



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO SUBMARINO POR
VIDEO PARA EL ESTUDIO CIENTÍFICO DE ARTES DE PESCA
PASIVOS DE POCA PROFUNDIDAD EN EL PERÚ**

Presentado por:

Franco Hidalgo Herencia

ASESOR: Dr. Gustavo Kato Ishizawa

Lima – Perú

2009

ÍNDICE GENERAL

Introducción	3
CAPÍTULO 1: LOS ESTUDIOS DE ARTES DE PESCA PASIVOS EN EL PERÚ.....	5
1.1 La pesca en el Perú y la demanda tecnológica	5
1.2 Investigación científica de artes de pesca en el Perú	6
1.2.1 Equipos usados en estudios para artes de pesca	7
1.3 Artes de pesca pasivos	8
1.3.1 Tipos	8
1.4 Limitaciones en el estudio del comportamiento de los peces ante artes de pesca y dispositivos de selección.	9
CAPÍTULO 2: FILMACIONES DE VIDEO SUBMARINO EN LOS ESTUDIOS DE ARTES DE PESCA PASIVOS.....	11
2.1 Dispositivos para filmaciones submarinas	11
2.2 Sistema de monitoreo submarino por video.....	12
2.2.1 Estudios posibles mediante la utilización de un sistema de monitoreo submarino por video en los estudios de artes de pesca pasivos.....	15
2.3 Consideraciones de diseño	15
2.4 Objetivos	17
CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO	18
3.1 Principios de diseño	18
3.2 Diagrama de bloques	20
3.3 Transmisión y recepción de instrucciones:	22
3.3.1 Tipo de transmisión de instrucciones.....	22
3.3.2 Componentes para la transmisión y recepción de instrucciones.....	25
3.4 Cámara de video y orientación	28
3.4.1 Selección de cámara de video.....	29
3.4.2 Circuito de Iluminación.....	37
3.4.3 Sistema de orientación de cámara	38
3.4.4 Motores	39
3.4.5 Diseño mecánico	43
3.4.6 Control de motores	48
3.5 Microcontrolador	49
3.6 Diseño electrónico del sistema	51
3.6.1 Circuito VCO – Generación de frecuencias de 40KHz y 100Hz.....	51
3.6.2 Divisor de frecuencia 74LS56 y temporizador de precisión 4538A	54
3.6.3 Modulador ASK.....	56
3.6.4 Recepción de señal de 40KHz.....	57

3.6.5	Microcontrolador	62
3.6.6	Control de motores	66
3.6.7	Otros componentes.....	67
3.7	Fuente de Alimentación	72
3.8	Selección de cable	72
3.9	Estación de monitoreo	73
3.10	Diagrama de bloques de conexiones de circuitos electrónicos diseñados	75
CAPÍTULO 4:	SIMULACIÓN DE LOS CIRCUITOS DEL SISTEMA DE MONITOREO.....	76
4.1	Simulación del circuito de transmisión.....	76
4.2	Simulación del circuito de recepción.....	80
4.3	Simulación del microcontrolador.....	82
CAPÍTULO 5:	PRESUPUESTO.....	86
Bibliografía	92
ANEXOS:		
I.	Diagramas esquemáticos y tarjetas de circuito impreso de los circuitos electrónicos del sistema de monitoreo submarino.	
II.	Hoja de datos PLL HEF4046B de Philips	
III.	Hoja de datos divisor de frecuencia 74LS56 de Texas Instrument	
IV.	Hoja de datos temporizador de precisión MC74HC4538A de On Semiconductor	
V.	Hoja de datos conversor paralelo – serie DM74165 de National Semiconductor	
VI.	Hoja de datos OpAmp LM358 de National Semiconductor	
VII.	Tabla de cámaras posibles	
VIII.	Cámara seleccionada EQ-550 de EverFocus	
IX.	Hoja de datos de motores Japan Servo	
X.	Correos sobre chasis	
XI.	Catálogo de perfiles de aluminio de Corporación Furukawa	
XII.	Hoja de datos L293D de Texas Instrument	
XIII.	Hoja de datos Atmega8 de Atmel	
XIV.	Hoja de datos compuerta inversora SN74LS04 de Texas Instrument	
XV.	Hoja de datos PLL MC14046B On Semiconductor	
XVI.	Hoja de datos regulador de voltaje serie KA78XX de Fairchild	
XVII.	Hoja de datos del OpAmp TL081 de ST	
XVIII.	Hoja de datos Optoacoplador PC817, PC827 de Sharp	

Introducción

La actividad pesquera en el Perú, se ha desarrollado de forma favorable gracias a la riqueza de nuestro mar. Cada vez se trata de extraer la mayor cantidad de recursos hidrobiológicos del mar, lo que beneficia a la economía nacional, mas no, a la conservación del medio. Es por eso que se busca difundir una pesca responsable que permita el desarrollo sostenible de esta actividad.

El Instituto del Mar Peruano (IMARPE) es uno de los encargados de propiciar este tipo de prácticas, y lo hace al realizar investigaciones científicas y tecnológicas en el mar peruano. Entre los estudios tecnológicos que realizan están el diseño y la evaluación de artes de pesca (técnicas y equipos de pesca), con lo que se busca disminuir la captura de peces juveniles y de recursos no objetivos, como especies acompañantes, además de conocer el impacto causado sobre el ecosistema marino.

La forma de ejecutar estas investigaciones es mediante embarcaciones de investigación que cuentan con equipos de percepción acústica (sistema sonar): ecosondas para la detección de los peces y netsondas para estudiar el comportamiento de redes. Es importante notar que los equipos mencionados cuentan con una representación gráfica (manchas, líneas, puntos, etc.) pero no se puede observar la interacción real entre los recursos y las artes de pesca. Esto evidencia la necesidad de complementar la información obtenida por los equipos actuales, con sistemas de video submarino para observar directamente el comportamiento de los peces frente a las artes de pesca. [24]

Los sistemas de monitoreo submarino por video son utilizados, mayormente, por las petroleras, para el monitoreo de sus plataformas y buscar nuevas reservas de petróleo; y por investigadores en la búsqueda y exploración del fondo marino, por lo que estos sistemas comerciales están especializados para estas tareas y además, son de un costo elevado. [17]

La presente tesis plantea el diseño de un sistema de monitoreo submarino por video para el estudio de artes de pesca, con la finalidad de adicionar un equipo de monitoreo a los investigadores. En principio, el sistema se diseña para artes de pesca pasivos, donde el arte se tiende en el mar y se espera a que los recursos queden atrapados, para una profundidad aproximada de 100m, profundidad a la

que se realiza la captura de varios tipos de recursos con esta técnica. El sistema permite la visualización en tiempo real de lo acontecido alrededor de una zona del arte de pesca a estudiar, lo que brinda información importante a los investigadores.

El sistema consta de un dispositivo submarino, que se ajusta al arte de pesca a estudiar, equipado con una cámara de video y un sistema mecatrónico para controlar su orientación: giro izquierda/derecha e inclinación elevación/depresión. La cámara envía video analógico NTSC a una computadora portátil ubicada en la embarcación. Además cuenta con iluminación infrarroja, la cual, permite iluminar la escena a filmar con menos impacto que con iluminación de color en el espectro visible.

El desarrollo de la tesis se encuentra dividido en 5 capítulos. En el primero se realiza una explicación de los artes de pesca pasivos utilizados en el Perú y la metodología de su estudio, donde también se presentan los equipos utilizados y su alcance en la investigación.

En el segundo capítulo se detalla la aplicación de los sistemas de video submarino y su aplicación en la pesca. Además se presentan los requerimientos que se tendrían para el diseño de éste sistema para su aplicación en el estudio de artes de pesca pasivos.

En el tercer capítulo se desarrolla el diseño del sistema de monitoreo submarino, se seleccionan los componentes a escoger para cada etapa y se presenta todo el esquema que se tendría.

En el cuarto capítulo se presentan las simulaciones realizadas para los circuitos de comunicación entre la estación de control y el dispositivo submarino, además de la interpretación de instrucciones de orientación para efectuar el control del movimiento.

Por último se presenta un presupuesto general para la implementación de este diseño donde se especifican los elementos y las empresas que lo pueden suministrar.

CAPÍTULO 1: LOS ESTUDIOS DE ARTES DE PESCA PASIVOS EN EL PERÚ

1.1 La pesca en el Perú y la demanda tecnológica

La pesca es una de las actividades económicas más importantes del país, por tanto, es necesario el estudio y el continuo desarrollo de técnicas de pesca para su optimización, con la finalidad de lograr una pesca sostenible.

Lo deseable en una faena de pesca es que sólo se capturen las especies que son objeto de captura y que los especímenes extraídos sean del tamaño requerido, evitando así la extracción de recursos hidrobiológicos no deseados y su posterior descarte con lo que se logra un beneficio tanto para el sector pesquero como para la conservación de los ecosistemas marinos.

La FAO (Organización por la Alimentación y la Agricultura) de las Naciones Unidas, el Código de Conducta para la Pesca Responsable y la Ley General de Pesca del Perú promueven el desarrollo y el mejoramiento de artes de pesca (técnicas y equipos de pesca) selectivas y ambientalmente seguras a fin de mantener la biodiversidad, además de conservar la estructura de la fauna marina. Al mismo tiempo, reducir al mínimo el desperdicio de las capturas tanto de los peces juveniles como de los recursos no objetivo de la pesca (descarte). [25]

En el Perú se están implementando técnicas y dispositivos selectivos en artes de pesca tanto para el sector industrial como el sector artesanal. Para el sector industrial se está logrando la selectividad con la percepción remota del objetivo de pesca así como la adaptación de las redes de pesca con dispositivos selectores. La función de estos dispositivos es permitir a los especímenes juveniles u otras especies no objeto de captura, escapar del arte de pesca.

Por otro lado, para el sector artesanal se tiene un Plan Nacional para el Desarrollo de la Pesca Artesanal en donde se busca implementar dispositivos selectores en distintos tipos de redes, además de presentar alternativas de pesca rentables en reemplazo de las técnicas que causan impacto negativo en el ecosistema marino. [10]

El desarrollo de las técnicas de pesca es parte de las labores del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), que realiza investigaciones científicas y tecnológicas en el mar peruano con la finalidad de ampliar los conocimientos sobre los recursos pesqueros y su ambiente para el manejo racional.

1.2 Investigación científica de artes de pesca en el Perú

En el Perú, el IMARPE es el organismo encargado del estudio científico de artes de pesca para su mejoramiento y uso adecuado. Para ello cuenta con buques de investigación científica además de personal calificado como ingenieros pesqueros, biólogos, químicos, técnicos, etc. para la realización de los estudios.

Se emplean equipos de detección acústica, para determinar la posición de los peces; además, lances de prueba; estudios biológicos y biométricos, para determinar el comportamiento de los peces y su reacción frente a las artes de pesca. También, se contabilizan los peces capturados separándolos según especie, sexo, tamaño y etapa de desarrollo para determinar la cantidad de recursos hidrobiológicos objetivo y no objetivo, resultado de la captura, con lo que se obtiene la eficiencia del arte de pesca (Figura 1.1).

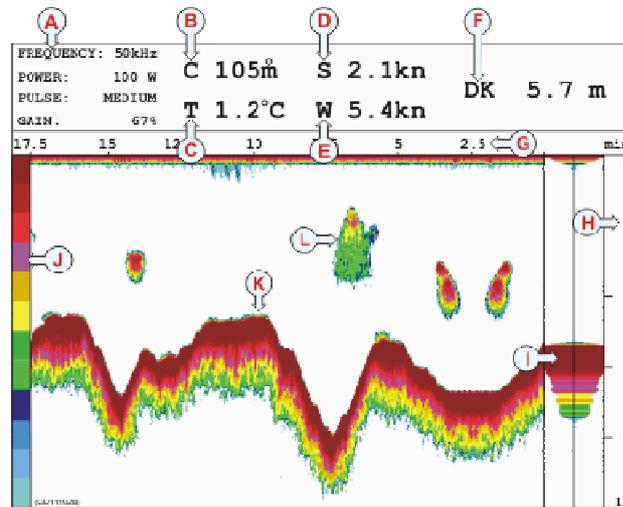


FUENTE: IMARPE

Figura 1.1: Lances de prueba (izq.) y análisis biológico (der.)

Los sistemas de detección acústicos muestran a los peces como manchas, rayas y líneas (Figura 1.2), con lo que se puede determinar la profundidad a la que se encuentran los recursos hidrobiológicos y estimar la cantidad de biomasa presente pero tiene un limitado alcance en el estudio del comportamiento de los recursos

ante las artes de pesca. La mejor forma de conocer el comportamiento de los peces es observando directamente los especímenes cuando el arte de pesca está trabajando. [24]



FUENTE: SIMRAD (www.simrad.com)

Figura 1.2: Pantalla de Ecosonda

1.2.1 Equipos usados en estudios para artes de pesca

Los equipos de monitoreo usados actualmente en las embarcaciones para la investigación científica en el Perú de artes de pesca son:

Ecosonda Científica: Instrumento para la evaluación directa de los peces. Permite observar todo blanco que se encuentre debajo de la embarcación con lo que se puede estudiar el comportamiento de los cardúmenes en su estado natural y frente a artes de pesca.

Net sonda o sonda de red: Brinda información sobre el estado de la red como la distancia al fondo, la abertura de la red, la posición de la red con respecto al barco, el ingreso de los peces, etc.

Sonar de barrido lateral: Usados para mapeo, conteo y seguimiento de comportamiento de cardúmenes de peces pelágicos (que viven en zonas alejadas de la costa).

Transductores: Diversos dispositivos: split beam, single beam, multibeam; tipos de transductores que permiten diseminar la energía sónica en el medio marino,

capturar la misma y transformarla en energía eléctrica para que se registren todos los organismos en la columna de agua muestreada.

Los equipos antes mencionados permiten obtener información variada sobre el comportamiento de los recursos ante las artes de pesca. Se puede determinar la eficiencia de la técnica para distintos tipos de redes y dispositivos selectores para la exclusión de peces juveniles y especies acompañantes no objeto de la captura. [9]

1.3 Artes de pesca pasivos

Se conoce como artes de pesca pasivos al conjunto de equipos y accesorios diseñados para la captura y extracción de recursos hidrobiológicos en donde el arte se tiende en el mar, y se espera a que los peces queden atrapados para proceder a la extracción, en algunos casos se atrae a los peces de alguna forma (luz, alimento, etc.). [4]

1.3.1 Tipos

Redes

Son paños de redes, su principio de captura es que los peces queden atrapados por los agujeros de la red o luz de la malla, pueden ser:

- Agallera - El pez queda atrapado en la luz de malla, en la región de las agallas (entre la cabeza y el cuerpo).
- De cerco: Los peces son rodeados por los lados y por debajo
- Izadas: Un paño de red horizontal o en forma de paralelepípedo con una boca abierta hacia arriba, donde los peces son atraídos para luego levantar el arte para atrapar a los peces.
- Enmalle o enredo: Los peces quedan enmallados entre las redes, pueden usarse varios paños para lograr este objetivo. [16]

Comúnmente operan como artes estacionarios ancladas al fondo por sus extremos, pero también podrían actuar casi como redes de deriva que flotan libremente en el agua. Las redes estacionarias podrían anclarse en el lecho marino, a diferentes profundidades de la columna de agua o con la línea de flotación en la superficie. De manera similar, las redes de deriva pueden operar con la línea de flotación en la superficie o suspendida de flotadores superficiales con las correspondientes líneas de flotación a la profundidad de pesca deseada.

Especies capturadas en el mar peruano:

Merluza, pejerrey, lisa, lorna, mismis, anchoveta.

Sedales y anzuelos:

Los diferentes métodos de pesca se basan en el uso de anzuelos. Un monofilamento de nylon se usa comúnmente como sedal con una o varios anzuelos en el extremo con carnada o señuelos para atraer a los peces. [16]

Especies capturadas:

Perico, atún

Nasas y trampas:

Se trata, por regla general, de redes grandes sujetas a estacas, abiertas en la superficie y provistas de sistemas de diversos tipos para dirigir y retener a los peces. Suelen estar divididas en compartimientos con el fondo cubierto de red.

Tienen forma de cajas, conos, cilindros, esferas o botellas en donde se busca atraer organismos objeto de la pesca con carnada (estimulo químico). Al ser atraído hacia la nasa, el organismo objeto de la pesca debe entrar a la nasa para tener acceso a la carnada, en donde queda atrapada.

Normalmente se calan en el fondo, sea individualmente con una boya con línea hasta la superficie o en grupos de varias nasas conectadas a una línea principal a ciertos intervalos. [16]

Especies capturadas:

Moluscos, crustáceos, centollas, anguilas, langostinos y cangrejos

1.4 Limitaciones en el estudio del comportamiento de los peces ante artes de pesca y dispositivos de selección.

La metodología aplicada al estudio de artes de pesca pasivos en el Perú depende del equipo con el que se cuenta en las embarcaciones para la investigación científica en cuanto a la relevancia de la información obtenida y a su grado de precisión. Es importante obtener información sobre el impacto del arte de pesca sobre los recursos marinos para determinar su aplicación en el contexto del mar peruano y bajo las normas establecidas.

Mediante los lances de prueba y los análisis de los especímenes se determina la eficiencia y el impacto del arte; ya que teniendo el número de especímenes objetivo

y no objetivo, además de sus tallas, se puede determinar el porcentaje del recurso de interés capturado del total. Además, existe una demora para tener los resultados ya que el muestreo biológico toma tiempo y se realiza una vez que se ha retirado el arte, se tienen pocos indicios de la efectividad de la selectividad del arte mientras este se encuentra trabajando.

Por otro lado, la interpretación de los registros de equipos hidroacústicos necesitan ser corroborados por muestras biológicas, lo que le quita valor para el estudio del comportamiento de los recursos marinos in situ, ya que no se puede determinar a cabalidad el tipo del espécimen, su tamaño, su etapa de desarrollo hasta la ejecución de lances de comprobación. Además, no se puede visualizar el comportamiento del pez ante el arte de pesca: cómo es que el pez queda atrapado en el arte, cómo es que operan los dispositivos de selección en redes, los dispositivos de desenganche en anzuelos (otra técnica de selectividad) o cómo es que un espécimen queda atrapado en una de las trampas o nasas; ya que la pantalla de una ecosonda solo muestra manchas y líneas representando la ubicación de los blancos.

Los equipos de detección acústica presentan un problema al querer determinar un blanco cerca al fondo del mar, este es la aparición de un reflejo del fondo en la pantalla lo que imposibilita la observación de recursos en estas zonas llamadas “zonas ciegas” en los sectores cercanos al fondo. Debido a este problema no se puede utilizar estos equipos para estudios de artes de pesca en donde el arte se encuentra sobre el fondo, como algunas redes y trampas. [24]

Se observa que con las estrategias y los recursos tecnológicos en uso el alcance de los estudios realizados sobre el impacto de las artes de pesca en el ecosistema marino es limitado, lo que conlleva a tener subestimaciones o sobreestimaciones de las especies objeto de captura en relación a recursos no objetivos. Además, se tiene poca información sobre el desempeño de los dispositivos selectores cuando se encuentran operando.

CAPÍTULO 2: FILMACIONES DE VIDEO SUBMARINO EN LOS ESTUDIOS DE ARTES DE PESCA PASIVOS.

2.1 Dispositivos para filmaciones submarinas

ROV (Vehículo Remotamente Operado):

Los ROV son robots submarinos conectados a un barco en la superficie por medio de un cable del cual reciben energía y las órdenes de control de movimiento desde un mando a distancia, y envían los datos de video al centro de control del barco.

Los ROVs tienen propulsores para poder desplazarse en cualquier dirección para poder acercarse a su blanco y enfocarlo. Son usados para exploraciones del fondo marino, para búsqueda de embarcaciones hundidas, para estudio de corales y ecosistemas marinos. Los precios de estos robots son bastante elevados, dependiendo de la profundidad máxima a la que llegan y las aplicaciones que puedan tener, su van desde los USD\$65,000 hasta cientos de miles de dólares. [5]

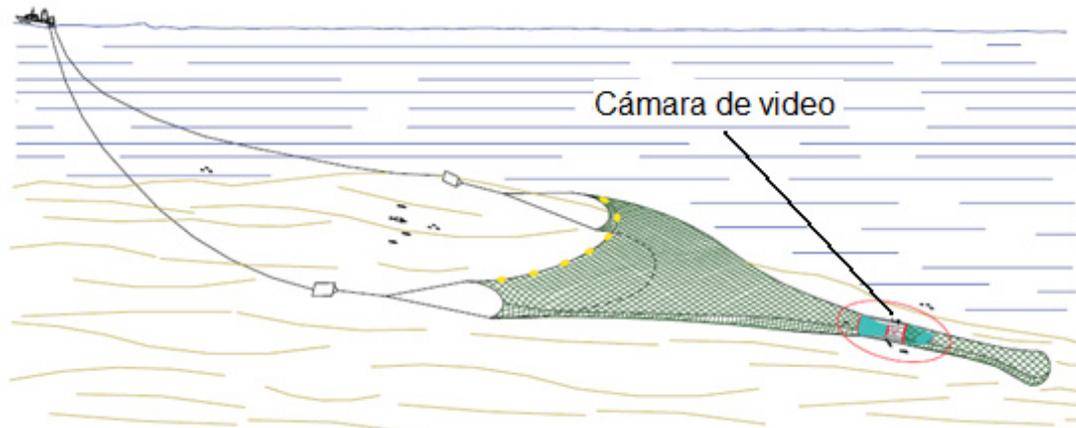
Cámaras de video subacuático autónomas:

Son cámaras de video insertadas en estructuras herméticas que se remolcan desde la embarcación o se fijan a las redes de pesca para filmar las incidencias. Las cámaras no tienen comunicación con ningún centro de control y la información se almacena en la misma cámara, además es alimentada por baterías.

Su uso en estudios de artes de pesca ha sido satisfactorio obteniendo buenos resultados en el estudio de artes de pesca y dispositivos selectores como el DEJUPA en redes de arrastre en Argentina y otros dispositivos en España.

Un ejemplo de la aplicación de este tipo de monitoreo se dio en 1998 cuando el INIDEP (Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero) en Argentina utilizó una cámara autónoma de video subacuática para apoyar la “Campaña H-03/99 de Selectividad de Merluza Común” mediante el uso de un dispositivo con una sola grilla para el escape de juveniles de peces en las redes de arrastre. Se colocó una cámara de video ubicada en la parte superior del interior del DEJUPA (dispositivo selector de peces juveniles). La cámara no contaba con cables, el video era almacenado en la misma cámara. La prueba se realizó a una profundidad de 125m sin luz artificial y a 4 nudos. La experiencia se realizó para un tipo de pesca

de arrastre (arte de pesca activo) y la cámara se ubicó en el copo de la red como se observa en la figura 2.1. [6]



FUENTE: INIDEP

Figura 2.1: Esquema de experiencia de cámara de video autónoma por parte del INIDEP.

