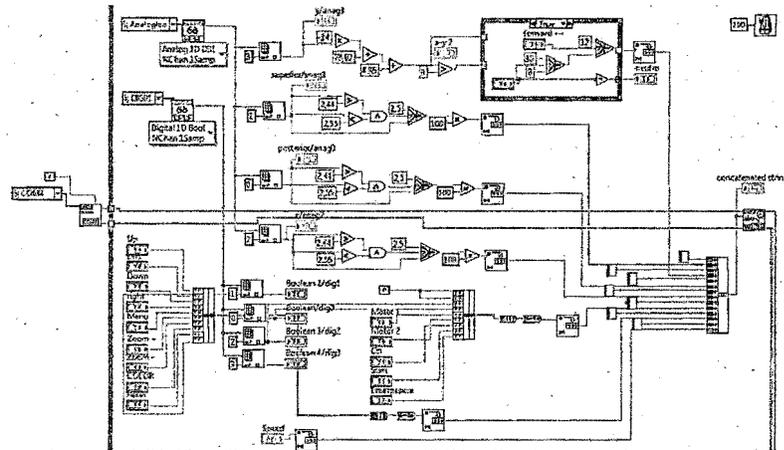


Figura 4.15. Programa General de la estación de control

4.1.5 Diagrama de bloques del vehículo

Haciendo una descripción del funcionamiento de todo el sistema integrado observamos que el video captado por la cámara FLIR es enviado vía RF independientemente de los datos, debido que en primera instancia al ir ambos en un mismo trasmisor se perdía calidad en la imagen.

El sistema está centralizado, el controlador le envía los comandos de movimiento a la cámara FLIR vía Ethernet la responde de acuerdo a la orden enviada.

El Acelerómetro se adquiere vía RS 232 por uno de los puertos del controlador el cual procesa la señal para decodificarla y utilizarla en el lazo de control.

Luego de ser procesada la señal de control esta arroja una acción correctiva traducida en voltaje la cual es recibida por el Servo-Driver el cual está específicamente configurado para la gobernar el servo motor.

El Servo-Motor mediante un acople mecánico está unido a un actuador lineal, el cual se encargara de establecer el rumbo del vehículo.

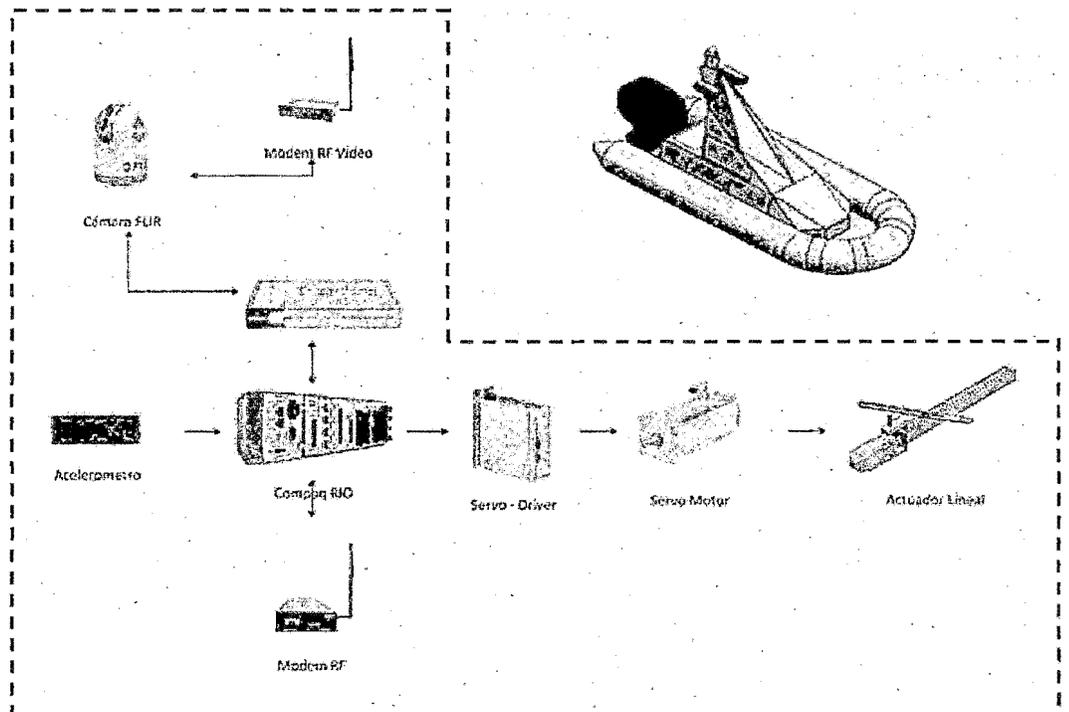


Figura 4.16. Diagrama del Sistema del Vehículo

Por parte de la estación de control se recibe la señal de video y de datos por medio de los módems receptores de RF, la cual es procesada por un computador industrial Touch Panel.

Este a su vez se encarga de enviar las órdenes de comando hacia el vehículo lo que convierte a esta comunicación en bidireccional lo cual nos permite recibir y transmitir en forma paralela.