AUV (Vehículo Submarino Autónomo)

Son robots que viajan debajo del mar y pueden llegar a grandes profundidades (6000m aprox.). Son usados por las empresas petroleras para hacer mapas del fondo marino y determinar las características del terreno antes de construir estructuras bajo el mar; los científicos también los usan para investigar el fondo marino. [21]

Los AUV, a diferencia de los ROV, no están unidos a una embarcación mediante cables; estas unidades son capaces de navegar por sí solas por zonas predeterminadas y permiten enviar información inalámbrica como su posición para ser recogido.

2.2 Sistema de monitoreo submarino por video

Para complementar los estudios realizados por el IMARPE se propone la aplicación de un sistema de monitoreo por video para proveer visualización directa del comportamiento de los peces que aporte mayor información para los investigadores. Esta información junto con lo obtenido de los sistemas de percepción remota, usados para los estudios de artes de pesca pasivos, permitirá la elaboración de informes sustentados con mayor evidencia además de poder realizar otros estudios antes no posibles (Figura 2.2).

El sistema de monitoreo debe ser capaz de capturar imágenes de la aplicación de las técnicas de pesca dentro del mar mientras se realiza el proceso de pesca, para lograr este propósito el dispositivo que vaya a realizar las grabaciones debe poder sumergirse y pasar inadvertido frente a los recursos marinos para no influir en su comportamiento, además de poder enfocar una zona a observar.

Un factor importante para la obtención de las imágenes es la cantidad de luz presente a las profundidades en donde se encuentra el arte de pesca, se debe tomar en consideración el uso de fuentes artificiales de luz previendo que no afecten mucho el comportamiento de los recursos marinos.

Las imágenes de video deben poder verse en tiempo real, además de ser almacenadas en formato digital para próximos análisis, con lo que se tendría información del desempeño de la red mientras está pescando y se tendría el archivo de video como documentación para su posterior uso.

Por último, es necesario recalcar la búsqueda de un diseño de bajo costo, fácil manejo y de alta resistencia para que pueda ser usado en un ambiente abierto con altos índices de elementos corrosivos como los encontrados en el mar y soportar las fuerzas originadas por la presión hidrostática debajo del mar.

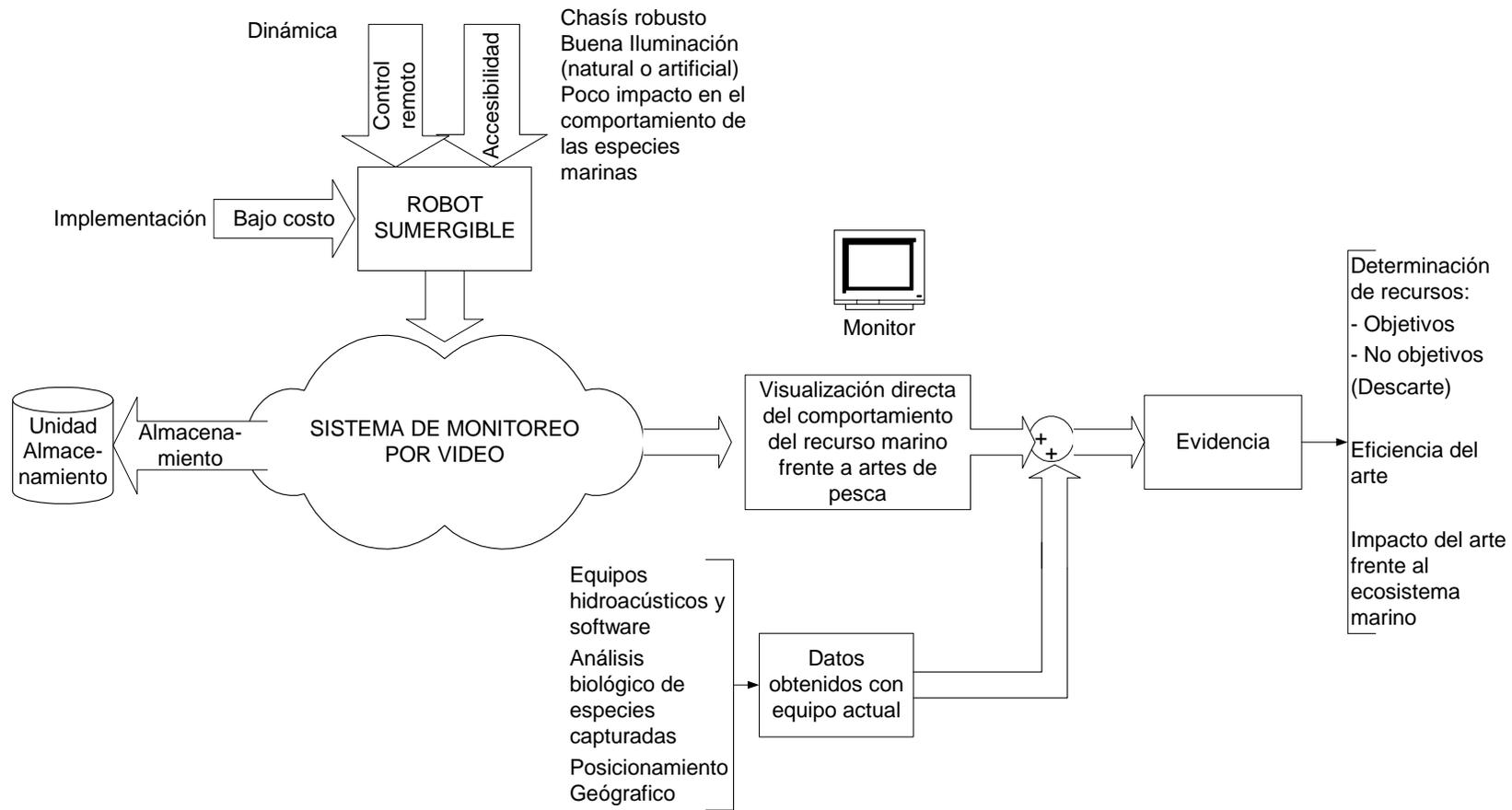


Figura 2.2: Aplicación de un sistema de monitoreo submarino como complemento a los estudios de artes de pesca pasivos

2.2.1 Estudios posibles mediante la utilización de un sistema de monitoreo submarino por video en los estudios de artes de pesca pasivos.

El sistema sería de gran ayuda para la investigación de artes de pesca pasivos del sector artesanal donde cada vez más se usan nuevas alternativas de pesca que muchas veces puede ser perjudicial para el equilibrio marino considerándose así como un arte de pesca ilegal.

El sistema permitiría la optimización de artes de pesca, pues se puede observar directamente cómo es llevada la faena de pesca en tiempo real. Se tendrían aplicaciones en:

- Estudio del comportamiento de las especies para la optimización de artes de pesca junto a equipos de percepción acústica. Se determinarían características como velocidad, desplazamiento vertical, horario de alimentación y cómo se comportan al comer los recursos.
- Estudio del impacto de artes de pesca agresivas como el uso de dinamita y zumbadores: Se determinaría el efecto antes y durante la faena de pesca prestando atención en la ausencia de peces.
- Optimización de redes de enmalle para aumentar su selectividad: Pruebas de redes de enmalle con diferentes coeficientes de armado (diferente área de luz de la red).
- Estudio de nasas y trampas: El sistema de monitoreo por video captaría el momento en que el espécimen es atrapado en la trampa pudiéndose ver como es atraído hacia ella.

2.3 Consideraciones de diseño

Carcasa:

Se debe diseñar la carcasa donde irá insertada la cámara y las tarjetas electrónicas considerando la presión hidrostática ejercida por la columna de agua de mar. Además, debe ser anticorrosivo debido al contacto permanente con el agua de mar. La carcasa

debe tener un lado transparente para que la cámara pueda filmar sin problemas además de tener salidas de cable herméticos hacia la superficie. La forma cilíndrica parece ser la más adecuada y simple para resistir mejor la presión ya que presenta una forma simétrica con pocas esquinas.

Medio de comunicación:

Se necesita una transmisión de datos constante, se propone que sea un medio cableado por donde se transmitan los datos de video, además de aprovechar éste para la alimentación del equipo submarino. El cable debe de un calibre adecuado para disminuir caídas de tensión que se originen por la longitud del cable (100m) además de soportar las condiciones de estar sumergido en el mar.

Orientación:

Para poder observar el comportamiento de los peces ante los artes de pesca red de pesca es necesario el movimiento de la cámara (giro) para enfocar, lo que implica el uso de motores y controladores. La posición del dispositivo en el mar va a ser guiada por el arte de pesca a observar. Los motores que estén dentro del chasis hermético no son afectados por la presión hidrostática, así que podrán ser pequeños, lo que mantendrán un bajo presupuesto.

Iluminación:

Muchos de los dispositivos de video submarino utilizan luz artificial, es conveniente utilizar algún tipo de iluminación para visualizar a los peces a la profundidad de la red, que no afecte al comportamiento de los peces frente al arte de pesca.

Cámara de video:

La cámara de video debe ser pequeña para que pueda colocarse en el chasis sobre el soporte que realice el movimiento. Además debe tener una buena sensibilidad de luz (lo usado en la mayoría de ROVs es 1 Lux @ f1.4). [5] Además, la salida deberá elegirse según un estándar de fácil acondicionamiento de señal para transmitir el video.

Control remoto:

El diseño del control remoto debe ser de fácil manejo por los operarios en donde se pueda tener el manejo de todas las capacidades del dispositivo submarino.

2.4 Objetivos

El objetivo de la tesis es diseñar un sistema de monitoreo submarino de bajo costo que conste de lo siguiente: monitor, dispositivo sumergible hasta 100m de profundidad, cámara de video, control de orientación de la cámara (ángulo de elevación y ángulo de giro), mando de control y cable submarino; con la finalidad de obtener imágenes de video submarino del comportamiento de los peces ante artes de pesca pasivos.

Objetivos secundarios:

1. Demostrar las limitaciones del sistema actual, en cuanto a la observación del comportamiento de los recursos hidrobiológicos, y plantear el monitoreo por video submarino como complemento para las investigaciones que se realizan.
2. Lograr una transmisión de datos buena bajo los problemas de longitud del cable y el medio marino:
 - Seleccionar el cable submarino para la transmisión de instrucciones, recepción de video y alimentación de componentes.
 - Diseñar el circuito de transmisión de instrucciones.
3. Diseñar un sistema de control y mando para la orientación de la cámara: control on/off para el movimiento de giro izquierda/derecha y ángulo de elevación/depresión (barrido vertical y horizontal), además del control de la iluminación.
4. Seleccionar la cámara de video considerando aspectos de tamaño y peso con relación al chasis, además de características de resolución, sensibilidad a la luz y formato de video.
5. Diseñar una sistema de iluminación artificial adecuado, con mínimo impacto sobre los recursos hidrobiológicos
6. Diseñar un mando de control de fácil uso para el control de la orientación de la cámara.

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO

3.1 Principios de diseño

Para la solución del problema se propone el diseño de un sistema de monitoreo submarino por video, que permita tener filmaciones hasta una profundidad de 100m por debajo del nivel del mar; que consta, principalmente, de un dispositivo sumergible y una estación de control.

El dispositivo sumergible contiene una cámara de video adosada a un sistema mecatrónico para orientarla en cuanto al ángulo de inclinación, como al de rotación. Además, cuenta con iluminación infrarroja, para no ahuyentar a los peces estudiados según lo recomendado por los especialistas del IMARPE debido a la visión tetracrómica, con la que cuentan muchos de los tipos de peces, con lo que su rango se ve extendido hacia colores ultravioletas [8]. Todos los elementos se encuentran contenidos en un armazón hermético que soporta la presión hidrostática del mar hasta la profundidad de 100m, lo cual se debe tener en cuenta para el diseño del chasis. Dentro de este armazón también se encuentran las tarjetas electrónicas y los motores que permiten el correcto funcionamiento del dispositivo.

Por otro lado, se tiene la estación de control que es en donde se puede observar en tiempo real lo que está filmando la cámara y se controla la orientación de la misma; para ello se cuenta con un monitor y un mando.

La transmisión de instrucciones desde el mando de control se realiza en forma digital a través de modulación de frecuencia en forma unidireccional: estación – dispositivo. La cámara de video transmite señal de video analógico hacia la estación. Las señales viajan a través de un cable umbilical con los conductores apropiados para una correcta comunicación según el tipo de señal a transmitir.

El diseño electrónico completo se presenta al final del capítulo en la figura 3.44 en forma de diagrama de bloques y conexiones, además el diseño esquemático total así como las tarjetas de circuito impreso se encuentran en el ANEXO I.

Los principios del diseño se pueden observar de forma esquemática en la figura 3.1:

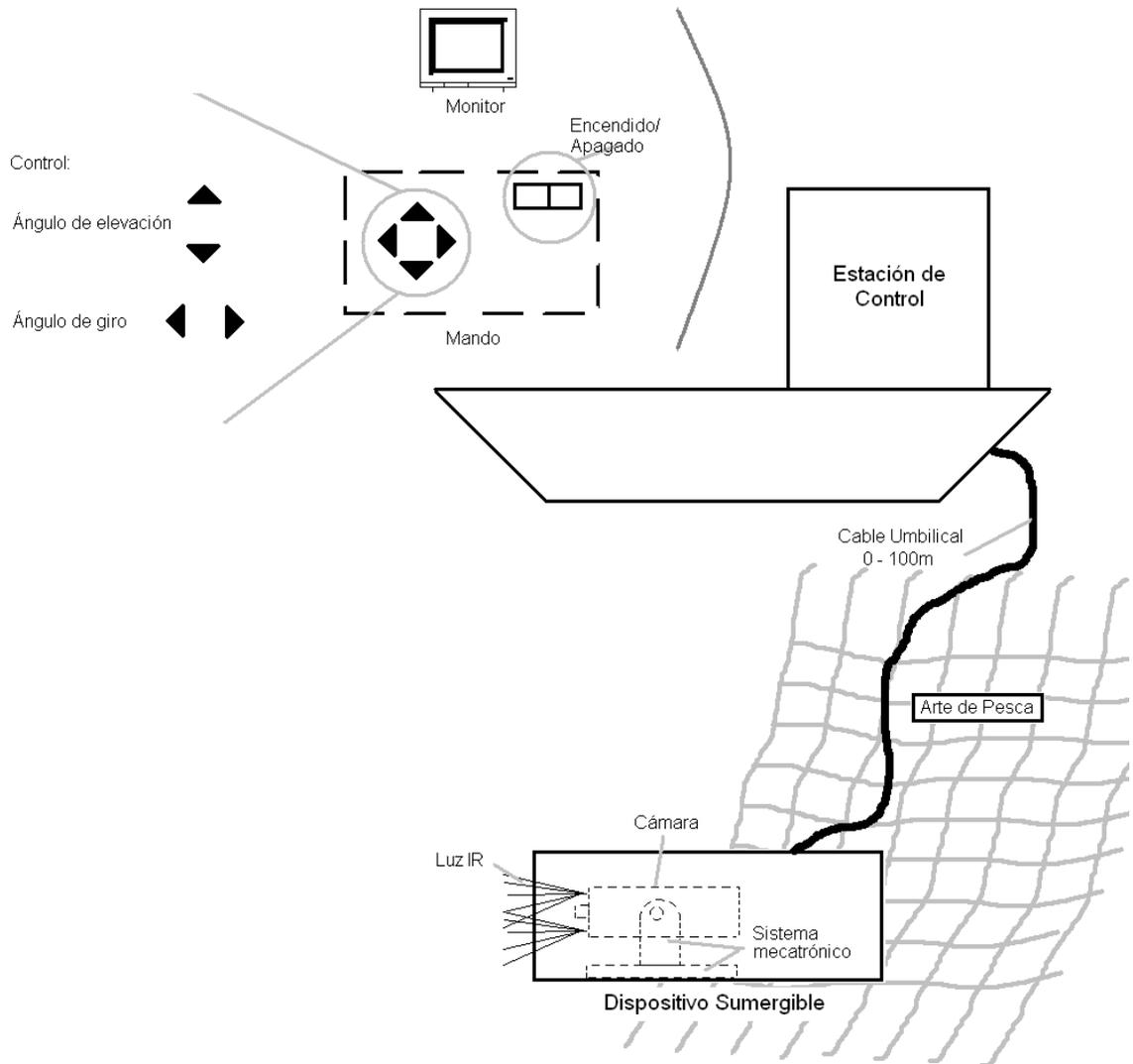


Figura 3.1: Esquema simplificado de los principios de diseño

A lo largo del presente capítulo se muestra el desarrollo del diseño tomando en cuenta los requerimientos y las consideraciones necesarias para el desarrollo de este sistema de monitoreo de bajo costo.

3.2 Diagrama de bloques

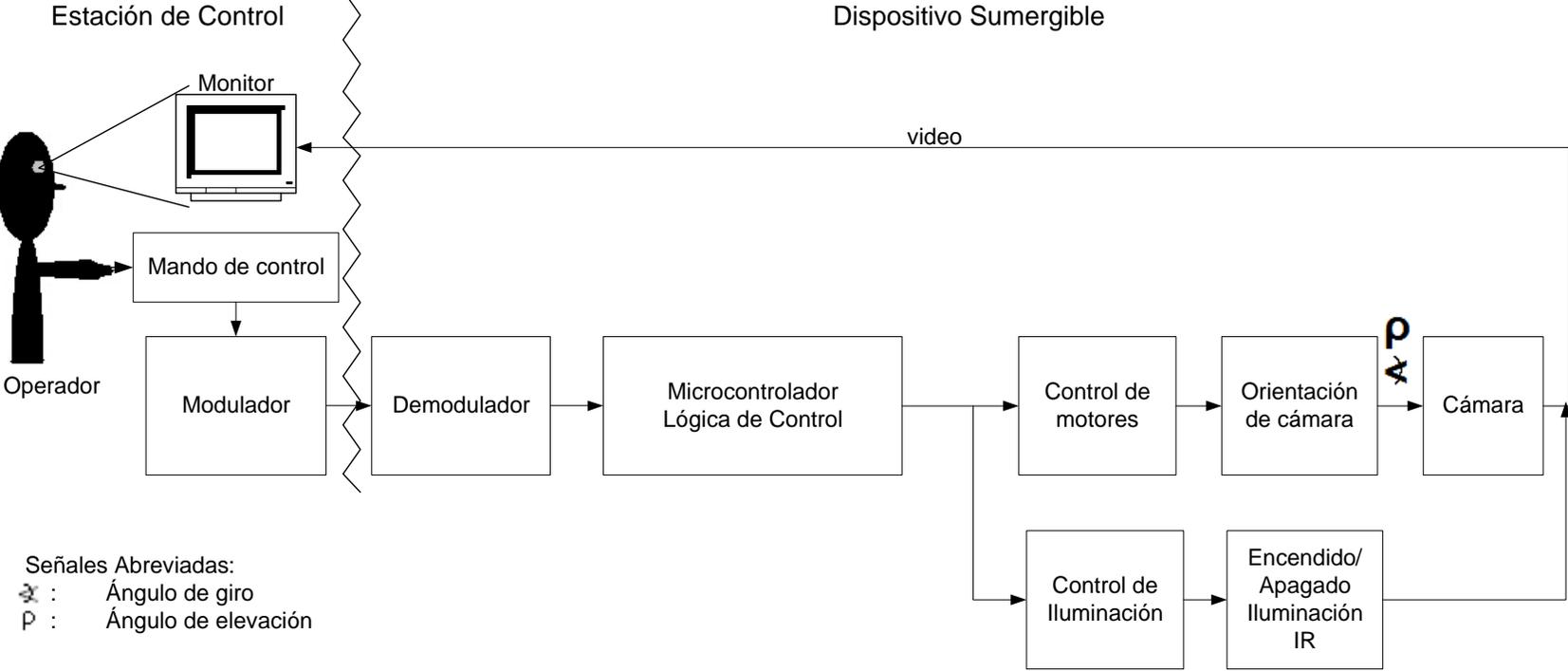


Figura 3.2: Diagrama de Bloques de Sistema de Monitoreo Submarino

Al inicio, el dispositivo con la cámara es sumergido en el mar junto con el arte de pesca a estudiar hasta una profundidad máxima de 100m.

El investigador que opera el sistema puede ver en tiempo real lo filmado por la cámara en un monitor en la estación de control. Además, puede controlar la orientación de la cámara mediante un mando de control.

El mando de control envía señales digitales según las instrucciones a enviar, las cuales son codificadas y moduladas en una sola señal.

Ésta, es transmitida mediante uno de los conductores del cable umbilical hacia el dispositivo sumergible en donde es recibida por un demodulador para que finalmente la señal pueda ser decodificada.

Un microcontrolador procesa la señal y, en base a la lógica de control, envía señales de control para el movimiento de los motores que orientan a la cámara. Además, se toma en consideración que la cámara sólo gire dentro de los rangos de ángulo limitado por el diseño del armazón hermético.

Las señales de control enviadas por el microcontrolador llegan a una etapa de potencia para el control de 2 motores que se encargarán de la orientación de la cámara y, el control de la iluminación infrarroja. De esta forma la cámara cambia su orientación y filma otras zonas que son mostradas en el monitor en la estación de control donde el operario decide si cambiar o no nuevamente la orientación.

En las siguientes secciones de éste capítulo se presentan la selección y el diseño electrónico de los las partes que conforman el sistema de monitoreo que responden a los principios anteriores. Cabe resaltar que según mediciones obtenidas de los informes del IMARPE se tiene que la temperatura del mar varía entre los 13°C y 25°C dependiendo de la zona y la profundidad [10], este rango de temperaturas se encuentra incluido entre las temperaturas de ambiente aceptables de los circuitos electrónicos en los que se tiene como referencia una temperatura ambiente de 25°C.

3.3 Transmisión y recepción de instrucciones:

Para el diseño de la parte de transmisión y recepción de instrucciones se parte de la premisa de que las instrucciones para la orientación de la cámara son enviados desde la estación de control, hasta el dispositivo submarino que se encuentra a una distancia máxima de 100m. Se tienen cuatro instrucciones para la orientación de la cámara (elevación, depresión, giro antihorario y giro horario); una, para el encendido/apagado de la iluminación y un estado que indique que no se realiza ninguna acción.

En base a esta información se pueden determinar dos puntos de partida para el diseño del sistema de comunicación:

- Transmisión de 6 instrucciones a través de un canal físico.
- La señal transmitida a través del canal debe ser inteligible por el receptor a pesar de efectos de atenuación por la longitud del cable y ruido.

3.3.1 Tipo de transmisión de instrucciones

Sin duda, uno de los principales elementos del sistema es el cable que une la estación de control con el dispositivo sumergible. Como se verá más adelante, en el punto 3.8 a través de él no sólo se transmiten las órdenes de la orientación de la cámara, sino también, la transmisión de video hacia la estación y la alimentación de los elementos. Además, debe tener aislamientos especiales para soportar las características del medio marino y disminuir el ruido. Es por ello que este elemento tiene altos costos, por lo que es necesario reducir al menor número de cables para la transmisión de las señales requeridas.

Para transmitir los 6 comandos para la orientación se tienen las siguientes posibles soluciones:

- Transmisión Directa.
- Modulación por Amplitud
- Modulación por Frecuencia.
- Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK: Amplitude Shift Keying)

Transmisión Directa:

Se codifican los comandos en bits y se transmite cada bit por un cable. De esta forma se tendría:

6 instrucciones → 3 bits → 3 cables

Utilizando este modo se estarían desperdiciando 2 comandos, ya que con 3 bits se pueden codificar 8 instrucciones y solo se estarían usando 6. Además se utilizan 3 cables lo que encarece el diseño.

En cuanto a la atenuación debido a la longitud del cable, es de suponerse que tendría que haber un circuito para reconstruir la señal con lo que la señal llegaría sin problemas.

Modulación por Amplitud (AM):

En este tipo de modulación a cada comando se le asigna un nivel de voltaje distinto y se transmiten a través de un mismo cable.

Para este caso la atenuación de la señal sería un problema ya que varía el nivel de voltaje establecido que debería llegar al destino. Para reconocer la señal se tienen que hacer cálculos bastante aproximados sobre las pérdidas en el cable o hacer calibraciones con el equipo ya implementado. [13]

Modulación por Frecuencia (FM):

En este caso la identificación de cada comando se da por valores distintos de frecuencia y se transmiten a través de un mismo cable.

Este tipo de transmisión es más robusto frente a las atenuaciones, ya que la información se encuentra en la frecuencia. [13]

Modulación ASK:

La información es codificada en forma binaria y enviada de manera serial a través de cambios en frecuencia en una sola señal.

Este tipo de modulación utiliza la modulación en frecuencia por lo que también es robusta frente a las atenuaciones. [26]

En la siguiente tabla se resumen algunas características importantes para la elección:

Tabla 3.1: Cuadro comparativo entre opciones para la transmisión de instrucciones.

Ítem de comparación:	Transmisión			
	Directa	AM	FM	ASK
Número de cables	3	1	1	1
Inmunidad al ruido	Alta	Baja	Alta	Alta
Inmunidad a atenuaciones	Alta	Baja	Alta	Alta
Complejidad	Baja	Media	Media	Alta
Costo	Bajo	Bajo	Medio	Medio

En base al cuadro comparativo se elige la transmisión ASK para el presente diseño por su bajo número de cables a utilizar, su alta inmunidad ante atenuaciones y ruido. Además al sólo reconocer una frecuencia facilita la recepción de la instrucción.

Se desea tener una comunicación sencilla, ya que la información que se transmite es repetitiva y no se necesitan transmitir grandes cantidades de datos sino sólo instrucciones a petición del operario.

Configuración de modulación ASK:

Se establece una codificación RZ (Return to Zero), la que se obtiene fácilmente con un circuito integrado que convierta de entradas en paralelo a una sola salida serial, mayormente estos circuitos son de 8 bits, de los cuales se utiliza el primer bit como bit de inicio para una transmisión asíncrona, la cual evita problemas de sincronización y se puede restablecer la comunicación en caso la transmisión sea interrumpida. [26]

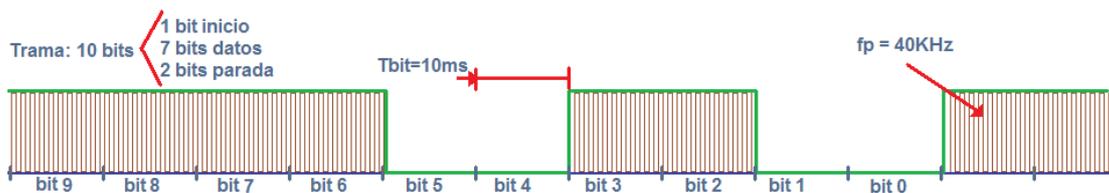
La frecuencia de la señal portadora se escoge según las recomendaciones del proveedor del cable escogido en la sección 3.8 que especifica características de impedancia para la transmisión para frecuencias entre los 20 y 60Khz. Dentro de estos rangos de frecuencia la capacitancia es de 60nF/km, la inductancia de 0.4mH/Km y la resistencia oscila entre los 140 – 105ohms. Se escoge la frecuencia de la portadora de 40KHz, dentro de los valores del fabricante donde los valores de impedancia son bajos y no alteran la transmisión.

Se asocia un bit de transmisión para cada tipo de orientación, de manera que los movimientos de elevación/depresión y derecha/izquierda son independientes; es decir, se puede enviar la instrucción de elevación y derecha, al mover la palanca hacia la esquina superior derecha del mando, para lo que se envían el bit 2 y 3 en alta como se muestra en la figura 3.3 (b).

Debido a que las instrucciones son enviadas a voluntad de un operario humano, se considera suficiente enviar 10 tramas de instrucciones por segundo. Cada trama consta con un bit de inicio; siete, de datos, de los cuales se utilizan 5 para la presente aplicación y dos bits de parada. De esta forma las tramas constan de 10 bits y el tiempo de bit resulta 10ms.

Instrucción	Posición bit
Bit de inicio	0
C. Izquierda	1
C. Derecha	2
C. Arriba	3
C. Abajo	4
Iluminación	5

(a)



(b)

Figura 3.3: (a) Tabla de asignación de bits según instrucciones.
 (b) Características de transmisión

3.3.2 Componentes para la transmisión y recepción de instrucciones

Como se ha definido que la transmisión va a ser por modulación en frecuencia es necesario escoger los circuitos electrónicos que se encarguen de la generación de la señal a enviar. Además se tiene que diseñar tomando en cuenta la interacción del operario con el mando de control para enviar dichos comandos.

Mando de control:

Para una fácil interacción entre el operario y el sistema se escoge una palanca tipo arcade (Figura 3.4) debido a la facilidad de operación y a la robustez de la palanca para soportar movimientos bruscos y resistir mejor a entornos abiertos como los que se pueden encontrar en una embarcación.



Figura 3.4: Palanca tipo arcade

FUENTE: <http://www.ryuuko.cl/arcade/470/palancas-de-arcade-japonesas/>

La palanca permite combinar movimientos como arriba-derecha para poder comandar la orientación de la cámara con lo que se provee una mayor versatilidad al operario.

Componentes electrónicos para generar la señal a transmitir:

De la figura 3.3 (b) se puede observar que son necesarias 3 señales de reloj:

- Reloj de 40KHz para la portadora
- Reloj de 100Hz para obtener el Tbit=10ms
- Reloj de 10Hz para poder transmitir 10 instrucciones por segundo

Además es necesario un conversor paralelo/serial para transmitir un bit de datos cada 10ms.

Los osciladores de 40KHz y 100Hz no necesitan estar sincronizados; ya que uno fija la frecuencia de la portadora y el otro el tiempo de bit de transmisión. Debido a esto, estas señales pueden generarse con 2 osciladores independientes. Se prefiere utilizar osciladores controlados por voltaje (VCO) al uso de temporizadores debido a su mayor exactitud y facilidad de calibración.

Se decide utilizar el VCO del PLL HEF 4046B de Philips de propósito general que tiene como una de sus aplicaciones, el generar señales cuadradas. Asimismo presenta una excelente linealidad, según la hoja de datos del integrado (ANEXO II), tiene un pin de habilitación y la salida no tiene offset lo cual lo hace ideal para esta aplicación en vez de VCOs de propósitos general, como el LM566, que no posee éstas características.[22] Especificaciones adicionales se muestran en la tabla:

Tabla 3.2: Características del VCO del PLL HEF4046B

Parámetro	Valor
Alimentación	5v – 15v
Factor de trabajo típico a la salida del VCO	50 %
Máxima frecuencia de trabajo	1MHz @5V

Por otro lado, la señal de reloj de 10Hz debe estar sincronizada con la de 100Hz para que se puedan tener ciclos repetitivos de tramas de 10 bits, para esto se utiliza un divisor de frecuencia de 10 a 1 y un temporizador de precisión para controlar el ancho

del pulso de la señal de 10Hz; que, como se amplía más adelante en las características del conversor paralelo/serial, es importante que el ancho de pulso en baja sea menor al reloj del conversor.

Se elige el divisor de frecuencia SN74LS56 de Texas Instrument (Hoja de datos en ANEXO III) que permite la división de 10 a 1 hasta frecuencias de reloj de 25MHz, valor superior a los 100Hz de la presente aplicación.

El temporizador de precisión seleccionado es el MC74HC4538A de On Semiconductor (ANEXO IV), el cual, es un multivibrador monoestable que permite ser disparado por flancos de subida o de bajada, con lo que es posible la sincronización de esta señal con el reloj de 100Hz mediante los pulsos generados por el divisor de frecuencia. Además permite variar el ciclo de trabajo de la señal al requerido y se tienen dos salidas (una es la negada de la otra) lo que proporciona mayor flexibilidad en el diseño. Es necesario tener un pulso en baja un tiempo menor que el del reloj de 100Hz, es decir menor a 10ms, para que se transmitan los bits en los tiempos correctos. Ya que el conversor paralelo serial inicia la conversión con un pulso de inicio, y transmite cada bit en cada ciclo de reloj (en este caso los 100Hz).

Los osciladores anteriores sirven para obtener la señal a transmitir a partir de un conversor paralelo-serial de propósito general como el DM74165 de National Semiconductor de 8 bits, que además, permite elegir un nivel para cuando termina la transmisión y tiene salidas complementarias (ANEXO V).

En la figura 3.5 se aprecia el funcionamiento completo del circuito que genera las señales a transmitir. Se observan las señales temporizadas que ingresan al conversor, lo que permite transmitir continuamente la posición de la palanca de mando. La señal de 100Hz es la que comanda la salida de los bits en forma serial y, la señal de 10Hz es la que reinicia la transmisión de los datos del estado de la palanca de mando, ubicada en la estación de control. La señal serial modula, al habilitar y deshabilitar al VCO, una portadora de 40KHz la cuál es finalmente la señal a transmitir. De ésta forma es como se envían las instrucciones para gobernar los giros de la cámara.

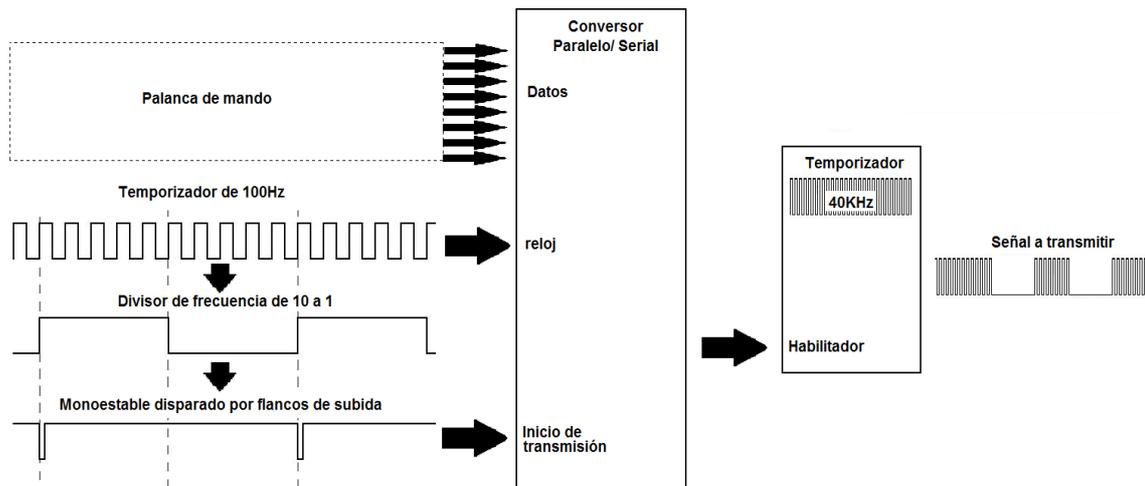


Figura 3.5: Esquema de funcionamiento de la modulación de la señal a transmitir.

Circuito integrado para la recepción de instrucciones

La señal llega al dispositivo sumergible con una amplitud menor a la del inicio y con ruido debido al recorrido de una trayectoria de 100m por cable.

Se utiliza el PLL HEF4046B, que es un seguidor por enganche de fase de propósito general, que reconstruye la señal de entrada y genera un voltaje proporcional a la frecuencia. El circuito actuará como un detector de tonos, otra de las aplicaciones de este integrado, del cual se obtendrá un valor cercano a los 5VDC en caso de detectar la señal deseada (los 40KHz) y 0VDC en caso contrario.

Por último, el voltaje que indica que se recibió la frecuencia correcta pasa por un opamp comparador para establecer el nivel alto cuando se da este caso. Se utiliza el opamp LM358 de National Semiconductor, el cual es de alimentación asimétrica y de bajo consumo de potencia como se observa en su hoja de datos (Anexo VI).

3.4 Cámara de video y orientación

La cámara de video va a filmar la situación del arte de pesca y la interacción entre éste y los recursos pesqueros, toda esta acción ocurre en el ámbito submarino hasta una profundidad de 100m. En estas condiciones la iluminación es pobre debido a la turbidez del mar producto de los microorganismos y las partículas inorgánicas en suspensión. Es por ello que se considera para la elección de la cámara de video la sensibilidad a la luz

y la resolución de la misma. Además, como se extiende en el punto 3.4.2, se utiliza iluminación artificial del tipo infrarroja con lo que se añade otro requisito a ser considerado para la elección de la cámara.

Otro punto importante es la transmisión de video y el tipo de cable que se utiliza. Hay que recordar que la estación de monitoreo se encuentra a 100m de distancia de la cámara bajo el agua. Además, se requiere que el tipo de video pueda ser visto en un monitor y grabarse.

Por otro lado, el dispositivo sumergible cuenta con un sistema mecatrónico para la orientación de la cámara. La cámara podrá girar dentro de un rango determinado a una velocidad moderada para su correcto control.

A lo largo de esta sección se desarrollará la elección de la cámara de video junto al diseño del sistema mecatrónico para su movimiento; así como, la elección de los motores para la orientación y el control electrónico de estos.

3.4.1 Selección de cámara de video

Para el proceso de selección de la cámara de video es necesario establecer algunas definiciones sobre sus características principales y otras, sobre las condiciones del medio de trabajo. De esta forma se establecen 3 definiciones antes de obtener las opciones de cámaras a escoger, estas son:

- Sensor de la cámara
- Transmisión de video
- Turbidez del mar peruano

Sensor de la cámara:

El sensor de una cámara digital crea una imagen a partir de la cantidad de luz que ingresa. Es una matriz de celdas fotosensibles alineadas que envían una señal eléctrica según la cantidad de luz que reciben. Para determinar los colores se colocan filtros RGB a los sensores con la finalidad de capturar la intensidad de luz de los colores: rojo, verde y azul para luego reproducir la imagen.

Las cámaras digitales que hay en el mercado presentan dos tipos de sensores, los cuales se comparan en la tabla siguiente:

Tabla 3.3: Cuadro comparativo entre tecnología CCD y CMOS para cámaras digitales

CCD	CMOS
Mayor sensibilidad a la luz	Menor sensibilidad a la luz
Procesamiento de la señal se lleva a cabo fuera de los sensores. Se aprovecha mejor el espacio y la tecnología de procesamiento.	Gran parte del procesamiento (amplificación, conversión A/D, etc.) se realizan dentro del sensor por lo que hay menos espacio para los fotodiodos.
	Mayor ruido
Respuesta uniforme: las celdas vecinas sometidas a una misma intensidad de luz presentan señales casi iguales.	Se está mejorando la respuesta de estos sensores.
Mayor calidad	La calidad está mejorando
Velocidad de captura ligeramente menor.	Alta velocidad de captura de imagen
Mayor precio	Menor precio
Cámaras profesionales – semiprofesionales	Aficionados, webcams
Mayor consumo de energía	Bajo consumo de energía alrededor de 30 – 50Mw
Toda la información es transmitida a través de celdas vecinas	Transmisión de información de cada celda
Efecto Blooming: contaminación entre píxeles en casos de sobre-exposición	No efecto blooming

FUENTE: MOLANARI [15]

En base a las características antes mencionadas y los requerimientos del sistema de monitoreo es conveniente utilizar una cámara con sensor CCD, ya que presenta mayor calidad, menor ruido, mejor respuesta y mejor sensibilidad a la luz, factores importantes a considerar debido a la poca cantidad de luz y turbidez del mar.

Transmisión de video:

Se necesita que la transmisión de video sea continua y en tiempo real. Para ello se emplea una cámara de circuito cerrado con el tipo de sensor CCD. Este tipo de cámaras está diseñado precisamente para el monitoreo continuo y está presente en el mercado nacional.

El formato de transmisión de video más utilizado por las cámaras de vigilancia de circuito cerrado es NTSC/PAL, el mismo utilizado para la transmisión de televisión. Además se puede transmitir sin necesidad de amplificadores ni retransmisores por

cable coaxial rc-56 hasta una distancia de 300m, como informan los técnicos de la empresa dedicada a circuitos cerrados: VALCAZAR INGENIEROS.

En el Perú, el formato establecido es el NTSC y sus características técnicas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.4: Características técnicas del formato NTSC.

Característica	Descripción
Cuadros por Segundo	29.97fps \cong 30 fps
Tipo de Cuadros	Entrelazados: Elimina parpadeo. Se muestran cuadros de líneas pares e impares cada uno con una frecuencia de 30 cuadros por segundo.
Frecuencia de Refresco de Campo	60Hz
Número de líneas por cuadro	525 de las cuales 486 generan la imagen visible
Frecuencia Horizontal	15.734 kHz
Frecuencia Vertical	60 Hz
Frecuencia de Sub-portadora de Color	3.579545 MHz
Ancho de Banda de video	4.2 MHz
Codificación de color	Luminancia- Crominancia: Se envía la información de la cantidad de luz recibida (blanco/negro) en un ancho de banda correspondiente a la luminancia y, la información sobre el color en la crominancia.

La tabla anterior resume las características generales del formato NTSC aplicados más a lo que es televisión, para las cámaras algunos valores pueden variar según la calidad de la cámara como se verá en las opciones a escoger.[15]

Turbidez del mar peruano:

El mar peruano es rico en plancton y microorganismos que se reflejan en la turbidez del mar, junto con algas y otras partículas suspendidas. La turbidez dificulta la visibilidad y atenúa la luz del sol; además, varía mucho de acuerdo a la profundidad, distancia hacia el fondo, movimiento, etc. En el caso de artes de pesca pasivos hay poco movimiento por lo que la mayor parte de la turbidez será la propia del mar y no de la arena del fondo. La turbidez se mide en NTU (Unidades Nefelométricas de turbidez), en la figura 3.6 se muestran algunos ejemplos de valores de turbidez con sus muestras respectivas:

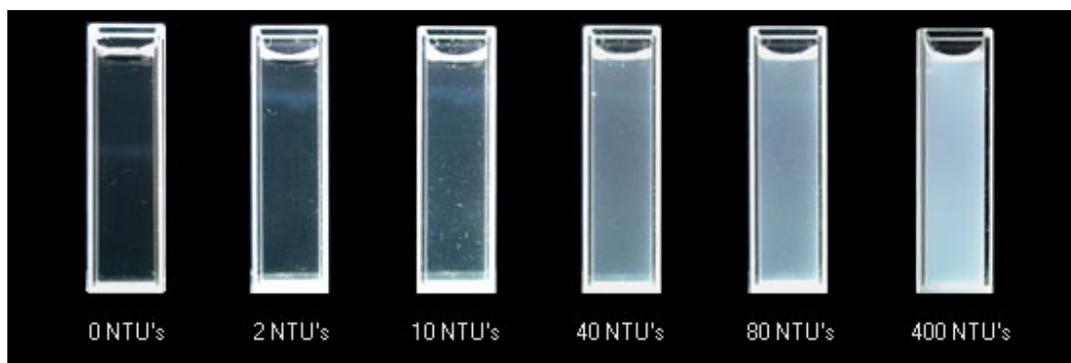


Figura 3.6: Estándares de turbidez. Muestras de turbidez del agua

Fuente: <http://waterontheweb.org/under/waterquality/turbidity.html>

Se toma como valor referencial los datos obtenidos según un informe del IMARPE realizado en Casma-Chimbote (IMARPE, 2005) se tienen los datos de turbidez que se muestran en la tabla 3.5. [9]

Tabla 3.5: Valores de Turbidez para Casma

Profundidad		Turbidez (NTU)
Superficie	Promedio	0,6
	Mínimo	0,3
	Máximo	3,1
A 5m	Promedio	0,5
	Mínimo	0,4
	Máximo	0,9
Fondo (20- 70m)	Promedio	0,8
	Mínimo	0,4
	Máximo	3,6

FUENTE: IMARPE

Opciones a escoger:

Como se explicó en los puntos anteriores, la cámara a escoger debe ser una que transmita video en formato NTSC y que cuente con sensor CCD. En el mercado existe un gran número de cámaras de seguridad o circuito cerrado que cumplen con las especificaciones anteriores y ofrecen distintas características convenientes para la presente aplicación. Se tienen cámaras con iluminación infrarroja incorporada, con opción para acoplar diversos tipos de lentes, de tamaños pequeños, tipo domo, etc. En cuanto a la resolución de la cámara, se encuentran cámaras de buena resolución (mayor a 420 líneas de TV) en todos los tipos. En el Anexo VII se encuentra una tabla con distintos modelos de cámaras con sus especificaciones más importantes.

Los principales parámetros que se tomaron en cuenta para la selección de la cámara para esta aplicación fueron:

- Resolución
- Sensibilidad a la luz
- Sensibilidad a la iluminación infrarroja
- Dimensiones

Estos parámetros se explican de forma detallada juntos a los valores para éstos, según la cámara elegida en la siguiente sección.

Cámara elegida y sus características

Se elige el modelo EQ550 de la marca EverFocus, que es una cámara para circuito cerrado con transmisión de video en formato NTSC. No presenta iluminación infrarroja propia como algunas de las presentadas en el Anexo VII, pero sí es sensible a ésta y se le pueden agregar módulos de iluminación para obtenerla. La elección de esta cámara se debe ciertas características que la hacen superior a las que vienen con iluminación infrarroja, como tener una mejor resolución, posibilidad de cambiar de lente, posibilidad de cambiar el ángulo de visión (lentes varifocales), tener mejor procesamiento de imágenes y mejoras de imagen que no tienen las cámaras con iluminación infrarroja. La hoja de datos de la cámara seleccionada se encuentra en el Anexo VIII.

La EQ550 cuenta con un sensor CCD Sony de 1/3". Tiene una resolución horizontal de 560 líneas de TV y presenta una gran sensibilidad a la luz (0.002 lux con la opción SEN-UP X 128 activa), además presenta un filtro infrarrojos para mejorar la imagen, en caso se cuente con una iluminación adecuada, que se puede remover al momento de utilizar la luz infrarroja.

Resolución: Es el grado de detalle que puede contener una imagen digital, depende del número de elementos fotosensibles contenidos en el sensor. Para este caso el sensor de la marca Sony mide 1/3" (la medida es la longitud diagonal del sensor), esta cámara logra obtener 560 líneas de TV gracias a una etapa de procesamiento digital de imágenes integrado a la cámara.