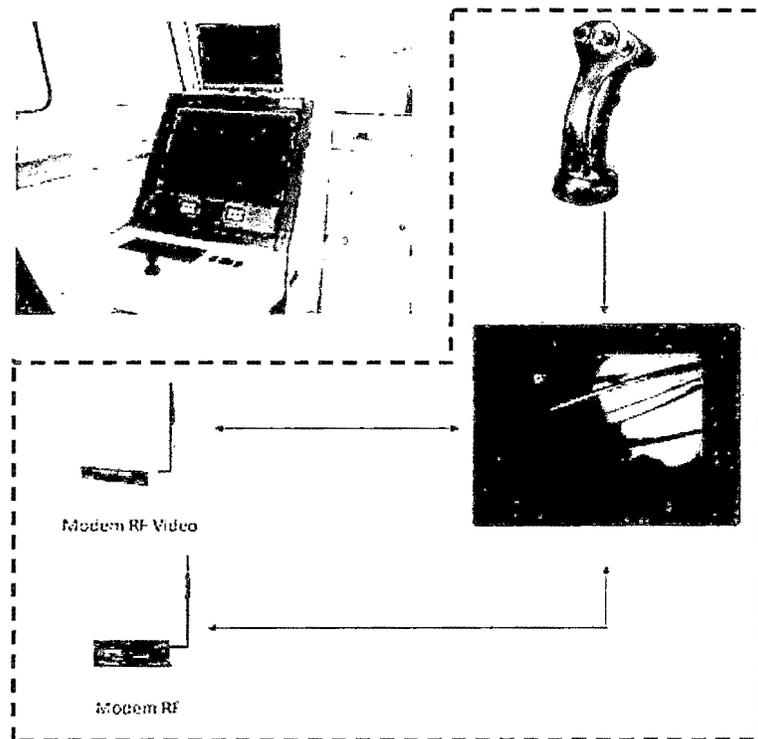


Figura 4.17. Diagrama del Sistema de la Consola

4.2 Resultados Finales

A continuación se muestra la aplicación en tiempo real y de igual manera la respuesta del sistema, para el desarrollo de la tesis simularemos la entrada del acelerómetro ya que el vehículo se encuentra en tierra y no se podría observar los indicadores:

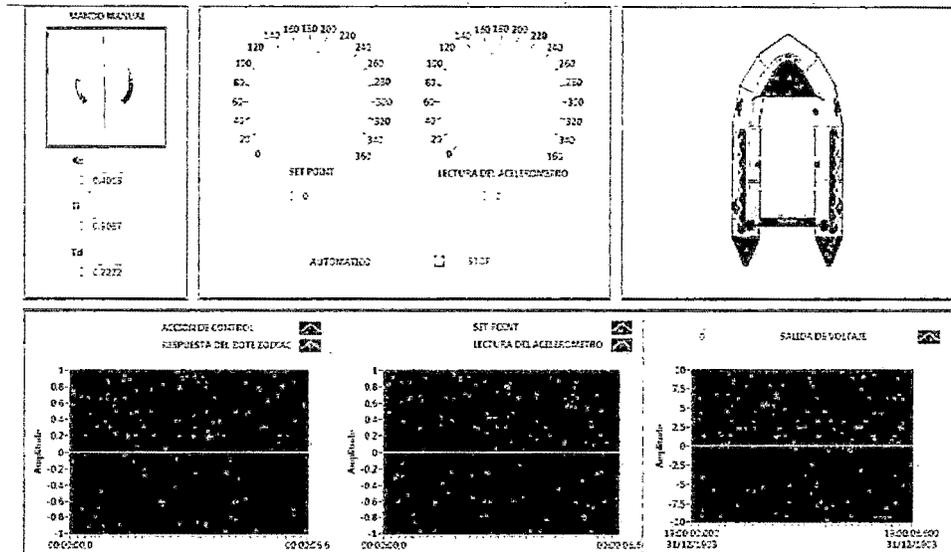


Figura 4.18. Aplicación sin ningún estímulo.

Al realizar un cambio en el set point se observa la respuesta ideal del vehículo en la gráfica de la parte inferior izquierda, en la cual el color blanco indica la posición del set point y la de color rojo indica la respuesta de la planta. Por otro lado en la parte inferior derecha se aprecia de color amarillo la salida de voltaje en respuesta del controlador:

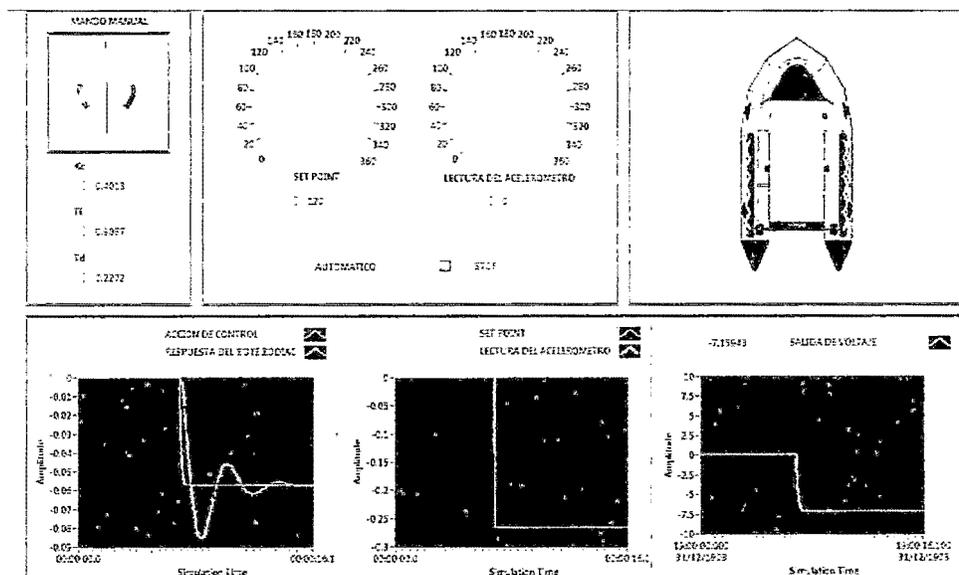


Figura 4.19. Aplicación con Set Point establecido

En la siguiente imagen podemos apreciar en la parte inferior central la respuesta medida por el acelerómetro representada por una línea de color verde y al set point representado por una línea de color blanca:

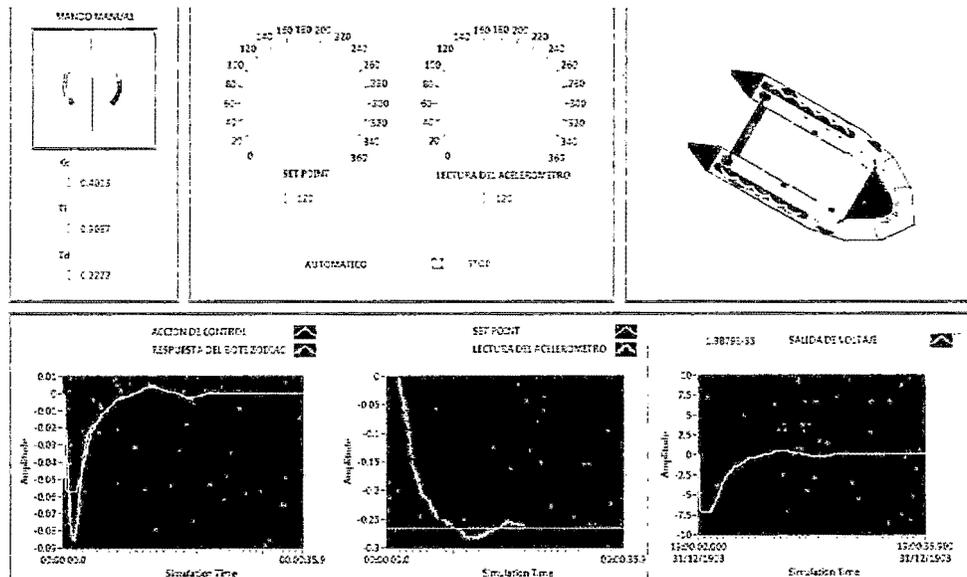


Figura 4.20. Aplicación con respuesta del vehículo



Figura 4.21. Implementación del vehículo

CAPITULO V

En este capítulo se darán a conocer el análisis de las respuestas y comportamientos del vehículo, tomando en consideración todas las fases de desarrollo aplicadas durante su ejecución.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Se observa que la función de transferencia obtenida por medio de los cálculos aplicando las teorías y modelos es la más ideal, de acuerdo a los resultados obtenidos.
- La decisión de linealizar la ecuación del sistema tomando en cuenta que para pequeñas perturbaciones alrededor de los valores nominales u_0 , v_0 y r_0 cercanos a 0 ha sido acertada.
- El cálculo de los parámetros del controlador por el método de sintonización de Ziegler y Nichols ha sido acertado y esto se observa en las gráficas mostradas en apartados anteriores.
- La velocidad de transmisión y recepción de datos por los modem RF son efectivas, no obstante la recepción del video tiende a generar un pequeño retraso en la toma de imágenes.
- La respuesta del sistema en simulación y en tiempo real son bastante acertadas lo cual nos da la seguridad que se está empleando un control óptimo.

CAPITULO VI

En este capítulo se darán a conocer las diferentes conclusiones de este proyecto, siendo estas consecuencias del estudio de los resultados de cada uno de los objetivos que se desarrollaron en este trabajo.

VI. CONCLUSIONES

- La maniobrabilidad es un factor a tener en cuenta en el desarrollo del buque. Se debe a la mejora de la seguridad de las operaciones, la operatividad y el ahorro de combustible. Esto se consigue con un adecuado control del vehículo.
- En las simulaciones se puede observar como la señal de salida sigue al Set Point de una manera adecuada y la señal de control tiene una performance que se puede mejorar con el desarrollo de un control adaptativo.
- El vehículo cumple con los requisitos planteados por la Marina de Guerra, el cual debido a su nivel de tecnología podrá salvaguardar la vida del personal militar para patrullajes donde son considerados de alto riesgo.
- El vehículo es escalable, es decir que le permite poder adaptarse a nuevos retos y escenarios de acuerdo a las necesidades del operador.
- El Hardware que se emplea para el control y procesamiento de imágenes es hardware basado en FPGA y SCANIo cual permite trabajar procesamiento en forma paralela consiguiendo con esto mayor robustez y procesamiento.

- La integración de los sistemas correspondientes al vehículo funcionan de manera independiente pero iteran entre sí lo cual optimiza el sistema, además de no presentar falla durante sus pruebas.

CAPITULO VII

En este capítulo se darán a conocer las diferentes recomendaciones de este proyecto, siendo estas consecuencias del estudio de los resultados de cada uno de los objetivos que se desarrollaron en este trabajo.

VII. RECOMENDACIONES

- Las pruebas con los equipos de comunicación se deben de realizar antes de ubicar el vehículo sobre una fuente líquida para direccionar las antenas.

- Las pruebas de control y monitoreo en forma remota se deberían de estar realizando en un ambiente controlado en primera instancia para poder aplicar acciones correctivas que se requieran del sistema.