Sensibilidad a la luz: Es la cantidad de luz, medida en Lux, que la cámara necesita como mínimo para lograr una señal de video estándar, depende de la apertura del lente y del tipo de disparador que se tenga (dispositivo que se encarga de cerrar o abrir el obturador de la cámara). La cámara regula la apertura del lente así como la velocidad de disparo de forma automática para mejorar la calidad de las imágenes según la cantidad de luz. La cámara presenta una sensibilidad de 0.002Lux con la opción SEN-UP X 128 habilitada, 0.25Lux a una apertura de F=1.2 y 0 Lux con luz infrarroja.

Dimensiones: Se requiere una cámara pequeña ya que al momento de girar podría necesitar mucho espacio. La EQ550 mide 56mm (ancho) x 68mm (alto) x 101mm (profundidad) lo que permite tener un chasis hermético de tamaño moderado como se puede observar en el punto 3.4.5.

Características especiales:

- Existen varios tipos de lentes que se pueden colocar en la cámara que permiten cambiar el ángulo de visión.
- Cuenta con Autoiris que permite regular automáticamente la cantidad de luz que entra al sensor.
- Permite configuración remota a través de puerto serial para arreglos de zoom, brillo, gama de colores, etc.

Dentro de los lentes que se ofrecen en el mercado peruano se escoge el que permite mayor regulación del ángulo de visión que es el lente varifocal ST-0660A A/I 6-60 mm que ofrecen los mismos vendedores de la cámara.

A continuación se muestra la tabla 3.6 (a) con las características más importantes de la cámara y la tabla 3.6 (b), con las del lente seleccionado, así como el modelo que se utilizó para el diseño mecánico en la figura 3.7.

Tabla 3.6: Especificaciones técnicas de la cámara EQ550 y el lente ST-0660A

Cámara EQ550



Chip	CCD Sony 1/3" interline transfer
Elementos de imagen	768 x 494 NTSC
Sensibilidad	0.002 lux, 0.25 lux a F1.2, 0 lux con LEDs IR
Nivel de ruido	sobre los 50 dB
Salida de video	1.0 Vp-p, 75 ohmios
Dimensiones	5.6 x 6.8 x 10.1 Cm
Peso	400g
Alimentación	DC 12V 310mA; AC24V 300mA

(a)

Lente ST-0660A



Peso	200 gr
Longitud Focal	6-60mm
Apertura Focal	1.4
Campo de vision Horizontal	50-6°
Iris	Auto

(b)

FUENTE: Hoja de datos EQ550 de EverFocus (Anexo VIII)

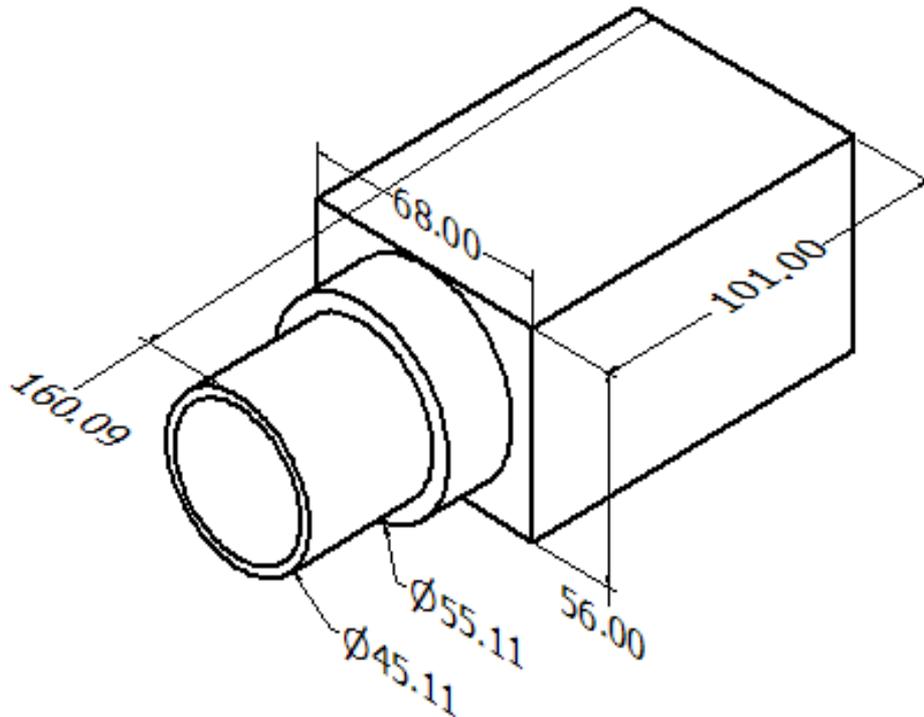


Figura 3.7: Modelo de la cámara EQ550 y lente ST-0660A.

3.4.2 Circuito de Iluminación

En vista de estos resultados de turbidez y la poca cantidad de luz que puede haber en el mar, se considera apropiado contar con un sistema de iluminación para mejorar las filmaciones. El tipo de iluminación que se prefiere es la infrarroja, para no alterar el comportamiento de los peces, ya que esta luz no es visible para la mayoría de especies marinas [7]. A pesar de la complejidad del estudio de la visión en los peces, por su composición tetracónica [8] y las variaciones que se tienen por la diversidad de especies, se tienen estudios de sensibilidad a la luz infrarroja realizados en tilapias [12] en donde se concluye que la sensibilidad a este tipo de luz varía inclusive según la casta del espécimen y que poseen sensibilidad hasta ondas infrarrojas de 800nm, por lo que se puede tener esta longitud de onda como referencia para la selección.

La luz infrarroja se emite en forma de radiación y no es visible para el ojo humano pero algunas cámaras captan esta radiación como luz con lo que se puede iluminar escenas. Se tomará en cuenta la distancia visible que dan los fabricantes de las cámaras con iluminación infrarroja cuando no hay luz visible (0 Lux) y se supondrá una distancia efectiva de 20% considerando los efectos de turbidez y la luz que llega al fondo del mar.

La toma se puede iluminar utilizando módulos de iluminación infrarrojos como el que se muestra en la figura 3.8 el cual presenta una longitud de onda de 850nm (mayor al límite de visión de las tilapias del experimento [12]).



Figura 3.8: Módulo de iluminación infrarroja

El módulo tiene las características mostradas en la tabla 3.7.

Tabla 3.7: Características del módulo de iluminación infrarroja

Característica	Comentario
Número de diodos emisores de luz infrarroja	36
Longitud de onda	850nm
Ángulo de radiación	70°
Alimentación	12VDC
Corriente	650mA

3.4.3 Sistema de orientación de cámara

Para lograr el giro de la cámara, tanto de elevación como de giro horario/antihorario, ésta se coloca en un soporte que, junto a dos motores eléctricos de corriente continua, permiten el giro requerido.

La escena a capturar se encuentra alrededor de los 3m de distancia de la cámara ya que el dispositivo sumergible estará acoplado al arte de pesca a estudiar. Considerando que se tiene un diámetro interno de 240mm del armazón hermético (sección 3.4.4) se tiene un desplazamiento de 1.73m del centro de la cámara hacia arriba y otro 1.73m hacia abajo al tener 30° de giro libre como se muestra en la figura 3.9 que es el giro que permite el armazón.

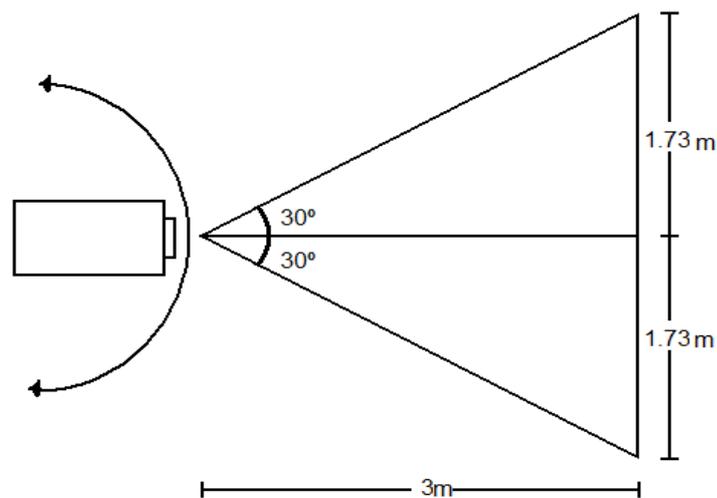


Figura 3.9: Alcance de cámara con giro de elevación de 30°

En total se tienen aproximadamente 3.5m de barrido de la cámara a los que se les tienen que sumar el ángulo de visión de la propia cámara para esta distancia para obtener el área de cobertura de la cámara.

La cámara se encuentra posicionada en un soporte que le permite girar del modo requerido como se muestra en la siguiente figura:

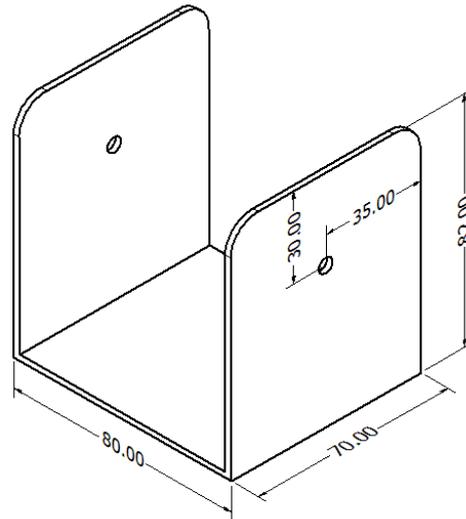


Figura 3.10: Soporte de cámara

El dispositivo sumergible debe tener sensores en el interior que indiquen si la cámara ha llegado al límite del rango de ángulo diseñado para no continuar mandando a los motores que sigan girando hacia ese lado así el operador mande la instrucción. Para ello se utilizan micro-interruptores como sensores de fin de carrera. La disposición de los mismos se puede apreciar en el diseño mecánico. Figura 3.16 y figura 3.17.

3.4.4 Motores

Para generar los dos tipos de giro que tendrá la cámara se utilizan dos motores DC con caja reductora. La caja reductora sirve para reducir la velocidad de rotación del eje del motor y aumentar el torque. Se desea que el giro del motor a plena carga sea lento para utilizar al motor según los requerimientos.

La selección de los motores se realiza en base a los catálogos de la empresa Japan Servo por poseer una gran variedad de tipos de motores DC de buena calidad. Además de cajas reductoras de distintos modelos y ratios de reducción.

Los criterios de selección son los siguientes:

- Torque
- Velocidad de giro
- Tamaño

Se evalúan estas características cuando el motor trabaja a plena carga con la finalidad de optimizar el uso de estos componentes. Bajo estos criterios, en el orden mencionados, se escogen los motores para la elevación/depresión y giro horario/antihorario.

Motor de elevación/depresión:

Este motor se encarga del giro de elevación y depresión de la cámara. Estará acoplado al soporte de la cámara.

Cálculo de torque necesario del motor:

La cámara escogida pesa 500g y mide 56x58x101mm además el lente pesa 200g y tiene un largo de 59mm con lo que se tiene un largo de 160mm. En el lente de la cámara se tiene un módulo de iluminación infrarrojo que pesa unos 100g. Para un cálculo simple se considera todo como un solo bloque de 68x58x160mm con un peso de 800g de una distribución de masa uniforme, se acoplará el eje del motor en el centro geométrico del bloque como se muestra en la figura siguiente:

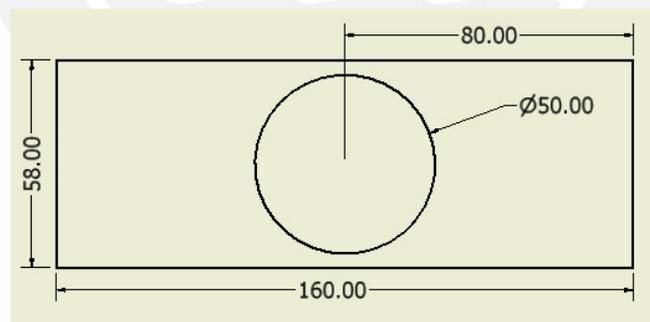


Figura 3.11: Ubicación del eje para el giro de elevación de la cámara.

Suponiendo un margen de error entre el centro de masa real y la posición escogida para el movimiento de la cámara de 5cm, como el mostrado en la figura 3.11, se tendría que vencer el siguiente torque:

$$T = F \cdot d$$

$$T = 0.8 \times 9.8 \times 0.05$$

$$T = 0.392 \text{ N.m}$$

Considerando un margen de seguridad de 20% el motor buscado tiene que poder mover un torque mínimo de:

$$Tr = 0.392N.m + 20\%T = 0.4704N.m$$

Cálculo de la velocidad de giro:

La cámara puede girar en un ángulo total de 60°. Se considera que un tiempo adecuado para todo el barrido sería 5 segundos. Entonces se tiene:

$$\begin{aligned} 5\text{seg} &\rightarrow 60^\circ \\ 30\text{seg} &\rightarrow 360^\circ = 1\text{rev} \\ 1\text{min} &\rightarrow 720^\circ \end{aligned}$$

El motor debe girar a 2rpm o más para satisfacer esta condición, lo quiere encontrar uno que la velocidad de giro más próximo a los 2rpm para que trabaje a plena carga y se desempeñe de la mejor manera.

Tamaño del motor:

Para vencer el torque requerido y tener velocidades de giro baja se tiene un motor DC con escobillas pequeño junto a una caja reductora grande.

Las cajas reductoras que ofrece Japan Servo brindan una gran variedad de relaciones de velocidad/torque, en la tabla 3.8 se presentan algunos modelos (no todos los modelos de caja son compatibles con todos los motores):

Tabla 3.8: Cajas reductoras de Japan Servo

36G	43G	50G	5C	L	6DG	6DGF	8DG	8DGF
								

FUENTE: Japan Servo (www.nidec-servo.com/en/) (ANEXO IX)

Como se observa en las imágenes algunas cajas son más grandes que otras, además de tener formas no son convenientes para la aplicación que se tiene. Las características de los motores y las cajas reductoras se encuentran en el Anexo IX.

En base a los criterios antes mencionados y las especificaciones técnicas de los motores DC se escoge al DME34S6DG900 ya que con este motor, y su respectiva caja reductora, generan un torque de 0.98N.m, superior al que se requiere, y una velocidad de 4.2 rpm, valor aproximado al querido, se utilizará un factor de trabajo alrededor del 50% para llegar a la velocidad deseada de 2rpm. El motor es de bajo consumo de potencia y dimensiones apropiadas como se puede apreciar en la siguiente figura:

Motor	Potencia W	Código	Voltaje (V)	Código	Corriente Consumida (A)	Torque (N.m)	Velocidad (rpm)	Peso (g)
DME34 	1.3	S	12	A	0.20	0.98	4.2	400

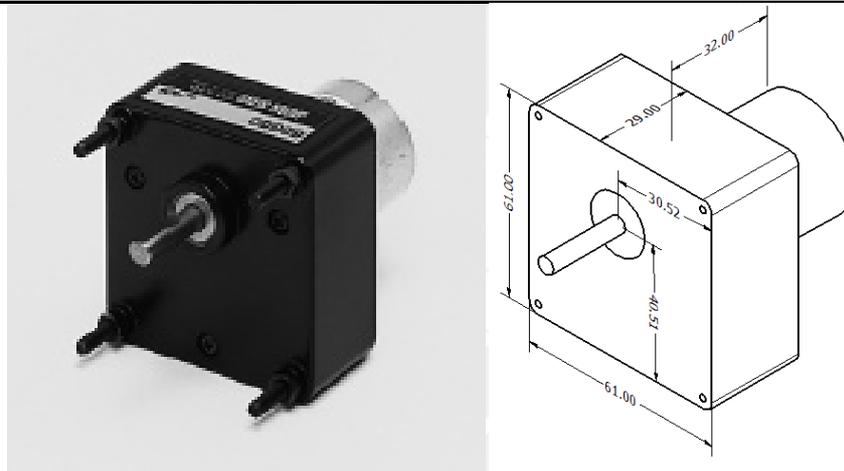


Figura 3.12: Arriba: Características eléctricas y mecánicas resaltantes. Abajo izq: Foto del motor elegido. Abajo der: Modelo del motor a utilizar en el diseño.

Fuente: Datos técnicos y foto: Japan Servo (ANEXO IX)

Motor de giro horario / antihorario:

Este motor se encarga del giro de horario/antihorario de la cámara y su elección es similar a la anterior sólo que ahora se considera el peso del motor anterior más el del soporte. Entonces se tiene lo siguiente:

- Peso anterior: 800g
- Soporte: 300g
- Motor: 400g

Del mismo modo que en el caso anterior:

$$T = F \cdot d$$

$$T = 1.5 \times 9.8 \times 0.05$$

$$T = 0.735 \text{ N.m}$$

Considerando un margen de seguridad de 20% el motor buscado tiene que poder mover un torque mínimo de:

$$\text{Tr} = 0.735 \text{ N.m} + 20\%T$$

$$\text{Tr} = 0.882 \text{ N.m}$$

El rango de barrido angular es el mismo que el del motor anterior, así que la velocidad requerida es la misma: 2rpm. Entonces se elige otro motor con las mismas características que el motor de elevación/depresión: el DME34S6DG900 de Japan Servo cuyas características se encuentran detalladas en su hoja de datos en el Anexo IX.

3.4.5 Diseño mecánico

El diseño mecánico comprende un chasis exterior hermético que soporta la presión hidrostática que existe a una profundidad de 100m y un diseño de la parte interior que contemple un soporte para la cámara, los motores, tarjetas de circuito impreso y demás componentes de la aplicación.

Diseño del chasis exterior:

La forma del chasis exterior es de forma cilíndrica para resistir mejor la presión hidrostática ya que las fuerzas ejercidas son iguales por toda la pared cilíndrica. El mayor impacto por la presión será sobre las tapas de los lados.

El diámetro que se quiere para el movimiento de la cámara es de 240mm lo que le permite girar a la cámara un ángulo de 30° en cada dirección cuando se encuentra en el eje del cilindro como se observa en la figura 3.13.

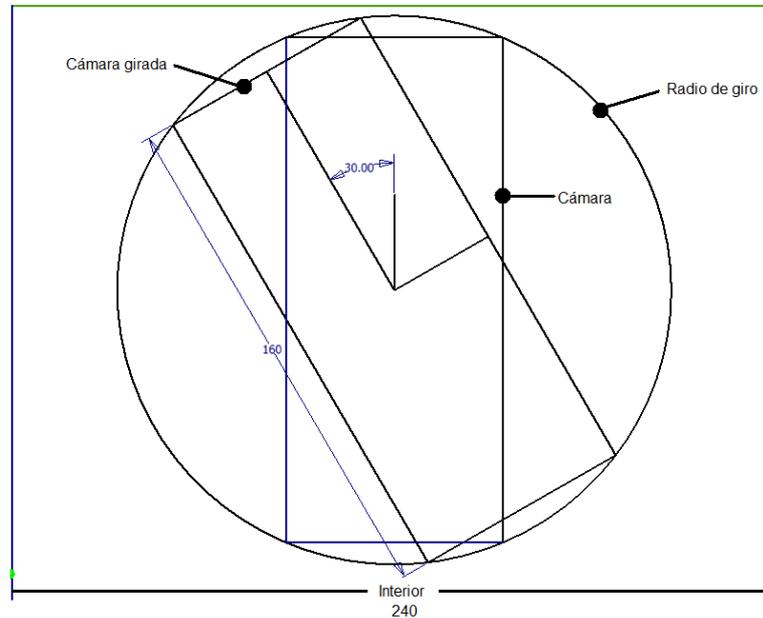


Figura 3.13: Giro de la cámara dentro del chasis hermético (medidas en milímetros).

El chasis debe ser hermético y de un material resistente, se buscaron empresas que trabajaban con metales como aluminio y acero pero no realizaban este tipo trabajos ni tubos cilíndricos de esas dimensiones por lo que se tuvo que buscar empresas especializadas en otras partes del mundo. De esta forma se obtuvieron 2 empresas interesadas en la fabricación del chasis: Shark Marine Technologies Inc. en USA (www.sharkmarine.com) y Tecnovideo Snc en Italia (www.tecnovideoctv.com). El costo es similar pero Shark Marine lo fabrica en aluminio y Tecnovideo en acero, además Tecnovideo se mostró más interesado en el proyecto y brindó más información sobre las características que se tendrían.

Al inicio de la tesis se pretendía realizar un diseño mecánico del chasis externo pero es conveniente que una empresa especializada se encargue de esta parte ya que tienen que tomarse en cuenta materiales para aplicaciones marinas, los sellos para mantener el chasis herméticamente sellado, la claridad del vidrio para obtener las filmaciones, etc. Por lo que se presentan las características que dichas empresas han brindado en base a las dimensiones interiores requeridas que son: un cilindro de 240mm de diámetro interior y 400mm de largo para que quepan la cámara y las tarjetas de circuito impreso y halla espacio suficiente para un desarrollo posterior.

Las especificaciones de Tecnovideo se recopilan de comunicaciones realizadas por correo electrónico (Anexo X), estas son:

- Acero especializado para aplicaciones marinas AISI316L de 3mm de espesor
- 2 tapas: una de cristal y otra de metal
- Vidrio templado de 10mm de espesor mínimo
- Peso de solo el tubo 5Kg
- Precio aproximado: 2000 – 3000 euros sin costos de envío

Del mismo modo Shark Marine ofrece:

- Tubo de aluminio con dos tapas
- Precio aproximado: US\$1500- 2000 incluidos gastos de envío

Ambas empresas dan solución al problema y se tendría que hablar detalladamente para decidir con cual desarrollar el chasis. La siguiente figura 3.14 presenta un modelo aproximado del chasis hermético.

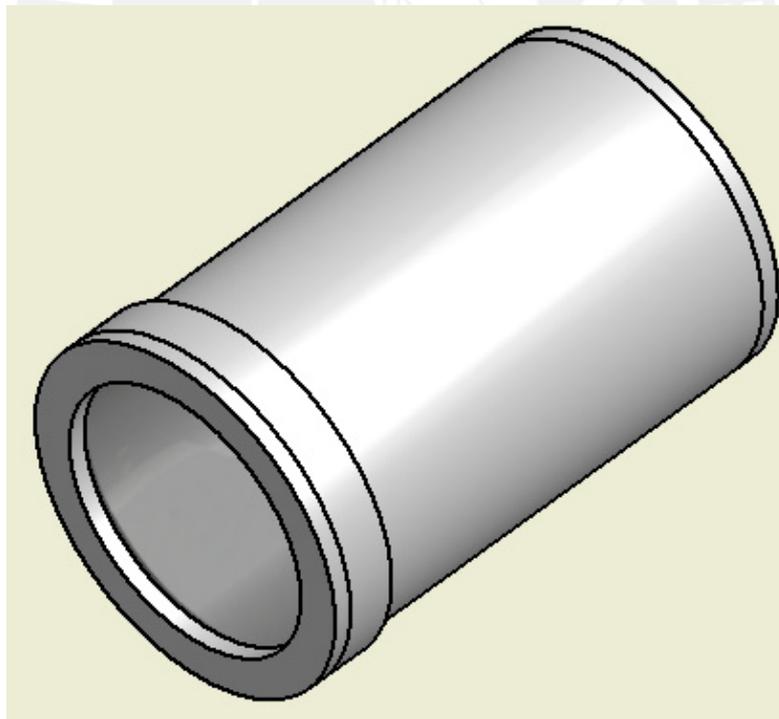


Figura 3.14: Modelo de chasis hermético

Diseño del soporte interior:

El chasis exterior protege a todos los componentes del dispositivo sumergible de la presión hidrostática y de la humedad. En el interior se tienen que colocar la base de la cámara, los motores y las tarjetas de circuito impreso; para todo esto se diseña un soporte que permita atornillar todos los componentes y se pueda sacar del chasis interior con la finalidad de facilitar el mantenimiento del dispositivo.