- El posicionamiento del vehículo estará optimizado debido a que se tendrá un filtro kalman para corregir la posición y en adición deberá contar con un GPS.

- Se recomienda utilizar para próximos desarrollos un sistema de control adaptativo con modelo de referencia, el cual optimizaría el ya existente.

CAPITULO VIII

En este capítulo se mencionara todos los materiales bibliográficos físicos y virtuales utilizados en este proyecto, siendo estas de gran importancia de los resultados de cada uno de los objetivos que se desarrollaron en este trabajo.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

8.1 REFERENCIAS

- Aranda J., Díaz J.M., Ruipérez P. y De La Cruz J. M. Control clásico multivariable de un ferry rápido Dept. de Aranda, Informática y Automática. UNED. Madrid, España. 2003.
- Aranda J, Díaz J.M., Ruipérez P. y De La Cruz J. M. Disminución del índice de mareo mediante un control PD sobre el movimiento de arfada y el ángulo de cabeceo en un buque de alta velocidad. Dept. de Aranda, Informática y Automática. UNED. Madrid, España. 2002.
- Aranda J. Revilla J, Díaz J y Muñoz R. Entorno para el análisis de la robustez de controladores en aplicaciones de control de buques. Dept. de Informática y Automática. UNED. España. 2004.
- Gianni C. Enciclopedia del mar y de la navegación. Editorial Noguer. SA. Barcelona. 1970.
- Martínez J. M°. Diccionario náutico. Ediciones Garriga. SA. Barcelona.
- Pérez T. y Blanke M. Mathematical Ship Modeling for Control Applications. University of Newcastle, Australia.

8.2 ENLACES WEB

- <http://latam.ni.com/>
- <http://www.festo.com/net/startpage/>
- <http://www.flir.com/PE/>
- <http://www.evinrude.com/>
- <http://www.ni.com/labview/why/esa/>
- http://www.solidworkssouthamerica.com/sw/6453_ESS_HTML.htm
- <http://www.mathworks.com/products/matlab/>

CAPITULO IX

En este capítulo se mencionara todos los materiales físicos y virtuales para el desarrollo de vehículo, al de igual que diseño y análisis de estructura utilizados en este proyecto o datos relevantes para cálculos específicos.

IX. ANEXOS

9.1 ANEXO 1: PAC DE CONTROL

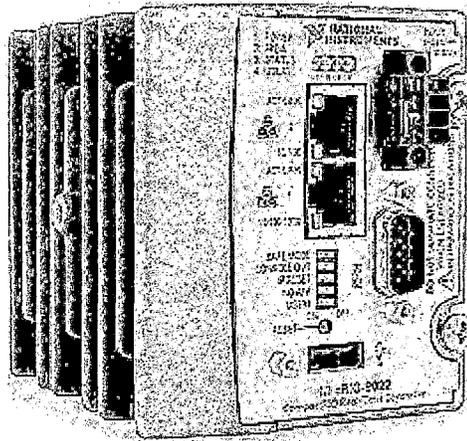


Figura 9.1. Controlador programable COMPAQ RIO

El compact RIO es un controlador de automatización programable (PAC), a nivel industrial utilizando un procesador de 533 MHz free scale MPC 8347 para aplicaciones determinadas en tiempo real, combina una arquitectura embebida abierta con un tamaño pequeño, extrema robustez, módulos intercambiables en caliente industriales de E / S, y es alimentado por el LabVIEW arquitectura de E / S reconfigurable NI (RIO).

En este proyecto cumple la función de control y actuador cuyas funciones son:

- **Conexión con radio modem:** Este módulo se conecta al radio modem para operar en modo radio controlado mediante la interfaz RS232.

- Implementación del algoritmo de control: El algoritmo de control para el posicionamiento del sistema, se implementara en este módulo bajo la plataforma del software labview.
- Interfaz con módulo de visión: La data procesada del módulo compact visión se enviara al módulo compact rio para la toma de decisiones con respecto hacia algún objetivo.

9.2 ANEXO 2: MODULO DE ACTUADOR FESTO SERVO – DRIVER

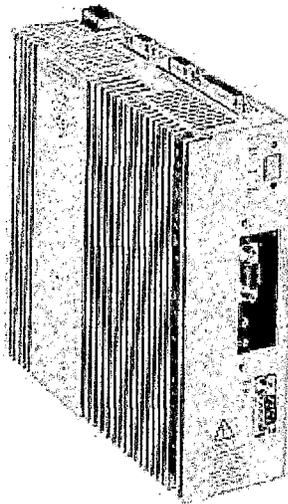


Figura 9.2.Driver FESTO CMMS-AS-C4-3A

Características principales:

- Control de torque
- Regulación RPM
- Control de posición (posicionamiento)
- Control de posición (operación sincronizada).
- Configuración de límites de carrera.
- 10 entradas digitales, eléctricamente aisladas en un rango de 12 a 30 Vdc.
- 5 salidas digitales, eléctricamente aisladas con nivel de 24 Vdc.

9.3 ANEXO 3: RADIO MODEM

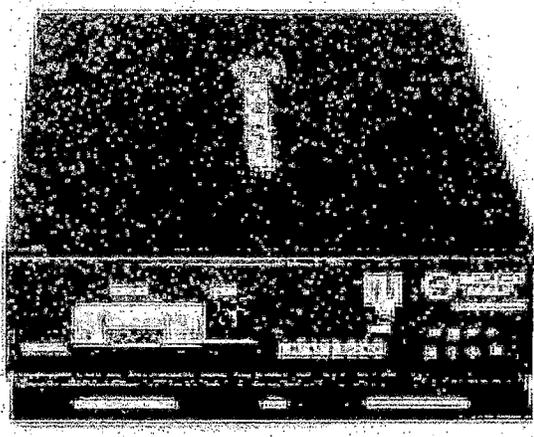


Figura 9.3.Radio Módem SRM6000.