Se diseña el soporte de la figura 3.15 circunscrito en la circunferencia interior del cilindro. Presenta vigas en las cuales se ajustarán los motores DC para el movimiento de la cámara y el soporte de la misma de manera que la cámara quede en el centro del cilindro a una distancia corta del vidrio que le permite girar sin problemas. El diseño con la posición de los motores y el soporte para la cámara se muestra en la figura 3.16.

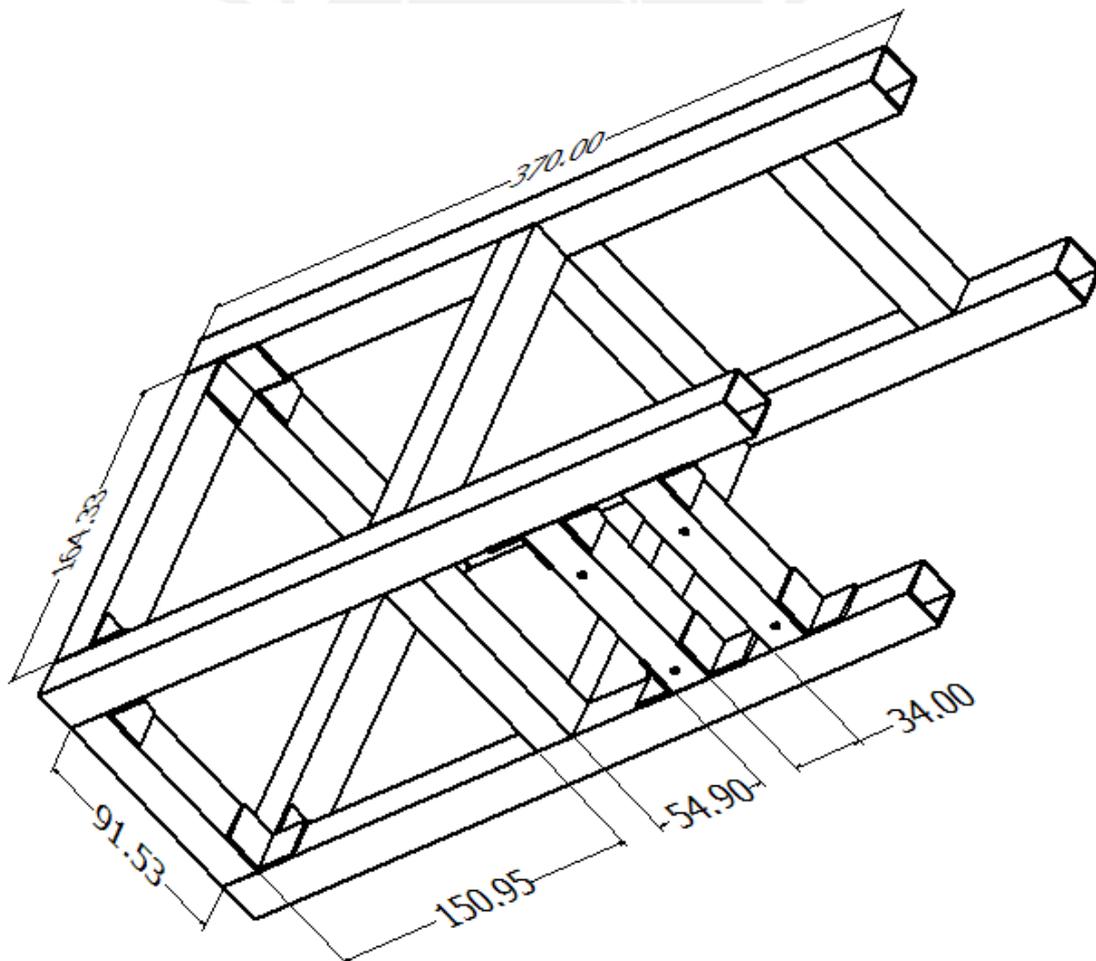


Figura 3.15: Soporte interno para motores, pulsadores, tarjetas, etc.

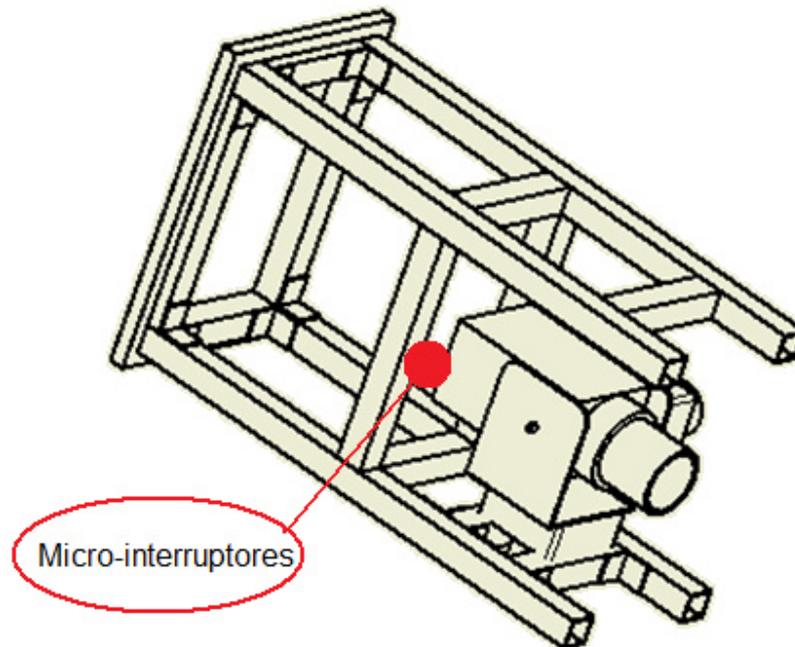


Figura 3.16: Diseño de chasis interior con motores y soporte para cámara acoplados

Adicionalmente se colocan 2 micro-interruptores a los lados en la parte interior del soporte interno, estos marcarán los límites de giro horario y anti horario de la cámara. Otros 2 micro-interruptores se colocan uno arriba y otro abajo en el soporte con la finalidad de establecer los límites de elevación y depresión como se muestra en la figura 3.17. Se colocan las bases para los micro-interruptores en el mismo soporte para la cámara con la finalidad de que cuando gire esta los límites también lo hagan.

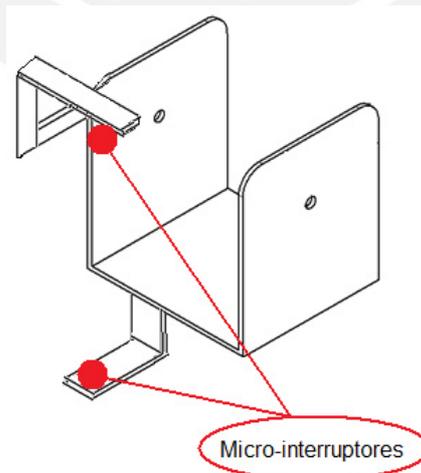


Figura 3.17: Soporte para cámara con base para micro-interruptores para límite de elevación/depresión.

Para la elaboración de este soporte se utilizan perfiles de aluminio por su resistencia, poco peso y fácil uso. El modelo está hecho utilizando perfiles de la Corporación Furukawa, estos son:

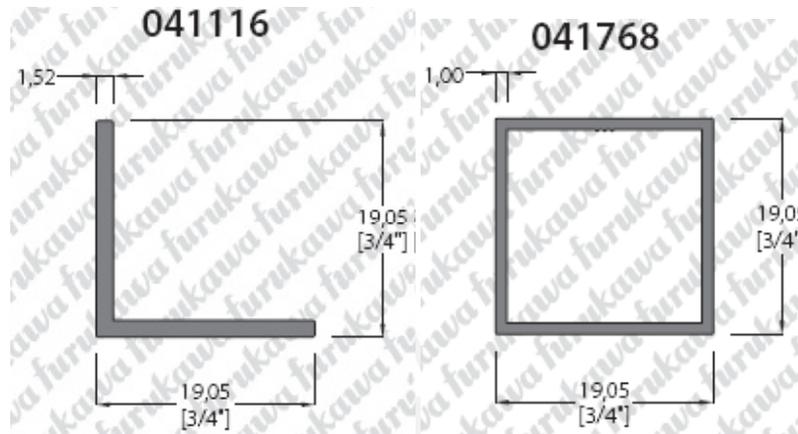


Figura 3.18: Perfiles de aluminio utilizados para el diseño del soporte interior.

FUENTE: Catálogo de perfiles de aluminio de la Corporación Furukawa (ANEXO XI)

Remolque

Para el descenso de la cámara se tiene que contar con un winche que es un cable de acero que se engancha con eslingas o estobos de acero al chasis externo, de esta forma se puede controlar el descenso del dispositivo submarino sin forzar al cable umbilical. Se tiene que tomar en cuenta que el chasis exterior tenga la facilidad para enganchar estos seguros.

3.4.6 Control de motores

Los motores usados para la orientación de la cámara consumen 200mA cada uno y se debe tener la capacidad de realizar inversión de giro. Para el control de estos motores utilizando sólo una fuente de energía de 12 voltios se utiliza un puente H.

El puente H permite el control de los motores. Para la presente aplicación se utiliza el L293D de Texas Instrument (Anexo XII) que presenta 4 medios-puente H o 2 puentes H completos. Tiene como características principales el manejar corrientes de 600mA por canal, apagado por sobrecalentamiento y diodos internos de protección. El diseño del circuito se presenta en el punto 3.6.6.

3.5 Microcontrolador

El control del sistema de orientación de la cámara se realiza mediante un microcontrolador ubicado en el dispositivo sumergible. El uso de éste, permite disminuir considerablemente el número de componentes a utilizar gracias a las funciones que brinda, además de un control centralizado y la posibilidad a un desarrollo futuro o la modificación de parámetros de la programación.

Éste recibe la señal transmitida desde la estación, la decodifica e interpreta la instrucción. Además genera las señales de control para los controladores de los motores para que realicen el giro correspondiente. Otro punto a considerar es que controla que el giro de la cámara no exceda el rango de ángulo de diseño con la finalidad de no dañar los motores ni la cámara.

Se selecciona al microcontrolador Atmega8 de Atmel (ANEXO XIII) por contar con los requerimientos necesarios para la aplicación los cuales se muestran y evalúan en el orden siguiente:

- Número de puertos
- Funciones
- Memoria de programa y datos
- Otras características importantes

Número de puertos:

El número de Entradas/Salidas necesarios para el control del dispositivo sumergible se determina de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 3.9: Tabla de entradas y salidas del microcontrolador

Aplicación	# E/S
Reconocimiento de instrucción	1Entrada
Control de 2 motores con inversión de giro	4 Salidas
Sensores de giro máximo de cámara	4 Entradas
Control iluminación IR	1Salida
TOTAL	10 E/S

El Atmega8 cuenta con 23 entradas/salidas configurables con lo que se supera el requerimiento de 10. Además tener un exceso de entradas y salidas del microprocesador es deseable en esta aplicación, por las diversas tareas que se le pueden agregar a este sistema de monitoreo como la comunicación serial con la cámara de video; agregar sensores de temperatura, salinidad, iluminación, etc.; además de transmisión de información bi-direccional.

Funciones:

El Atmega8 cuenta con temporizadores internos de gran precisión, los cuales son esenciales al implementar la parte del reconocimiento de la señal transmitida para el control del dispositivo submarino. Aparte, estos temporizadores se utilizan en la lectura por muestreo discreto de las entradas a fin de evitar ruido y rebotes por parte de los micro-interruptores. También cuenta con un USART programable para comunicación serial, idóneo para la comunicación con la cámara en una aplicación futura.

Además presenta 3 ondas de ancho de pulso variable (PWM) las cuales van a ser de uso para el control de motores ya que permiten controlar la potencia y velocidad de los mismos. La generación de estas ondas no influye en la ejecución del programa puesto que son producidas por circuitos externos al procesador, los cuales solo se configuran por el procesador en algunos registros para su correcto funcionamiento.

Memoria de programa y datos:

El Atmega8 cuenta con 8KBytes de memoria de programa tipo Flash, 512Bytes de memoria EEPROM para almacenar datos de forma permanente y 1KByte de memoria SRAM.

El programa que se utiliza para el control de los motores es pequeño por tanto, no hay problema con el tamaño de memoria de programa. El exceso de memoria permite el desarrollo posterior de aplicaciones.

Otras características importantes:Frecuencia de trabajo:

La frecuencia de trabajo es variable hasta los 16MHz, esto brinda mayor versatilidad para el desarrollo del programa y permite escoger una frecuencia adecuada para un bajo consumo de energía.

Potencia consumida:

La potencia consumida está relacionada de forma directa a la frecuencia de trabajo. Se tiene desde los 3mA a frecuencias de 2MHz hasta unos 20mA para una frecuencia de trabajo de 16MHz. Incluso para la frecuencia de 16MHz el consumo del microcontrolador es bajo.

Encapsulado:

El Atmega8 es ofrecido en 3 distintos tipos de encapsulado: PDIP, TQFP y MLF. El tipo que más conveniente es el PDIP, pues es idóneo para la elaboración de tarjetas de circuito impreso con la tecnología más usada en nuestros medios.

Precio y disponibilidad:

El precio aproximado del Atmega8 en el mercado local es de 13 Nuevo Soles; un precio inferior comparado a comprar todos los componentes que se necesitarían para el desarrollo de una aplicación similar, como serían temporizadores, compuertas lógicas, potenciómetros, etc. Con el uso de este microcontrolador se tiene una solución económica y de alto desempeño.

3.6 Diseño electrónico del sistema

3.6.1 Circuito VCO – Generación de frecuencias de 40KHz y 100Hz

Según lo expuesto en el punto 3.3.2 las frecuencias a utilizar para los osciladores son de 40KHz y 100Hz. Para generar estas ondas cuadradas se utilizan dos Oscilador Controlado por Voltaje o VCO, por sus siglas en inglés, cuya configuración se muestra en la figura 3.19, para el VCO del HEF4046:

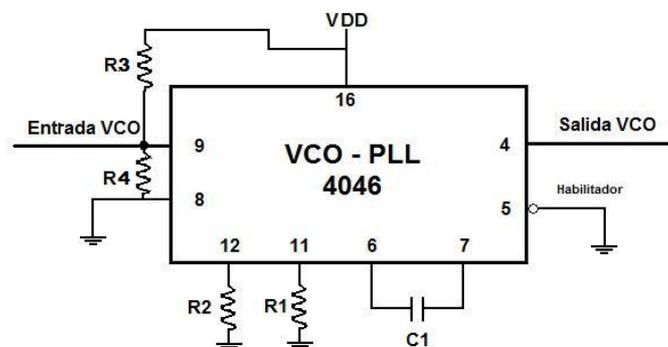


Figura 3.19: Configuración general del VCO del PLL HEF4046
FUENTE: Hoja de datos del HEF4046B (ANEXO II)

En donde R1 y C1 configuran el rango de frecuencias de barrido del VCO; R2, el nivel de offset que se tendría en el rango de frecuencias. Para la configuración de los circuitos se necesita establecer la frecuencia máxima del barrido, con la que se halla la frecuencia media, la cual se utiliza en unas gráficas de la hoja de datos para determinar R1 y C1. Se utilizará la configuración sin offset por lo que R2 se deja al aire.

De la hoja de datos del HEF4046B (Anexo II) se tiene:

$$f_0 = \frac{f_{m\acute{a}x}}{2}$$

Además: $10K\Omega < R1 < 1M\Omega$
 $50pF > C1$

Estos circuitos se alimentan con 5VDC, por lo que se ubican los valores de los componentes en las gráficas para este voltaje de alimentación. La frecuencia máxima será el 125% de la frecuencia requerida para poder calibrar la frecuencia deseada. Para esto se tiene un divisor de voltaje conformado por un potenciómetro de precisión y una resistencia fija.

Para el divisor de voltaje de R3 y R4 se opta por:

R3 = 1K Ω

R4 = Potenciómetro de precisión de 100K Ω

De esta forma se pueden tener valores hasta los 4,95VDC con lo que se puede calibrar a la frecuencia deseada.

Diseño del VCO de 40KHz

Frecuencia deseada: f = 40 KHz

Frecuencia máxima de diseño: 50KHz

f₀= 25KHz

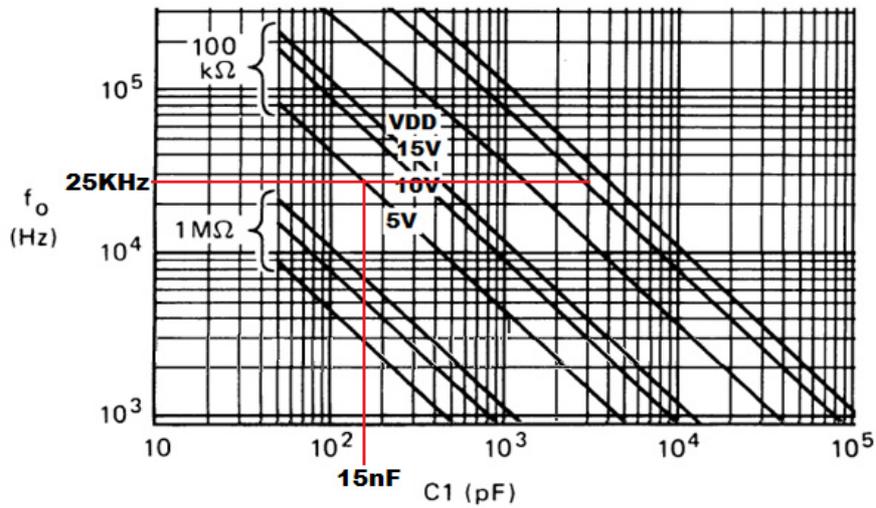


Figura 3.20 Selección de componentes para el VCO de 40KHz
FUENTE: Hoja de datos del HEF4046B (ANEXO II)

Se escogen los siguientes componentes con las aproximaciones a valores comerciales:

$$R_1 = 100\text{ k}\Omega$$

$$C_1 = 2\text{ nF}$$

Diseño del VCO de 100Hz

Frecuencia deseada: $f = 100\text{ Hz}$

Frecuencia máxima de diseño: 125 Hz

$$f_0 = 62,5\text{ Hz}$$

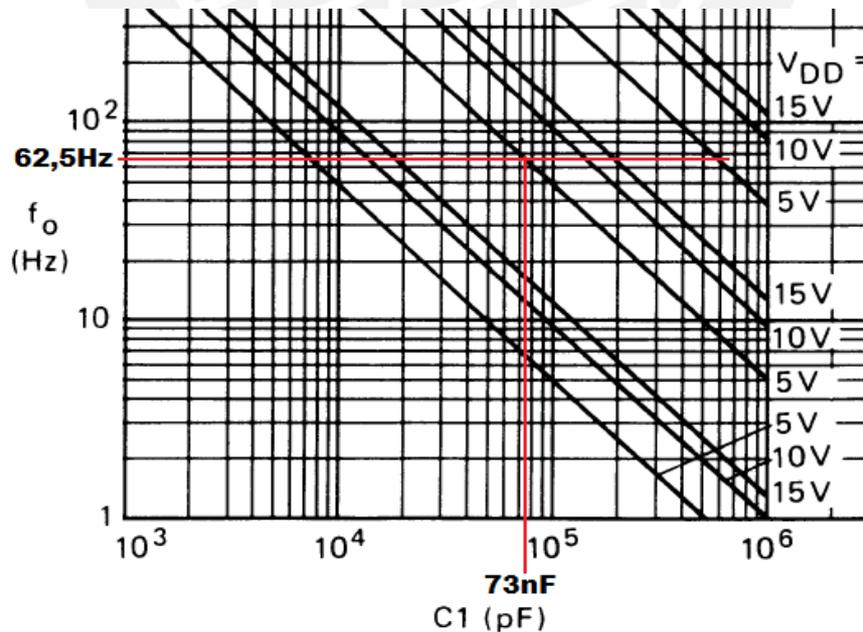


Figura 3.21: Selección de componentes para VCO que genera frecuencia de 100Hz
FUENTE: Hoja de datos del HEF4046B (ANEXO II)

Se selecciona un condensador comercial de valor menor al de la gráfica, ya que a menor valor de capacitancia mayor es la frecuencia central por lo que la que la frecuencia deseada sigue dentro del rango. Se selecciona:

$$C1=68\text{nF}$$

$$R1= 100\text{K}\Omega$$

3.6.2 Divisor de frecuencia 74LS56 y temporizador de precisión 4538A

El divisor de frecuencia, junto con el temporizador, se utiliza para generar pulsos cada 100ms, los que sirven para iniciar la transmisión de datos de las instrucciones de control.

La señal del reloj de entrada del divisor de frecuencia es una entrada negada, lo que desfasa la señal de entrada en medio reloj, para que esto no ocurra se invierte la señal de reloj de entrada con un inversor SN74LS04 de Texas Instrument (ANEXO XIV) el cual presenta velocidades de respuesta alrededor de los 10ns ideal para este caso. De esta forma ambas señales (la señal de entrada y la señal de salida) se encontrarán en fase. En la figura 3.22 se muestra la configuración para tener un divisor de frecuencia de 10 a 1 con las señales en fase. Que es lo necesario para sincronizar la señal de 100Hz con la de 10Hz.

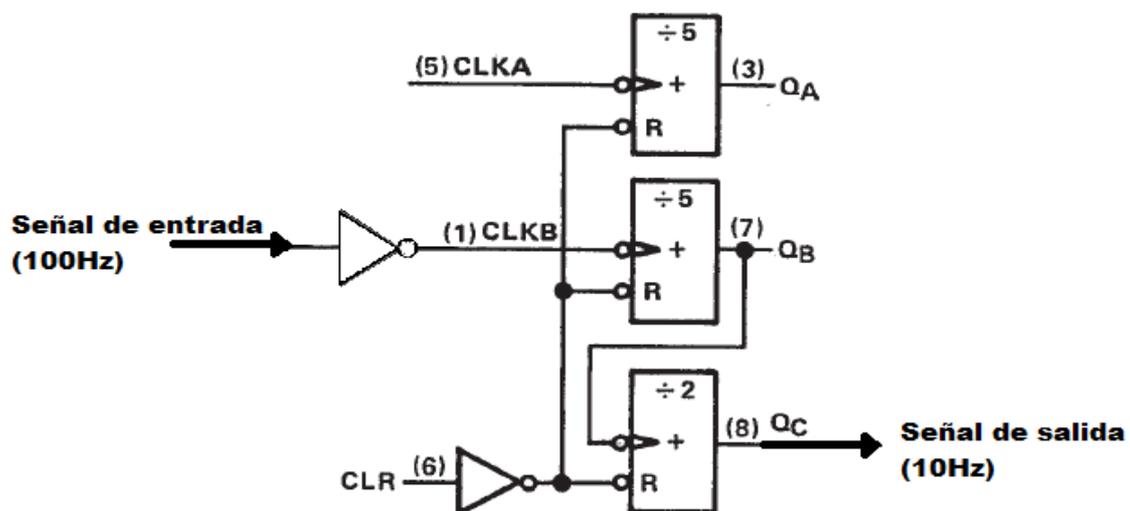


Figura 3.22: Configuración del divisor de frecuencia para dividir la señal de 100Hz entre 10 para obtener 10Hz.

La salida del divisor de frecuencia es una señal cuadrada de 10Hz, lo que se quiere para el funcionamiento del conversor párelo a serial es un pulso en baja menor a 10ms. Para esta tarea se emplea el temporizador de precisión, el cual se dispara por flancos de subida del divisor de frecuencia. Teniendo de esta manera el pulso sincronizado con el reloj de 100Hz. Se diseña el temporizador para tener pulsos negativos de 5ms para satisfacer los requerimientos mencionados en el punto 3.3.2.

De la hoja de datos (ANEXO IV) se tiene el siguiente diagrama lógico de funcionamiento:

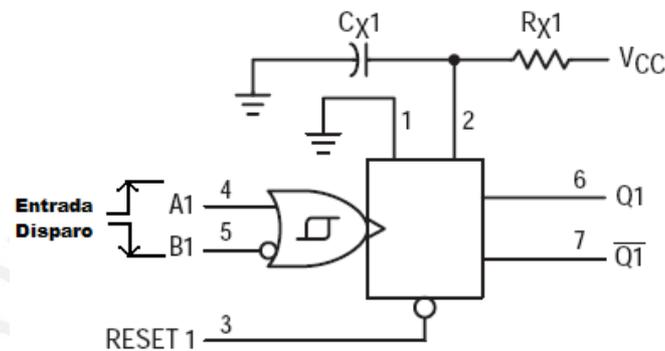


Figura 3.23: Diagrama de funcionamiento del temporizador MC74HC4538A

FUENTE: Hoja de datos MC74HC4538A (ANEXO IV)

Para obtener la respuesta deseada se configura el circuito como un monoestable no redisparable Figura 3.24, y los valores de R_{X1} y C_{X1} se calculan según la ecuación:

$$T = 0,7 \times R_{x1} \times C_{x1}$$

Donde R_{x1} tiene que ser mayor a $2K\Omega$ según las especificaciones de la hoja de datos.

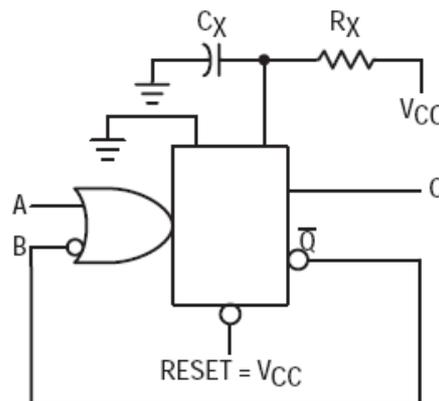


Figura 3.24: Configuración del temporizador como monoestable no redisparable

FUENTE: Hoja de datos MC74HC4538A (ANEXO IV)

Los valores de RX_1 y CX_1 se calculan:

$$5 \times 10^{-3} = 0,7 \times R x_1 \times C x_1$$

$$7.14 \times 10^{-3} = R x_1 \times C x_1$$

Se escoge $CX_1 = 1\mu F$ y $RX_1 = 7,14K\Omega$ el cual se obtiene con un potenciómetro de precisión de $10K\Omega$.

3.6.3 Modulador ASK

Una vez diseñados todos los temporizadores y los componentes del modulador se procede a mostrar la solución completa de este en la siguiente figura 3.25. Adicionalmente se observa un amplificador operacional a la salida, utilizado para evitar el efecto de carga por la impedancia del cable. Las características de este amplificador se amplían en el punto 3.6.7 y el diseño de la tarjeta de circuito impreso se encuentra en el ANEXO I.

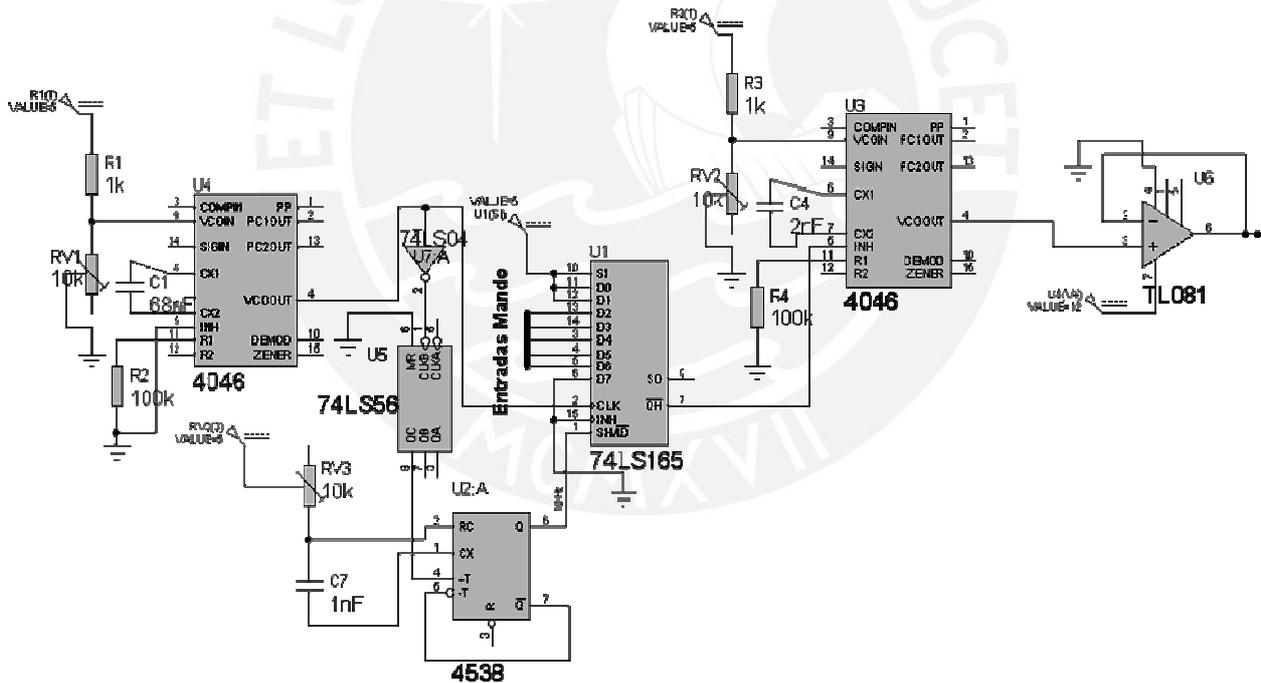


Figura 3.25: Diseño de modulador ASK

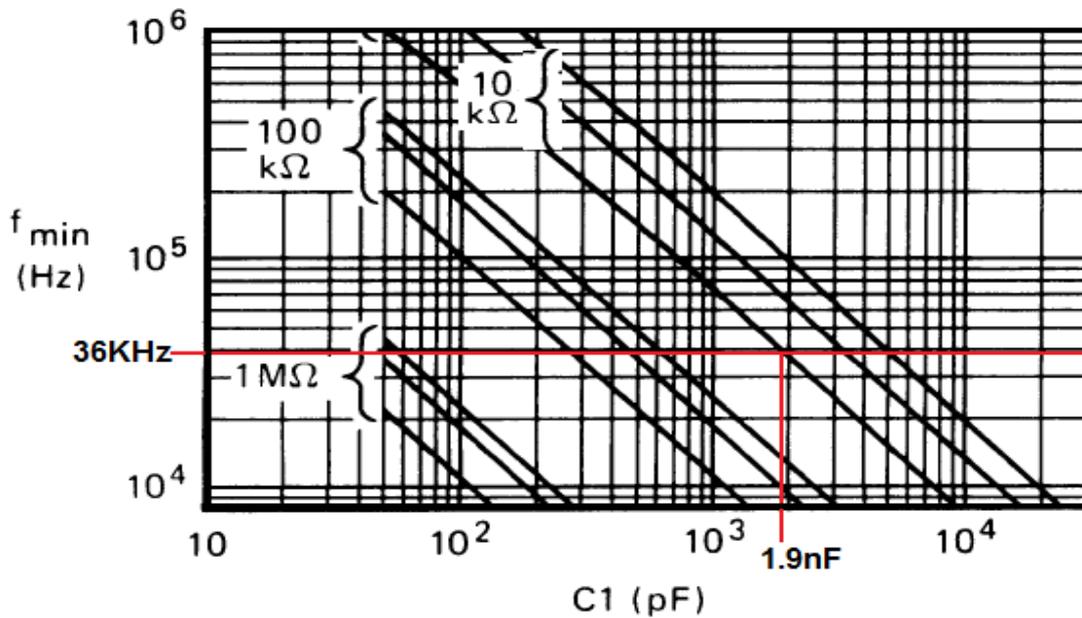


Figura 3.27: Selección de componentes de VCO
FUENTE: Hoja de datos HEF4046B (ANEXO II)

Según la gráfica se tiene entonces:

$R_2 = 100\text{K}\Omega$ Potenciómetro de precisión para ajustar frecuencia

$C_1 = 1,5\text{nF}$ (valor comercial de condensador)

Para determinar el valor de la resistencia R_1 se utiliza la gráfica de la figura 9 de la hoja de datos (ANEXO II) con el valor de $f_{\max}/f_{\min} = 1.16$.

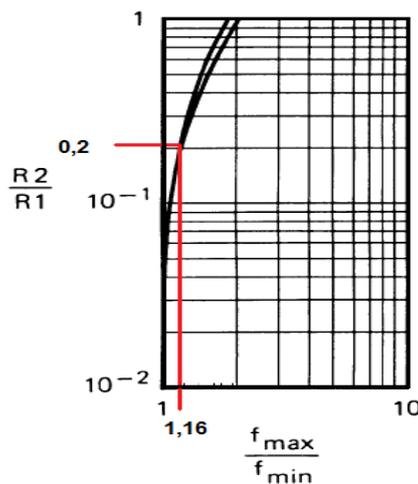


Figura 3.28: Relación entre frecuencia máxima y mínima respecto a la relación entre valores de resistencia R_1 y R_2

FUENTE: Hoja de datos HEF4046B (ANEXO II)

$$\frac{R2}{R1} = 0,2 \rightarrow \frac{10k\Omega}{R1} = 0,2$$

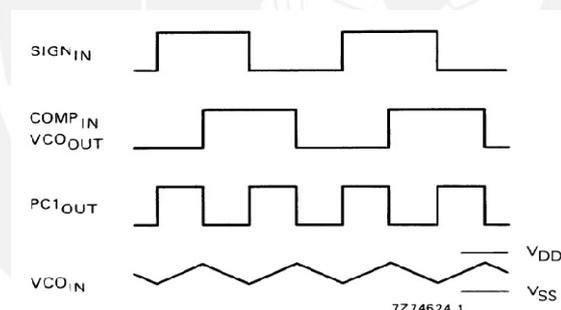
$$R1 = 50K\Omega$$

De esta manera se escoge $R1 = 50K\Omega$ mediante un potenciómetro de precisión de $100K\Omega$.

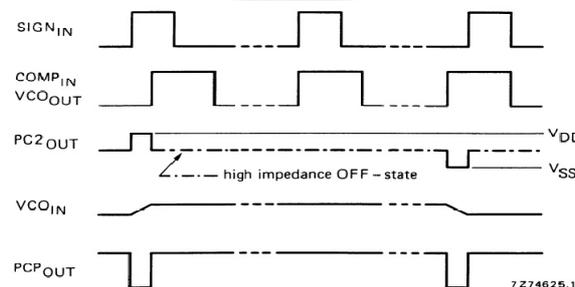
Comparador de fase y filtro

El circuito integrado puede ser configurado para trabajar con 2 comparadores de fase, que son los encargados de la medición del error entre la señal de entrada y la señal generada por el VCO.

Para el diseño se escoge el comparador de fase II, ya que como se observa en la figura 3.28, al utilizar este comparador la entrada al VCO (VCO_{IN}) es un voltaje con menos ondulaciones que al utilizar el obtenido al usar el comparador de fase I, lo que es conveniente ya que se estará tomando muestras del voltaje VCO_{IN} al momento de recibir las instrucciones, a través del pin del seguidor de voltaje.



(a)



(b)

Figura 3.29: Comparadores de fase del PLL HEF4046. (a) Comparador de fase I. (b) Comparador de fase II.

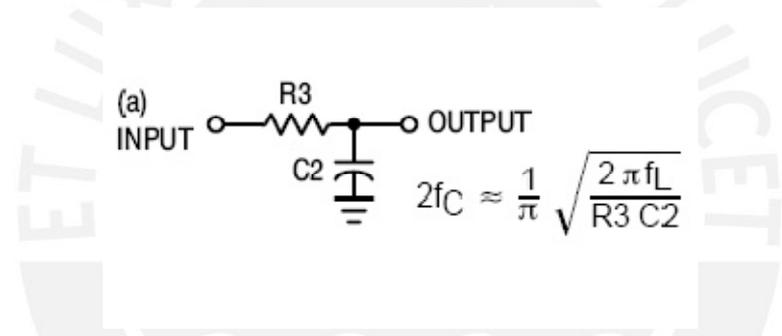
FUENTE: Hoja de datos HEF4046 (ANEXO II)

Para el caso del comparador de fase II se definen un rango de captura igual a un rango de enganche, esto quiere decir que la señal de entrada va a ser detectada cuando esté dentro de este rango, que para nuestro caso es 4KHz a partir de la frecuencia central ubicada en 40KHz.

La salida del comparador es filtrada por un filtro RC la cual ingresará al VCO para generar una señal igual a la señal de entrada. El filtro se diseña a continuación.

Diseño del filtro para el comparador de fase II:

Para el diseño del filtro se utilizan las ecuaciones proporcionadas por la hoja de datos del fabricante ON Semiconductor (Anexo XV) de donde se tienen las siguientes ecuaciones para el filtro de la figura 3.30.



LOW-PASS FILTER

Definitions: N = Total division ratio in feedback loop
 $K\phi = V_{DD}/\pi$ for Phase Comparator 1
 $K\phi = V_{DD}/4\pi$ for Phase Comparator 2
 $KVCO = \frac{2\pi\Delta f_{VCO}}{V_{DD} - 2V}$
 for a typical design $\Omega_{n1} \approx \frac{2\pi f_r}{10}$ (at phase detector input)
 $\zeta \approx 0.707$

Filter A	Filter B
$\omega_n = \sqrt{\frac{K\phi KVCO}{NR_3 C_2}}$	$\omega_n = \sqrt{\frac{K\phi KVCO}{NC_2(R_3 + R_4)}}$
$\zeta = \frac{N\omega_n}{2K\phi KVCO}$	$\zeta = 0.5\omega_n(R_3 C_2 + \frac{N}{K\phi KVCO})$
$F(s) = \frac{1}{R_3 C_2 S + 1}$	$F(s) = \frac{R_3 C_2 S + 1}{S(R_3 C_2 + R_4 C_2) + 1}$

Figura 3.30: Filtro Típico para el PLL

FUENTE: Hoja de datos MC14046B On Semiconductor (Anexo XV)

Además se recomienda que $R_4 \approx (0.1) R_3$ para obtener resultados óptimos en el amortiguamiento del filtro.

Para el diseño aplican las ecuaciones para un filtro (a):

$$2. f_c \approx \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2\pi f L}{R3 \cdot C2}}$$

$$\text{Con } f_L = f_C = 4\text{KHz}$$

Reemplazando:

$$R3 \cdot C2 = 39,78 \cdot 10^{-6} \Omega F$$

Para $C2 = 1\text{nF} \rightarrow R3 = 39,78\text{K}\Omega \rightarrow 39\text{K}\Omega$

$$N = 1$$

$$K_\varphi = \frac{5V}{4\pi} = 0,4V/\text{rad/s}$$

$$K_{VCO} = \frac{2\pi \cdot 8\text{KHz}}{(5-2)V} = 16755,16\text{rad/s/V}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{0,4 \cdot 16755,16}{1,39\text{K} \cdot 1\text{n}}} = 13109,073\text{rad/s}$$

$$\xi = \frac{13109,073}{2 \cdot 0,4 \cdot 16755,16} = 0,97$$

El amortiguamiento es cercano al valor recomendable de 0,7; lo que ratifica un buen arreglo de componentes.

3.6.5 Microcontrolador

Para la elaboración del programa del microcontrolador primero se definen las entradas y salidas que controla como se muestra en la siguiente figura:

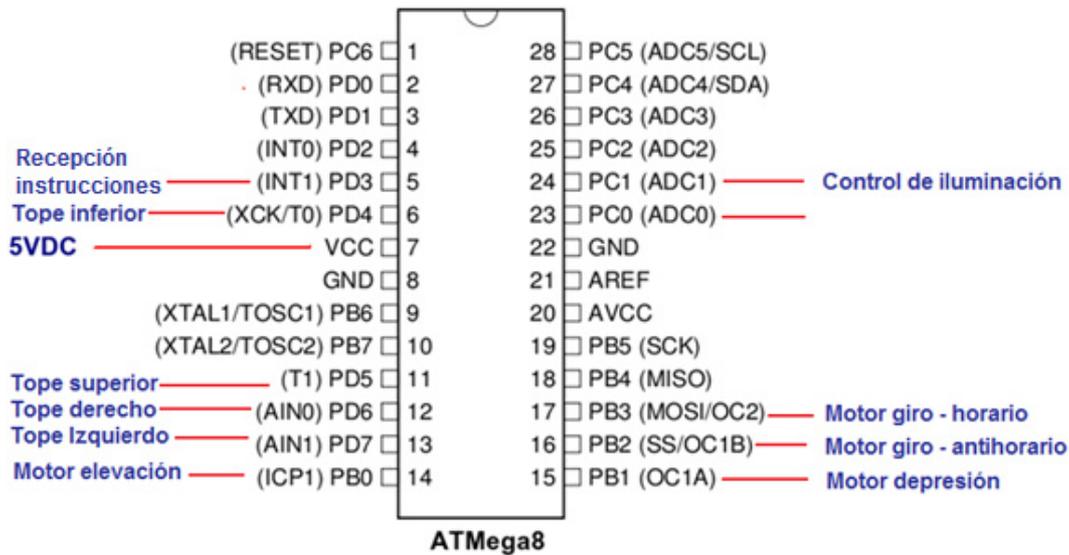


Figura 3.31: Distribución de terminales de entrada / salida del microcontrolador

Las instrucciones llegan al microcontrolador en forma serial asíncrona, por lo que se toman muestras para determinar los bits que conforman el byte de información. No se utiliza el USART para esta función ya que será usado en un futuro para la comunicación con la cámara. Se toman 10 muestras por cada bit de datos. Como la frecuencia de los bits de datos es de 100Hz la frecuencia de muestreo será de 1KHz. Tomadas las 10 muestras se realiza la operación lógica AND entre las 3 muestras del medio del bit (muestras 4, 5 y 6). Para realizar estos procesos de muestreo y generar las ondas apropiadas para el control de los motores, el microcontrolador se configura para trabajar a una frecuencia de 8MHz, lo que asegura un buen desempeño para la realización de estas tareas.

En las figuras 3.32, 3.33 y 3.34 se muestran los diagramas de flujo del programa ha codificar en el microcontrolador. Se toma en cuenta un muestreo de 100ms aproximadamente para la lectura de los micro-interruptores para considerar los efectos del rebote.