El radio módem inalámbrico serial SRM6000 de Data-Link Group ofrece una amplia gama de ventajas ofreciendo confiabilidad y flexibilidad en su funcionamiento. Uno de los beneficios del SRM6000 es el de ser pre-configurado en fábrica para asegurar una instalación fácil y sin complicaciones, trabaja a rangos de 902-928 MHz ofreciendo un radio de acción clasificado de hasta 40 kilómetros y hasta 56 kilómetros en condiciones óptimas. Basados en una tecnología probada, el SRM6000 agrega nueva flexibilidad a sistemas diseñados para proporcionar una alternativa altamente confiable y flexible para comunicación inalámbrica.

9.4 ANEXO 4: CÁMARA FLIR



Figura 9.4.Cámara FLIR

Se usara una cámara FLIR, que tiene 2 grados de libertad en el barrido 360 ° y en el eje z 180 °, además de trabajar en modo termal para nocturno, se comunican mediante el puerto RJ-45 para su control y RSA para el video.

Es un sistema de adquisición de imágenes térmicas para aplicaciones especialmente marítimas este sistema trabajo en dos configuraciones:

- **Modo simple de adquisición de imágenes térmicas:** en este modo la imagen es adquirida la línea coaxial designada como "IR"

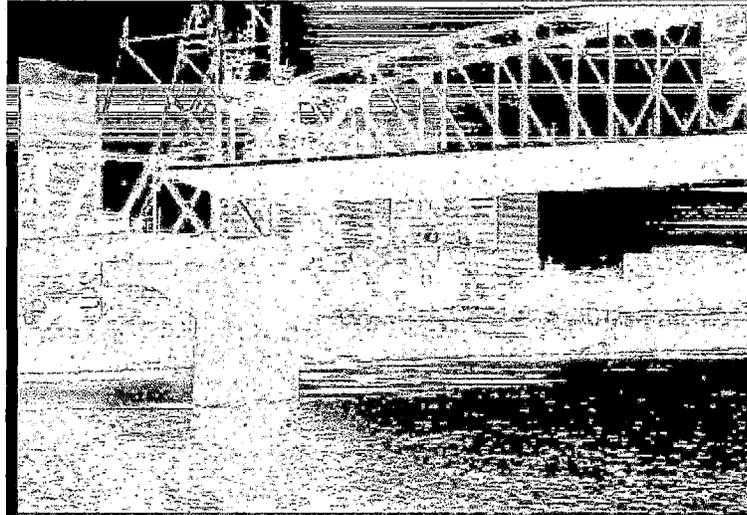


Figura 9.5. Modo IR

- Modo dual: se refiere a que la adquisición de imagen se puede conmutar tanto en modo normal como una simple cámara o en modo infrarrojo, esta adquisición se da a través de la línea coaxial designada como "VIS/IR".

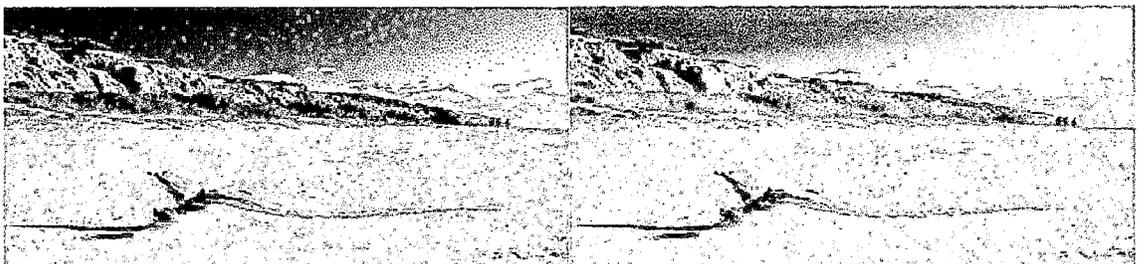


Figura 9.6. Modo VIS / IR

9.5 ANEXO 5: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

El desarrollo del casco que servirá de depósito y protección de los componentes, además influirá en el desplazamiento del vehículo debido a su aerodinámica.

Aquí se presenta las dimensiones reales del casco que contara con 2 compuertas laterales superior e inferior y 1 trasera, se tomara la fibra de vidrio como material a usar por su aislamiento térmico, inerte a ácidos, soporta alta temperatura.