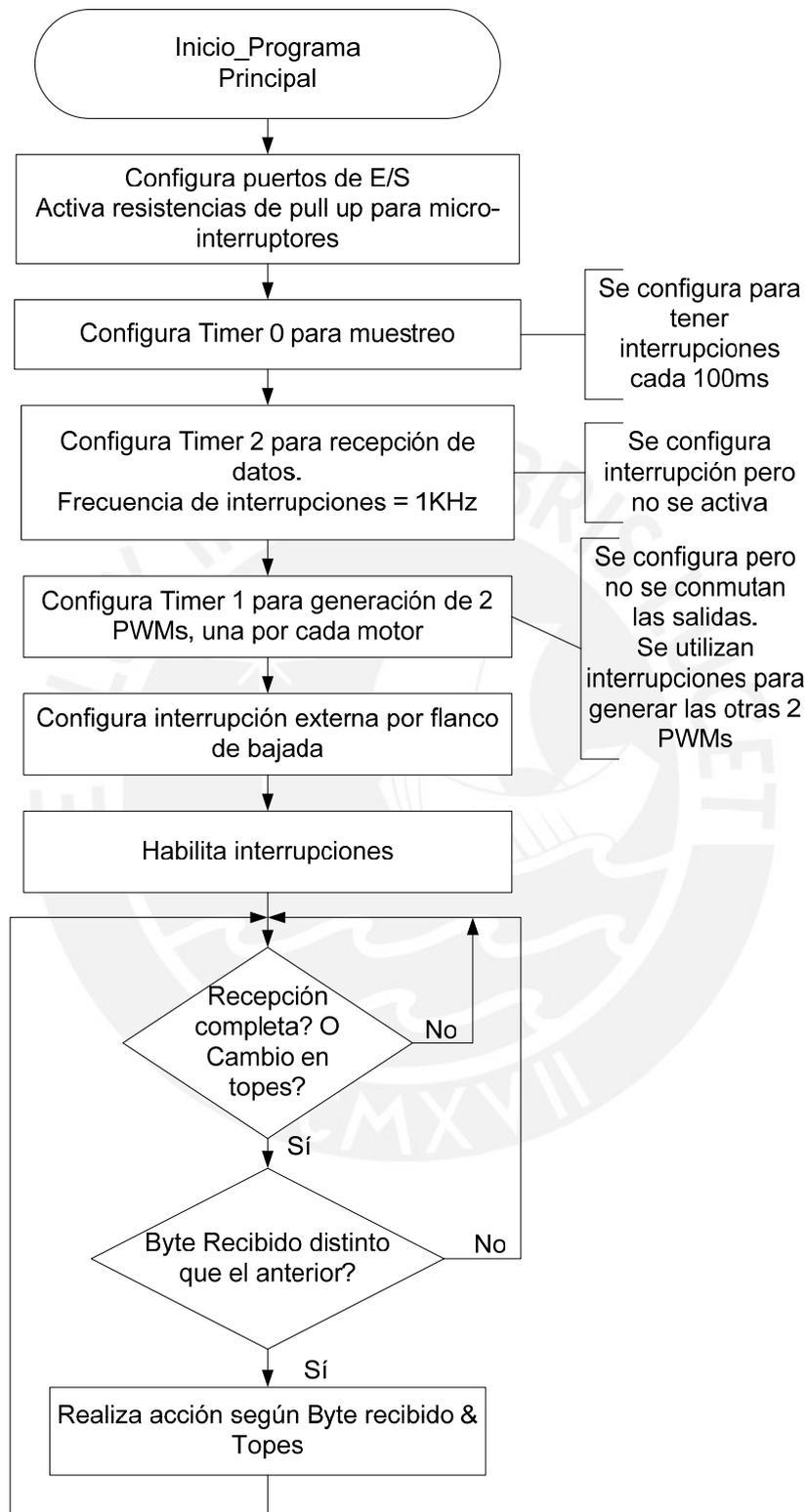


Figura 3.32: Diagrama de Flujo de Programa Principal del microcontrolador

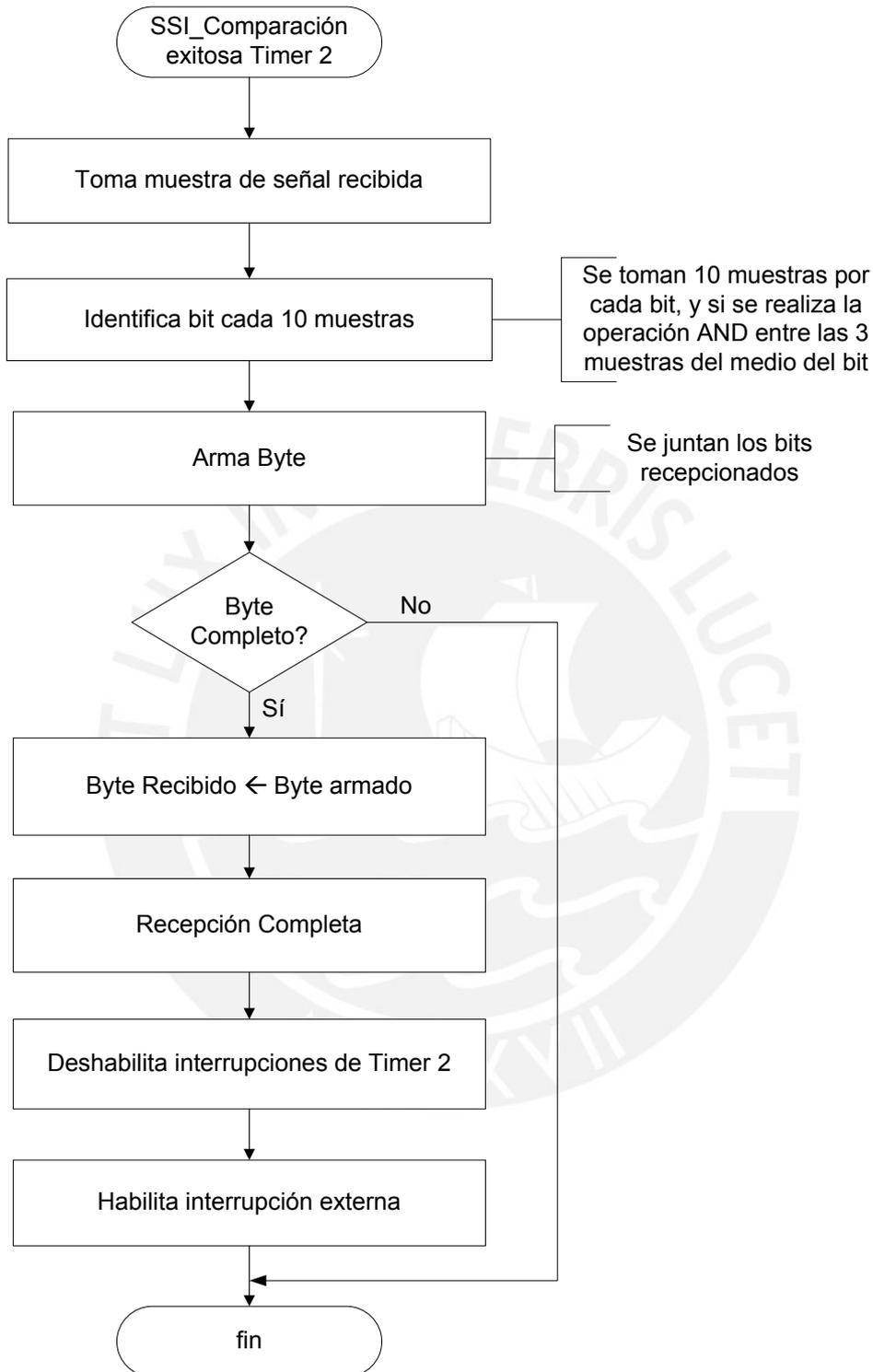


Figura 3.33: Diagrama de flujo de la subrutina de servicio de interrupción del Temporizador 2 – Recepción de instrucciones

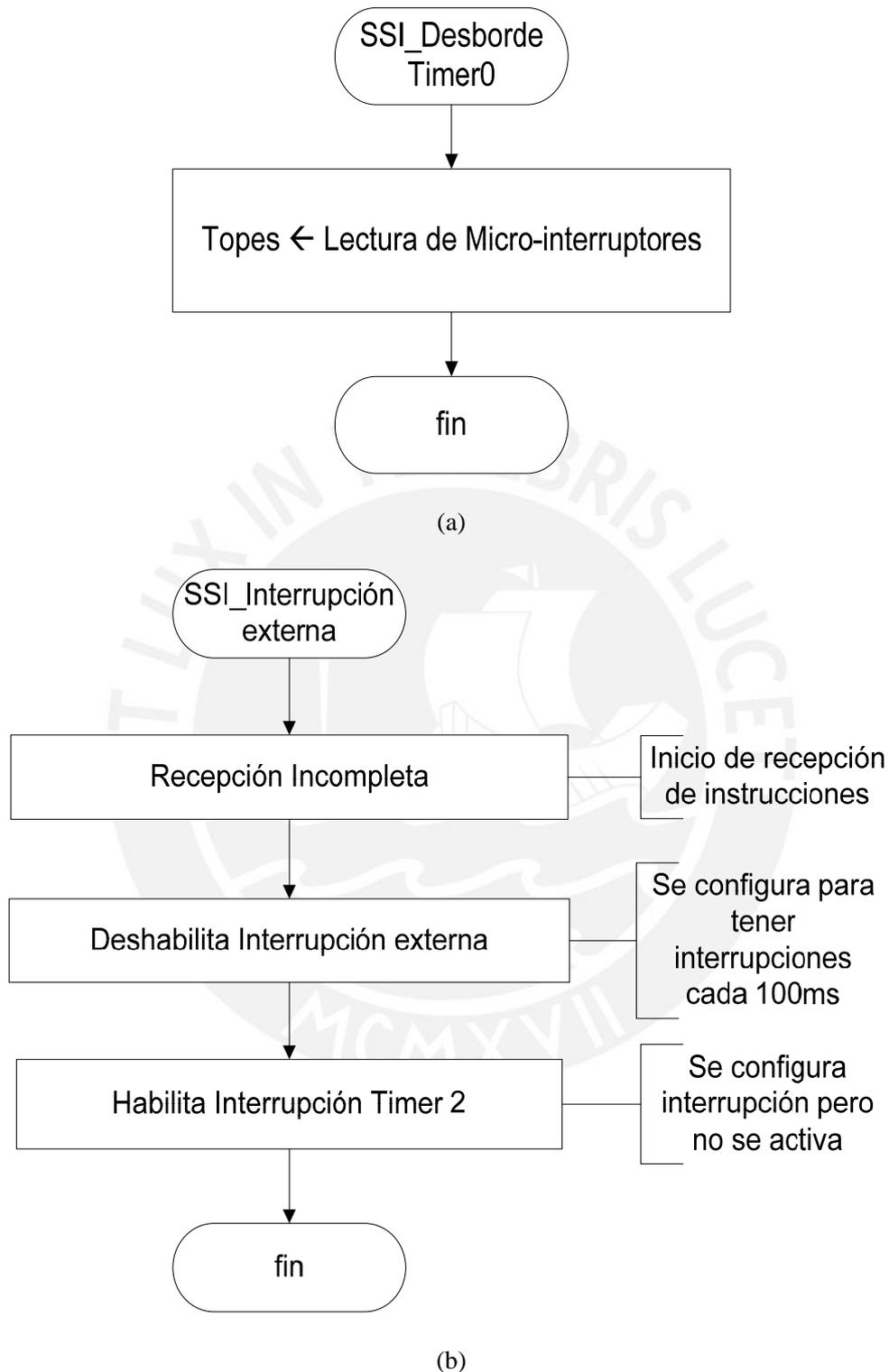


Figura 3.34: Diagramas de flujo (a) subrutina de interrupción de Temporizador 0 – muestreo de micro-interruptores. (b) subrutina de interrupción externa – Inicio de recepción de instrucciones.

3.6.6 Control de motores

Se utiliza el esquema propuesto en la hoja de datos (Anexo XII) que se muestra en la siguiente figura:

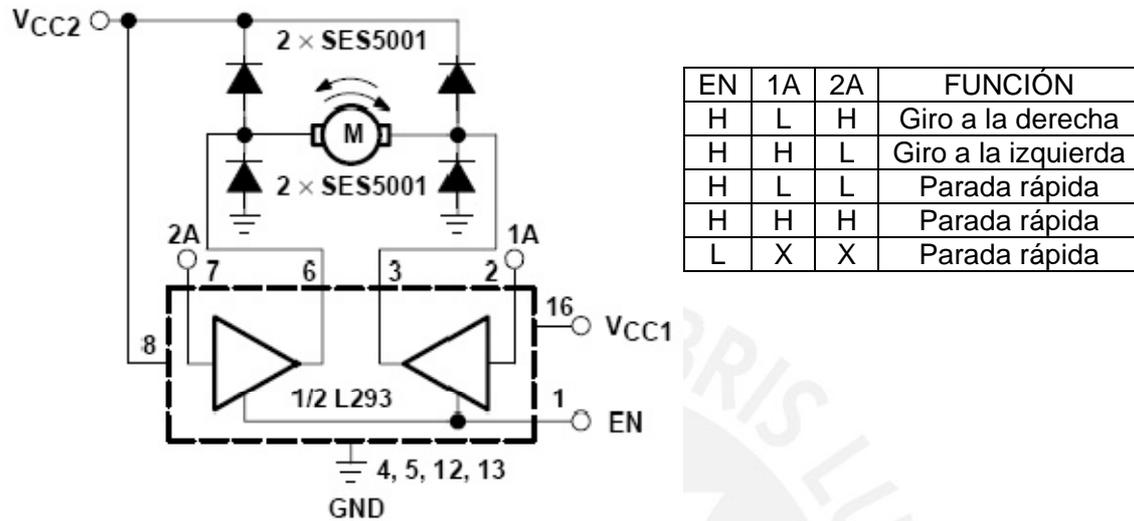


Figura 3.35: Puente H para el control de un motor DC con inversión de giro.

FUENTE: Hoja de datos L293D (Anexo XII)

Los diodos de protección mostrados en la figura ya se encuentran internamente en el integrado L293D a diferencia del L293.

- Análisis de disipación de calor

Al manejar la etapa de potencia para los motores, este circuito suele calentarse y producir una falla, por lo que es necesario realizar un análisis para observar su disipación de calor y la necesidad de utilizar un disipador.

De la hoja de datos del circuito L293D (ANEXO XII) se tiene lo siguiente:

- Temperatura máxima de operación: 150°C.
- Resistencia térmica de la junta al ambiente: 67°C/W.

El puente H controla a dos motores que presentan una corriente nominal de 200mA, los cuales se van a utilizar con un factor de trabajo alrededor del 50% (punto 3.4.4) con lo que la corriente estará próxima a los 100mA. Considerando que los dos motores pueden funcionar a la vez se tendrían 200mA a 12V lo que disiparía una potencia de 2,4W. Si se agrega un rango de guarda de 30% la potencia a disipar sería de 3,12W.

Aplicando el concepto de disipación de calor, para una temperatura ambiente de 25°C, para que no se necesite una forma alternativa de disipación de calor se tiene que cumplir:

$$\frac{150^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}}{3,12\text{W}} > 67^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$40,06^{\circ}\text{C}/\text{W} > 67^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

Lo cual no se cumple, por lo que se necesita una forma de disipar calor. En la hoja de datos se presenta la alternativa de agregar un sumidero de calor en la tarjeta de circuito impreso, lo que contribuye a una mayor disipación de calor (Figura 3.36 (a)). Según la gráfica de la figura 3.36 (b) se observa una relación entre la longitud "l" y la resistencia térmica equivalente, así como la potencia máxima a disipar.

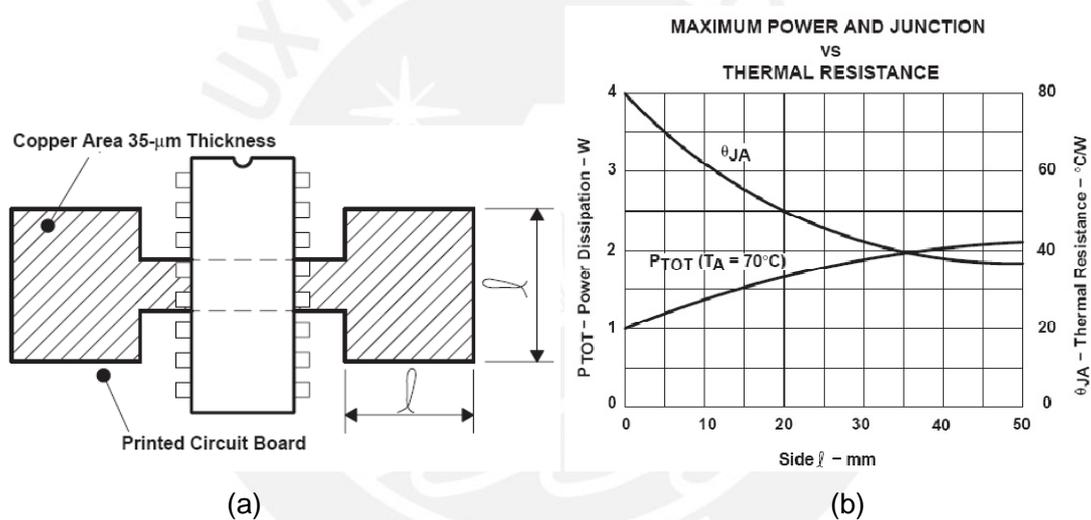


Figura 3.36: (a) Diseño de sumidero de calor para el puente H L293D. (b) Gráfico de la potencia máxima a disipar y resistencia térmica versus la longitud "l"

FUENTE: Hoja de datos L293D (Anexo XII).

De la gráfica anterior se advierte que se puede llegar a valores inferiores a la resistencia térmica necesaria para un l = 40mm, con lo que se tiene una resistencia de 38°C/W y se disiparía satisfactoriamente el calor producido.

3.6.7 Otros componentes

Regulador de voltaje:

Para alimentar a los circuitos electrónicos de la estación de monitoreo y el dispositivo sumergible, se utilizan reguladores de voltaje de 5V. El regulador de voltaje que se

utiliza es la serie de circuitos integrados KA78XX de Fairchild (Anexo XVI), se utiliza el circuito KA7805 para el regulador de 5V [22]. El diseño de estos circuitos sigue las pautas de su hoja de datos y se muestra en la figura 3.37.

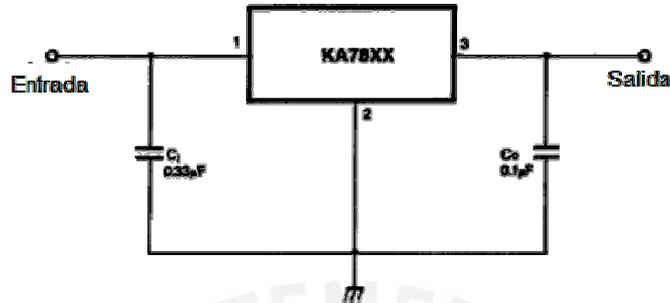


Figura 3.37: Diseño esquemático del regulador de voltaje.
FUENTE: Hoja de datos KA78XX Fairchild (Anexo XVI)

Este regulador puede entregar hasta una corriente de 1A por lo que se tiene que estimar la corriente consumida por los circuitos a los que alimentarán. Se tienen tres reguladores, cada uno asociado a una de las partes del sistema: dispositivo sumergible-control, dispositivo sumergible-puente H y estación de control. Las tablas siguientes muestran las corrientes máximas esperadas de los circuitos, para facilitar la lectura de la tabla se sigue el esquema mostrado en la figura 3.44 al final del capítulo.

<u>Estación de Control</u>		<u>Dispositivo sumergible-control</u>	
Circuito	Corriente (mA)	Circuito	Corriente (mA)
Temporizador 100Hz	20	Atmega 8	15
Inversor	10	Op amp de acondicionamiento	10
Divisor de Frecuencia	30	Topes x4	60
Temporizador monostable	50	PLL	20
Convertor P/S	63	Opamp Comparador	10
Temporizador 40KHz	30	Optoacoplador – LED x5	50
Op amp seguidor	30		
TOTAL	233	TOTAL	165

<u>Dispositivo sumergible- control motores</u>	
Circuito	Corriente (mA)
Optoacoplador-transistor x 5	30
Control puente H	30
TOTAL dispositivo sumergible- C. motores	60

Tabla 3.10: Corrientes consumidas por los circuitos electrónicos dependientes de los reguladores de 5V.

- Análisis de disipación de calor:

Según la potencia disipada por el regulador de voltaje puede llegar a necesitar un disipador de calor adicional para su correcta refrigeración.

Según la hoja de datos del circuito regulador (ANEXO XVI) se tiene lo siguiente:

- Temperatura máxima de operación: 125°C.
- Resistencia térmica de la junta al ambiente: 65°C/W.

En base a la resistencia térmica del circuito integrado, y la temperatura ambiente extrema de trabajo de 25°C, como se observó en el punto 3.1, se puede calcular la corriente máxima que puede brindar el circuito sin necesidad de un disipador de calor.

Se tiene que la resistencia térmica se halla $R_t = \frac{\Delta T^\circ}{Q}$, además se tiene que la potencia térmica a disipar es la suministrada por el circuito, es decir: a la potencia consumida $P=V.I$ en donde $V=5v$ para el regulador de 5V 7805.

Se plantea que la resistencia térmica necesaria para disipar el calor producido por el circuito, en función de la corriente consumida (I), sea mayor que la resistencia de la junta del circuito integrado, ya que de esta forma se deriva que la resistencia térmica del integrado es suficientemente baja para una correcta ventilación de la junta. Se tiene:

$$\frac{125^\circ C - 25^\circ C}{5.I} > 65^\circ C/W$$

$$I < 307mA$$

Para la corriente de 307mA se tiene una situación extrema, por lo que se asume un rango de guarda de 30%, con lo que la corriente máxima que podría suministrar el circuito sin disipador sería de 215mA.

De esta forma se tiene que el circuito regulador de voltaje de la estación de control necesita disipador ya que, como se puede apreciar en la tabla 3.10, la corriente total

supera los 215mA; caso contrario ocurre con los casos del dispositivo sumergible que sólo llegan 165mA y 60mA.

Seguidor de voltaje y acondicionamiento de señal:

Se utiliza un amplificador de voltaje como seguidor de voltaje o buffer a la salida del VCO para la transmisión de instrucciones con la finalidad de evitar el efecto de carga en el lazo de realimentación del PLL este Op amp debe presentar una velocidad de respuesta rápida para no variar la señal generada por el VCO. Se escoge el TL081 de ST (ANEXO XVII) que ofrece buenas características en frecuencia con una velocidad de respuesta de 16V/us.

El diseño de estos Op Amp es el siguiente [26]:

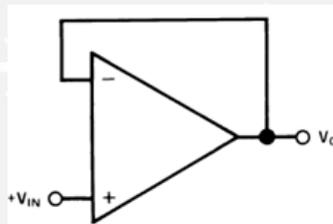


Figura 3.38: Circuitos esquemático de Op amp. Circuito seguidor de voltaje

Interfaz puente H - microcontrolador:

Como estos dos módulos se encuentran aislados eléctricamente con la finalidad de evitar ruidos en las señales de control se utilizan optoacopladores para transmitir la señal de control del Atmega8 al puente H que comanda los motores.

El código utilizado es el PC827 de SHARP (Anexo XVIII) el cual contiene 2 optoacopladores por integrado. El diseño es el mismo que aparece en la hoja de datos y se puede apreciar en la figura 3.39.

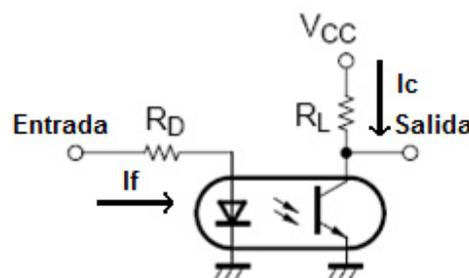


Figura 3.39: Diseño Optoacopladores para interfaz Atmega8 - Puente H
FUENTE: Hoja de datos PC827. ANEXO XVIII

Según la hoja de datos del dispositivo se escoge $R_L=1K\Omega$ (Fig.11 del ANEXO XVIII), para que trabaje correctamente a 4KHz (frecuencia usada en las ondas PWM para el control de los motores, véase el punto 4.3). De hacer esto la corriente que circula por dicha rama, cuando se está en saturación y asumiendo un voltaje colector-emisor de 0,2v, sería:

$$I_c = \frac{5v - 0,2v}{1K\Omega} = 4,8mA$$

En la figura 12 del ANEXO XVIII se aprecia que para que el valor asumido de V_{ce} de 0,2V sea preciso, la corriente directa I_f tiene que ser 10mA. Lo cual se cumple si (asumiendo el voltaje del LED igual a 1,2v):

$$10mA = \frac{5v - 1,2v}{R_D}$$

$$R_D=380\Omega$$

Se selecciona $R_D=330\Omega$ por ser un valor comercial, con lo que la corriente I_f aumenta lo que garantiza un voltaje V_{ce} en saturación cercano al asumido de 0,2v.

Micro-interruptores:

Estos son usados para determinar los límites del giro de la cámara, cuando se encuentran en su estado sin excitación, debido a la activación de resistencias de pull up en el microcontrolador, se recibe 5 voltios y 0, cuando la cámara los presione. El diseño del circuito electrónico de estos micro-interruptores es el mostrado en la figura 3.40.

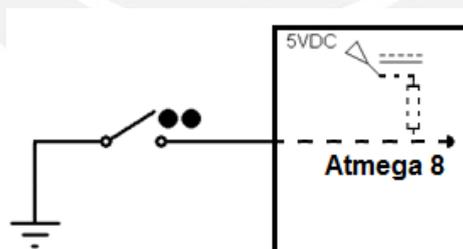


Figura 3.40: Circuito esquemático de micro-interruptores que limitan el giro de la cámara.

Mando de control:

El mando de control consta de dos elementos: la palanca tipo arcade y un pulsador. La palanca permite controlar la orientación de la cámara, enviando un voltaje digital al conversor paralelo-serial. Para encender la iluminación se presiona y suelta el pulsador

para que se prenda o apague. En la figura siguiente la configuración de estos componentes.