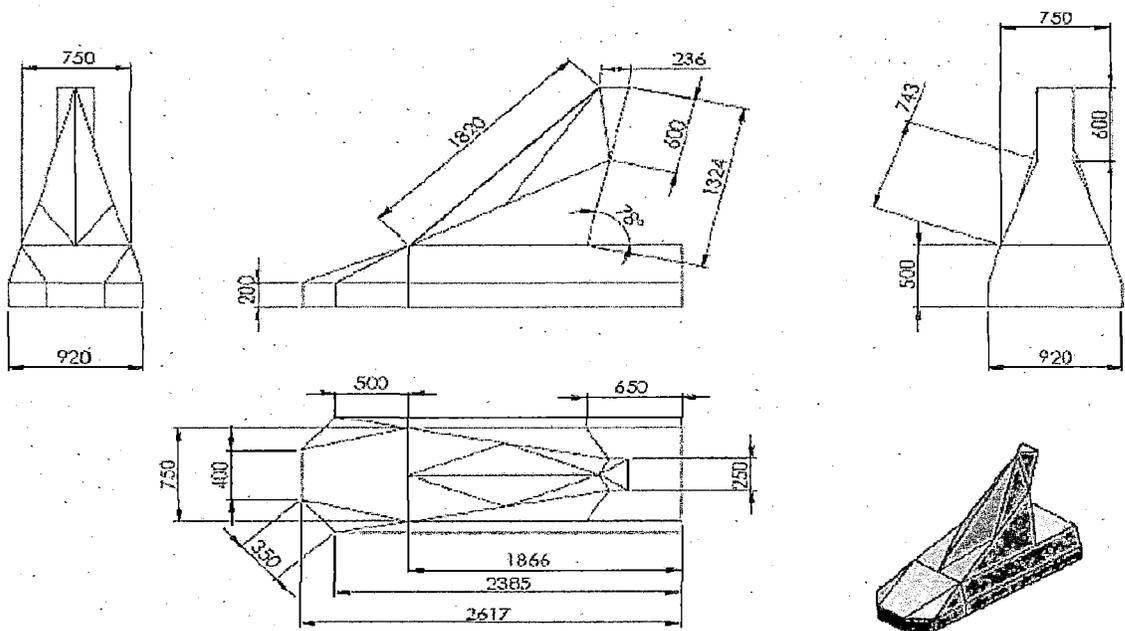


Figura 9.7. Estructura del vehículo

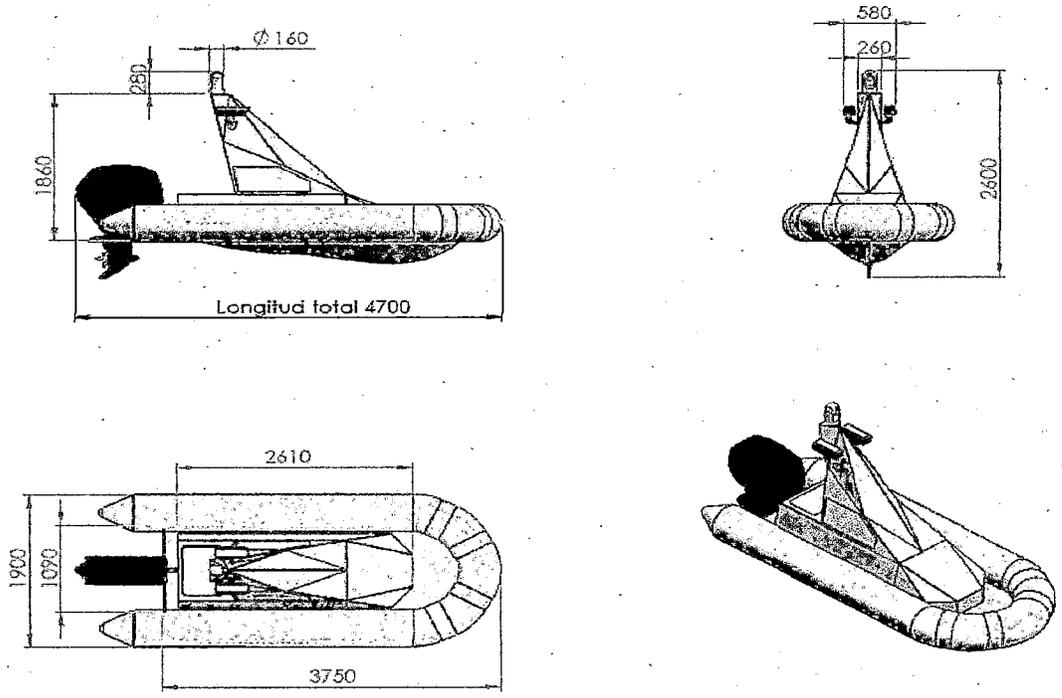


Figura 9.8. Estructura del vehículo con el bote Zodiac

9.6 ANEXO 6: DISEÑO DEL ACTUADOR LINEAL

Como se mencionó en las bases teóricas, con los datos de una carga máxima de 25 Kgf obtuvimos un torque necesario para sacar de la inercia al tornillo de potencia igual a 40 Nm. Con la herramienta IDENT de Matlab ingresamos valores de voltaje en un tiempo de 30 segundos, y obtenemos una posición del ángulo diferente desde -30 a +30, creando las variables Voltaje y Angulo.

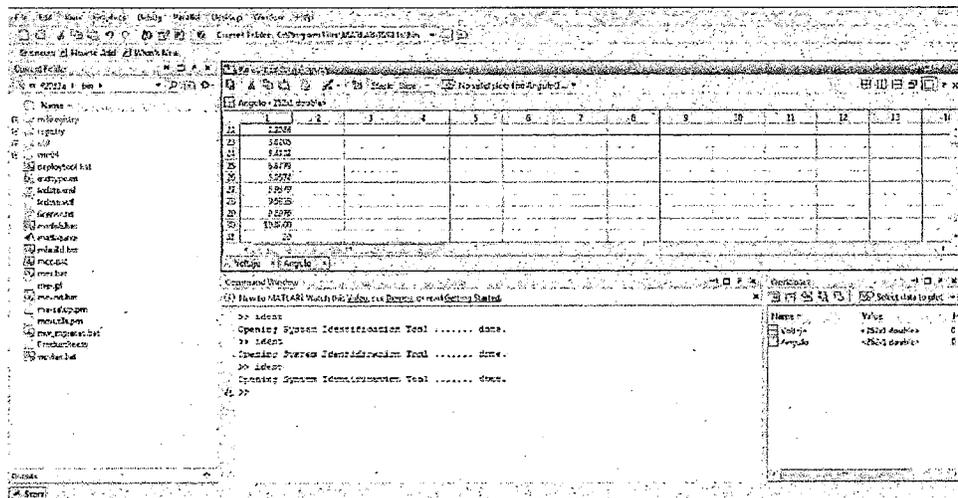


Figura 9.9. Ingreso de datos

Importamos los valores de Excel y llamamos a IDENT, creando el sistema Actuador.

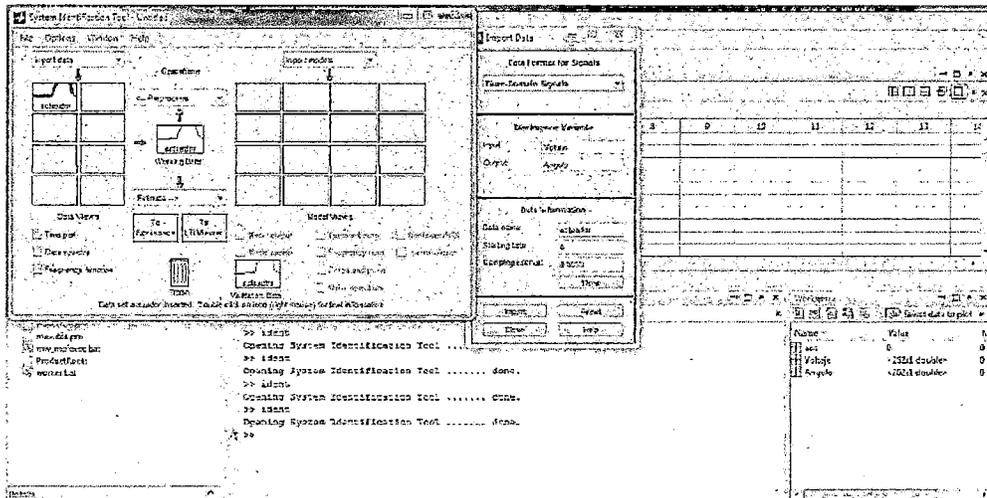


Figura 9.10. Importando los datos

Seleccionamos los parámetros para obtener una función de 1er orden de la siguiente forma:

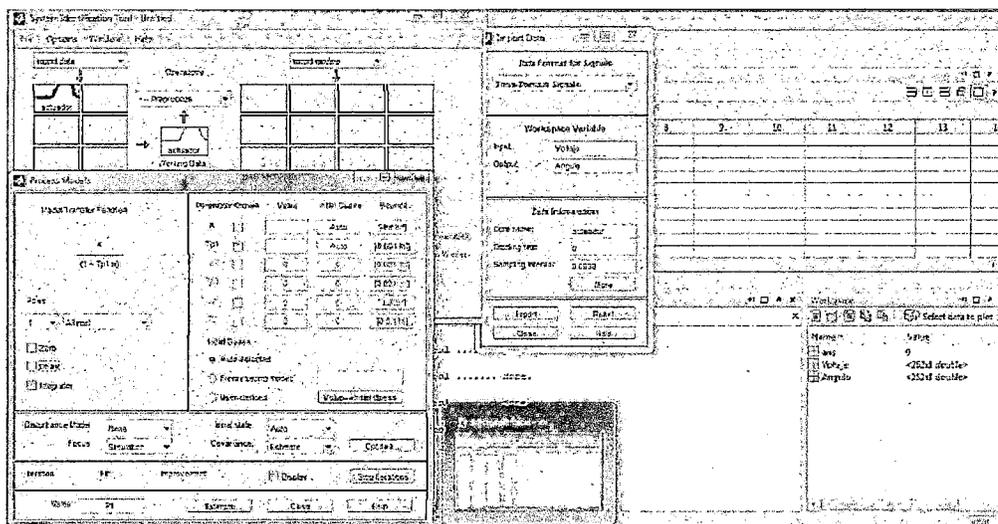


Figura 9.11. Selección del modelo deseado

Estimamos una función de transferencia de 1er orden:

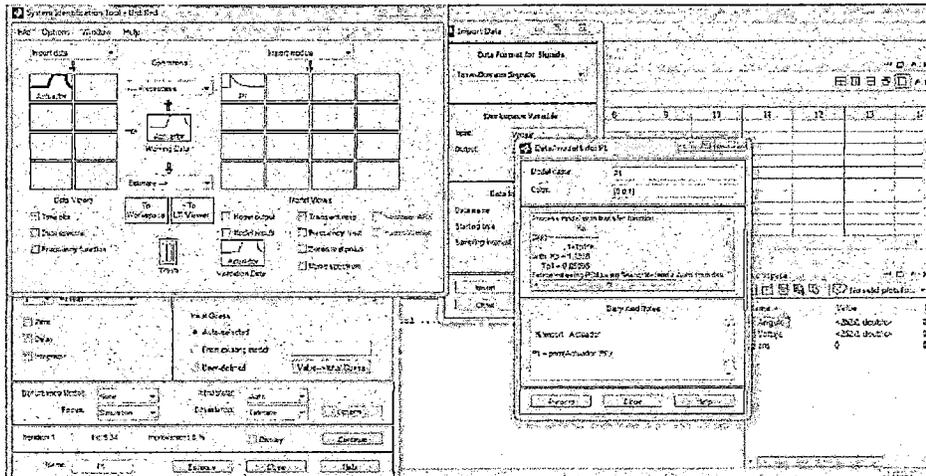


Figura 9.12. Valor del modelo deseado

La variable de entrada será el valor de voltaje, y la salida el ángulo del timón del actuador:

$$\frac{\delta}{v} = \frac{1.1936}{1 + 0.051s} \dots \text{Ec. (22)}$$

Finalmente el producto diseñado será:

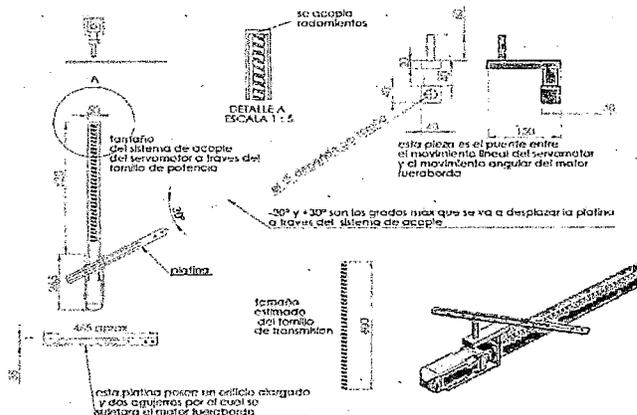


Figura 9.13. Actuador Lineal

9.7 ANEXO 7: DATOS OBTENIDOS POR MEDICIONES Y CÁLCULOS PREVIOS

Datos principales del casco y las condiciones de carga:

Dimensión	Dato	Unidad
Largo	3,83	<i>m</i>
Ancho	1,47	<i>m</i>
Masa	753,45	<i>Kg</i>
Velocidad Nominal	0,8	<i>m/s</i>
Calado	0,423	<i>m</i>
Desplazamiento	0,352	<i>m³</i>
Centro de Gravedad Vertical	0,3963	<i>m</i>
Momento de inercia Iz	135,259	<i>Kgm²</i>
Distancia del eje x a "o"	-0,46	<i>m</i>

Tabla 9.1. Toma de datos del vehículo

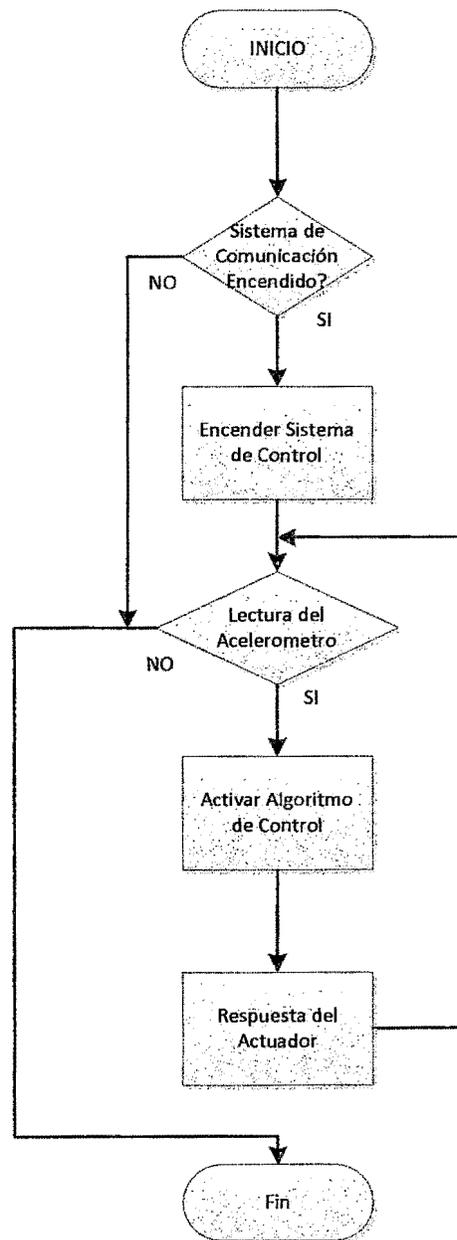


Figura 9.14. Diagrama de Flujo del vehículo

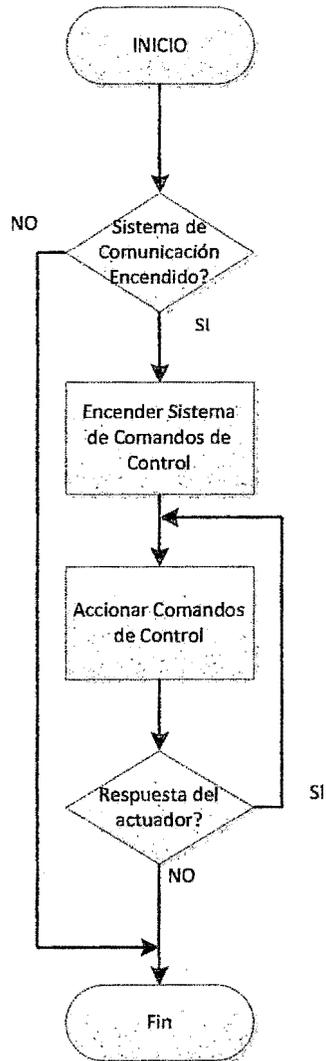


Figura 9.15.Diagrama de Flujo de la Estación de Control