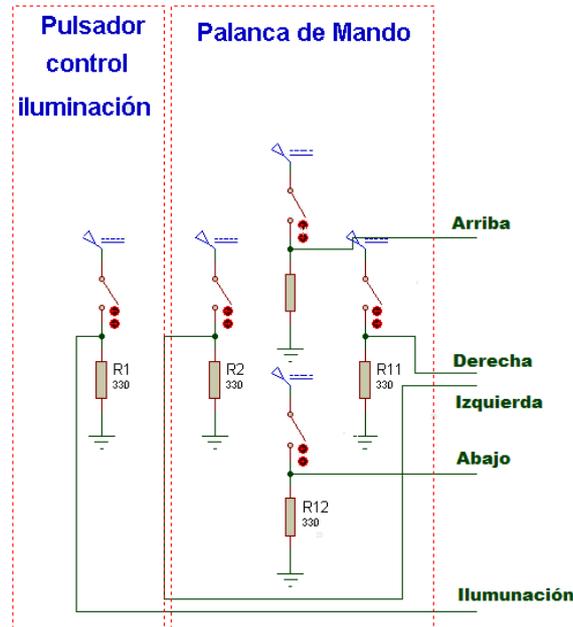


Figura 3.41: Circuito esquemático de pulsadores de la palanca de mando y pulsador de control de iluminación infrarroja.

3.7 Fuente de Alimentación

Las embarcaciones de investigación del IMARPE cuentan con baterías recargables de 12V. Para aislar la parte de potencia de la de control se utilizan dos baterías. Una para la alimentación de los motores y la iluminación, la otra, para la alimentación de las tarjetas de control.

3.8 Selección de cable

El cable es el medio de alimentación y transmisión de datos entre el dispositivo sumergible y la estación de control, se quiere que haya el mínimo ruido posible y una baja pérdida de potencia por el cable. El cable tiene que estar diseñado para soportar las características del medio marino y tensiones altas para prever cualquier situación.

En este tipo de aplicación se utiliza un cable umbilical con la protección necesaria para el agua de mar y aislamientos especiales para la transmisión de señales. Este tipo de cables no se fabrica en el Perú, entonces es necesario recurrir a empresas extranjeras especializadas en este tipo de cable.

Los requerimientos para el cable umbilical son:

- 2 cables para comunicación, en la presente aplicación sólo se utiliza uno de ellos.
- 4 cables alimentación.
- 1 cable coaxial para transmisión de video.

Se contactó con la empresa Teledyne Storm Products y se encontró posible utilizar el cable SPD-22548 que ofrece mayores conductores que los requeridos pero es el más próximo a los requerimientos.

En la figura 3.42 se muestran el cable seleccionado. Sus características son:

- 2 Conductores 2.0 mm²
- 1 STP .50 mm²
- 1 Cable Coaxial de 75Ω
- 1 Cable blindado de cuatro conductores Quad .22 mm²
- 2 Pares 1.34 mm²
- 1 Cable de seguridad
- Aislamiento del agua
- 14.5 mm de diámetro
- Aislante externo de polipropileno de color amarillo
-

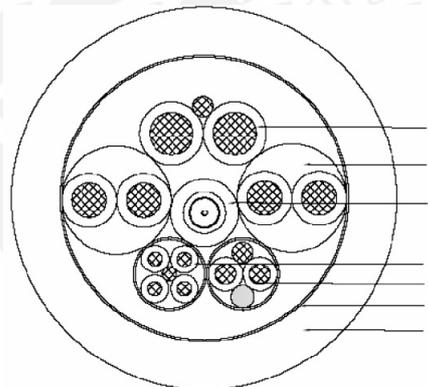


Figura 3.42: Cable SPD.22548 de Teledyne Storm Products

3.9 Estación de monitoreo

En la estación de monitoreo se encuentra la palanca de control, el pulsador de encendido/apagado de iluminación infrarroja y un monitor donde se visualiza lo filmado. Una alternativa para los monitores de CCTV es visualizar lo filmado en una laptop. Para poder visualizar la grabación en una laptop es necesaria una tarjeta sintonizadora de TV.

En el mercado existen varios tipos de estos dispositivos que se conectan vía USB y permiten grabar incluso directamente en DVDs de video gracias a los aplicativos que vienen con la tarjeta.

El estas tarjetas soportan el formato de video que se transmite desde la cámara (NTSC). Las características que presentan estas tarjetas son similares entre las distintas marcas. En la figura 3.43 se observa el modelo Stick KWorld PlusTV que se escoge para la presente aplicación por su pequeño tamaño y el software con el que viene que permite grabar directamente a DVDs. El modelo está disponible en el mercado peruano.



Figura 3.43: Tarjeta para visualizar video en laptop modelo Stick KWorld PlusTV

3.10 Diagrama de bloques de conexiones de circuitos electrónicos diseñados

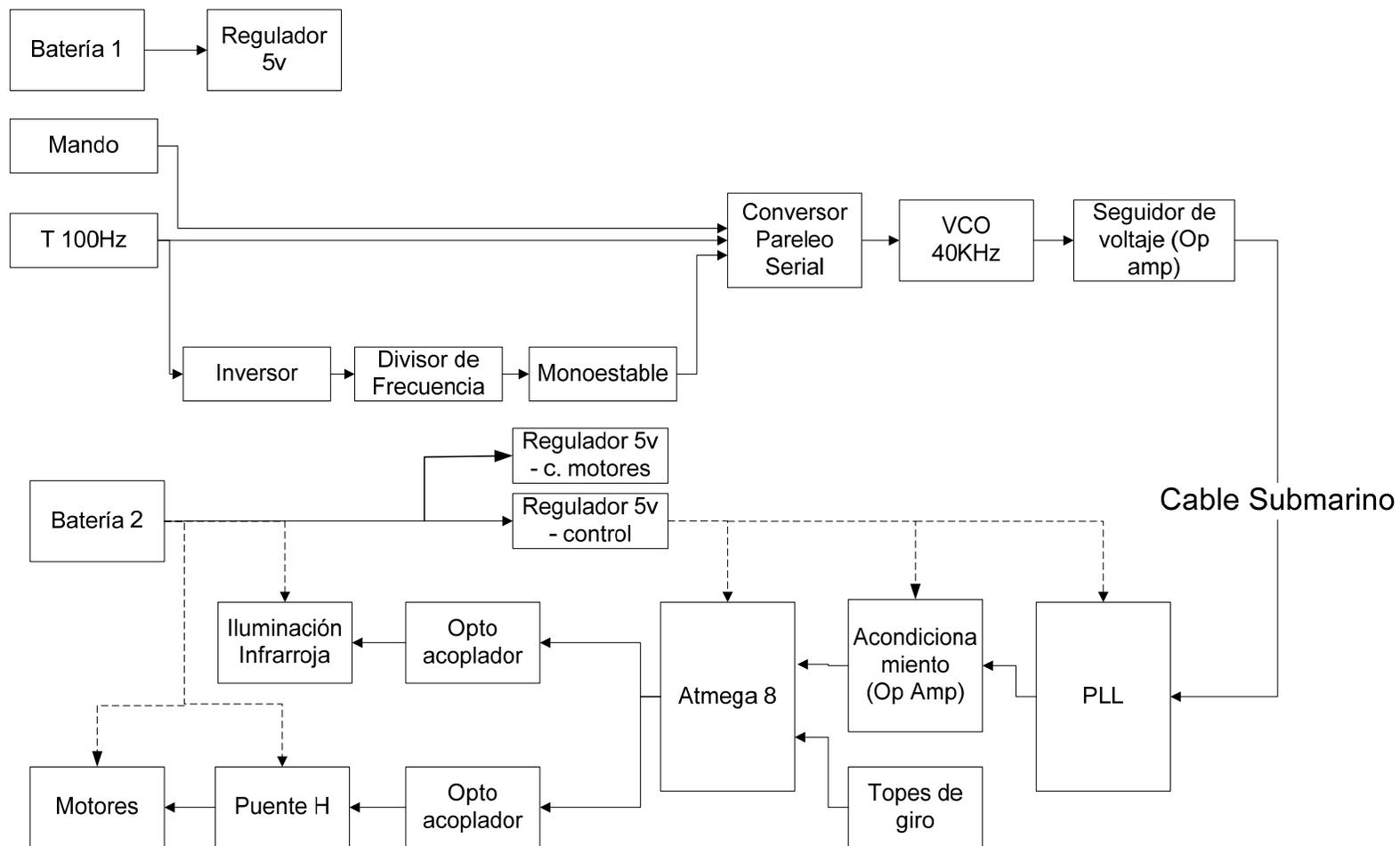


Figura 3.44: Diagrama de bloques de conexiones de circuitos electrónicos diseñados

CAPÍTULO 4: SIMULACIÓN DE LOS CIRCUITOS DEL SISTEMA DE MONITOREO

Las simulaciones se realizan utilizando los programas VMLAB, para las simulaciones del microcontrolador y el Proteus, para los otros circuitos e interacciones con el microcontrolador.

4.1 Simulación del circuito de transmisión

La transmisión de instrucciones se realiza periódicamente, cada 100ms se envían tramas de 7 bits de datos de los cuales se utilizan solo 5 para la aplicación.

Para lograr esta transmisión con los tiempos deseados se realizan las simulaciones de los circuitos generadores de señales que son los que comandan la transmisión.

Simulaciones de los osciladores controlados por voltaje de 40Khz y 100Hz.

En las figura 4.1 y 4.2 se muestran las simulaciones de los VCOs con el voltaje de entrada respectivo para obtener la frecuencia deseada, la que se observa en el medidor de frecuencia.

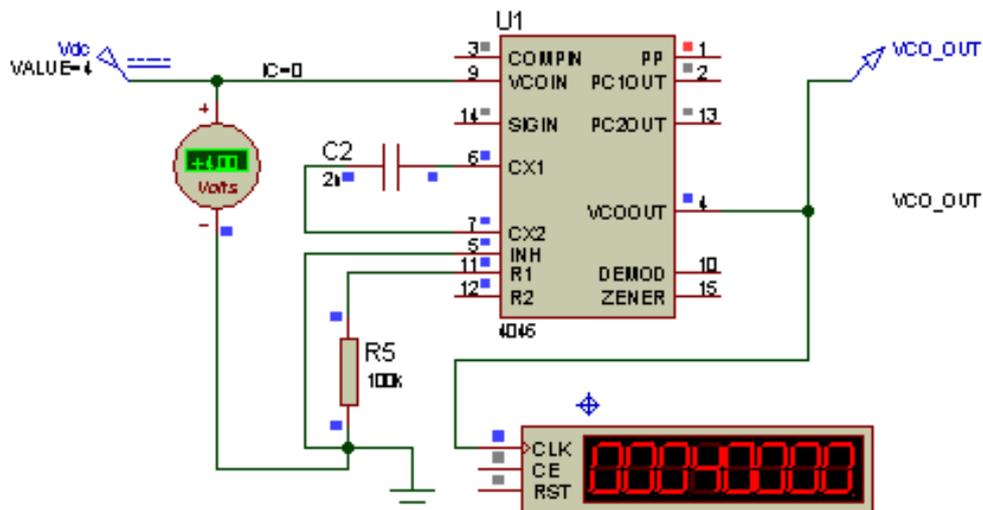


Figura 4.1: Simulación de VCO de para obtener 40KHz. El voltaje de entrada es de 4V, valor que se puede obtener con el divisor de tensión diseñado.

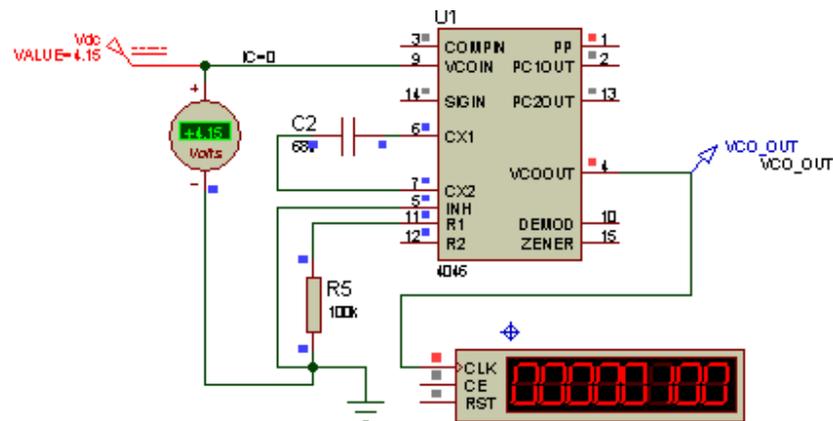


Figura 4.2: Simulación de VCO de para obtener 100Hz. El voltaje de entrada es de 4,15V, valor que se puede obtener con el divisor de tensión diseñado.

Simulación del divisor de frecuencia:

En la Figura 4.3 se observa la simulación del divisor de frecuencia de 100Hz a 10Hz, lo cual se utiliza para mantener la trama de los bits transmitidos con anchos de pulso y duración de trama correctos.

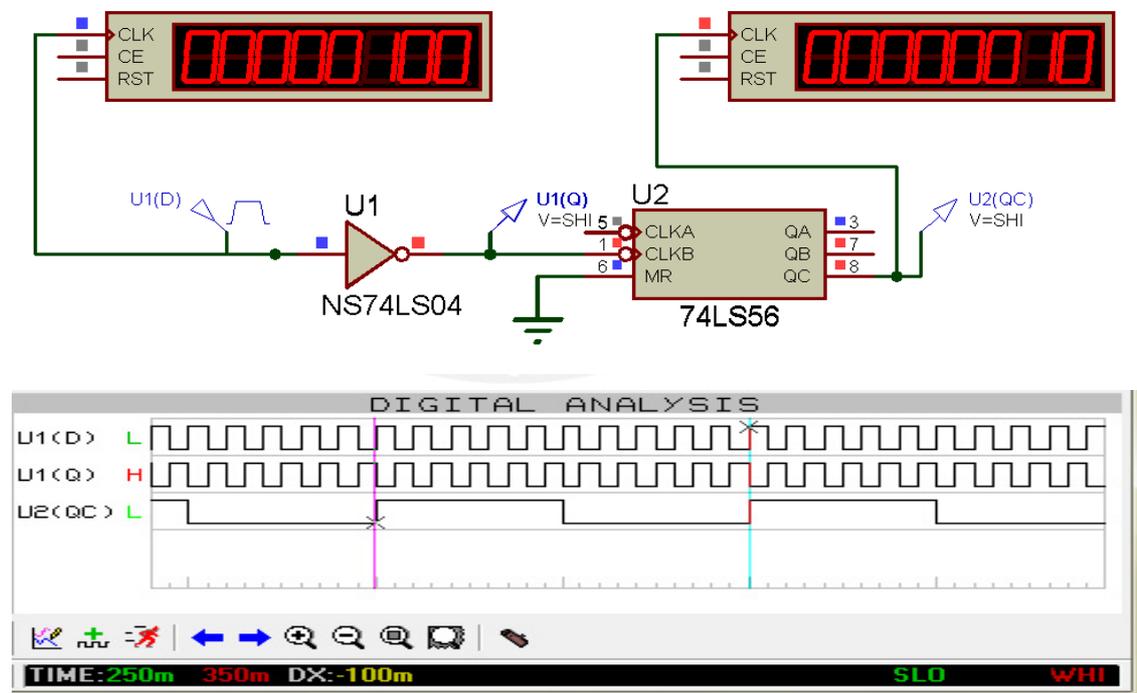


Figura 4.3: Simulación del divisor de frecuencia 74LS56. Divide de 100Hz a 10Hz

El circuito integrado del monoestable no se simula, ya que no se encontró el modelo de este circuito para simulación, pero al depender de sólo dos variables (R y C) es poco probable que haya algún problema con este integrado.

Convertor paralelo-serie:

Para completar las simulaciones de la transmisión se simula el convertor paralelo-serie, el cual se encarga de transmitir los bits de las instrucciones en forma serial. Las entradas de reloj de éste circuito son simuladas con generadores de señales del propio programa. Así mismo se incluye el mando de control, como se aprecia en la figura 4.4.

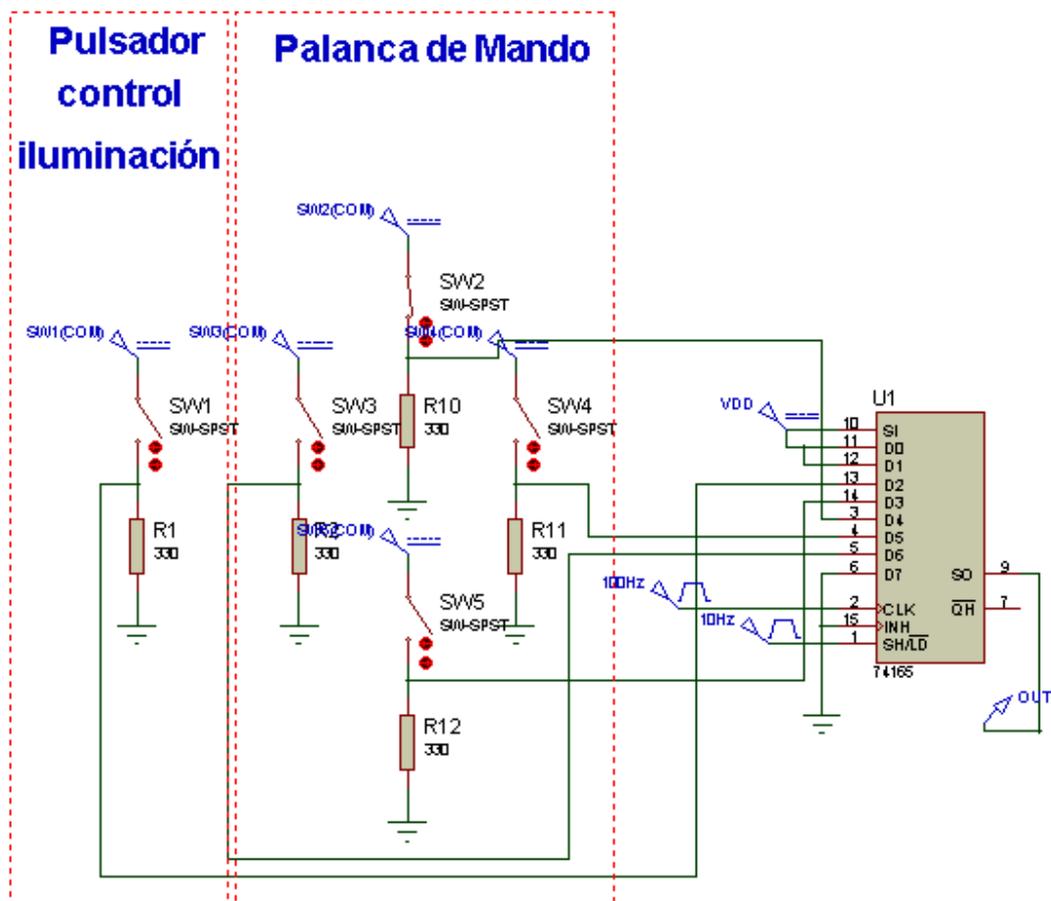


Figura 4.4: Circuito convertor paralelo-serie y mando a ser simulados.

La respuesta a la simulación se presenta en la siguiente figura 4.5.

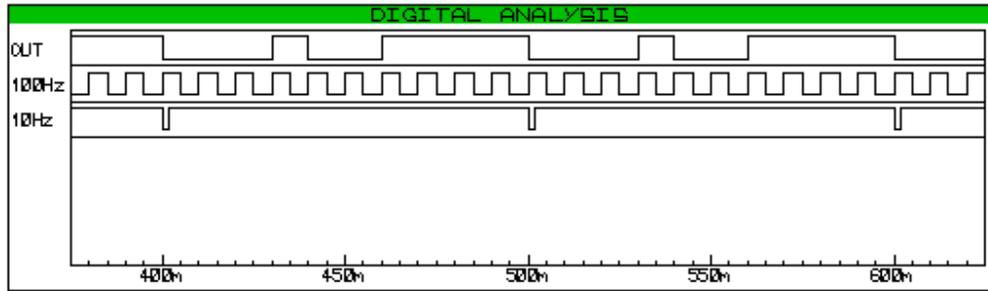


Figura 4.5: Gráfico de simulación de conversor paralelo-serie.

En la gráfica se aprecian las señales de entrada de 100Hz y 10Hz, además de la salida del conversor. Cada disparo de la señal de 10Hz se inicia la conversión de los bits, que se generan cada flanco de subida de la señal de reloj de 100Hz. Según la Figura 4.4, se simula que la palanca del mando de control está hacia arriba, lo que indica que se debe enviar la instrucción de “elevación”. De acuerdo a la tabla (a) de la figura 3.3 el bit 3 (contando como bit de inicio el bit 0) debería estar en nivel alto, y se observa en la simulación que efectivamente es así.

Una vez simuladas, por separado, todas las partes de la etapa de transmisión se simula el circuito junto con el seguidor de voltaje con el Opamp TL081. El circuito que se simula se muestra en la Figura 4.6. La salida del conversor se encarga de habilitar o deshabilitar al VCO para que se generen la señal de 40KHz según los bits correspondientes.

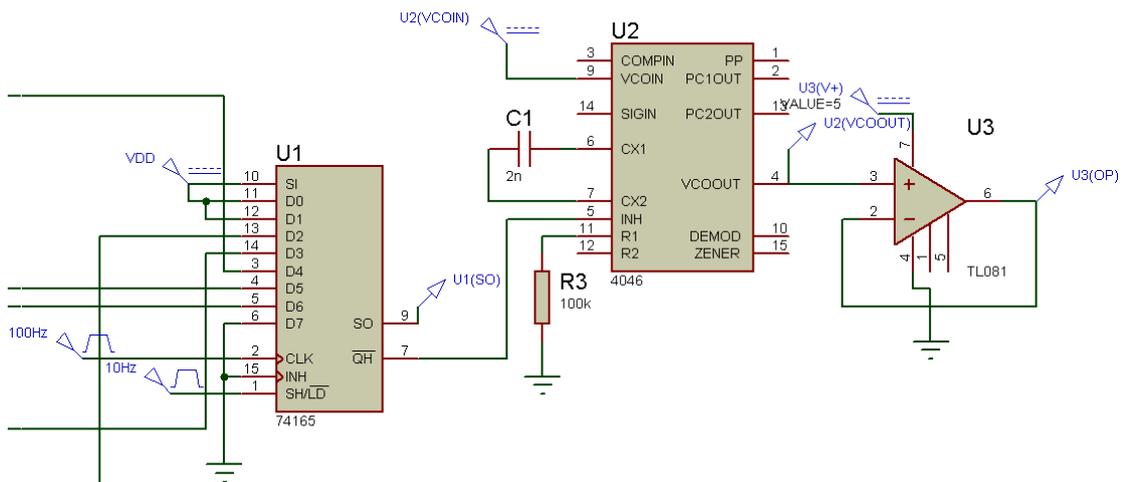


Figura 4.6: Circuito de salida del modulador ASK.

La simulación del circuito anterior se aprecia en la figura 4.7.

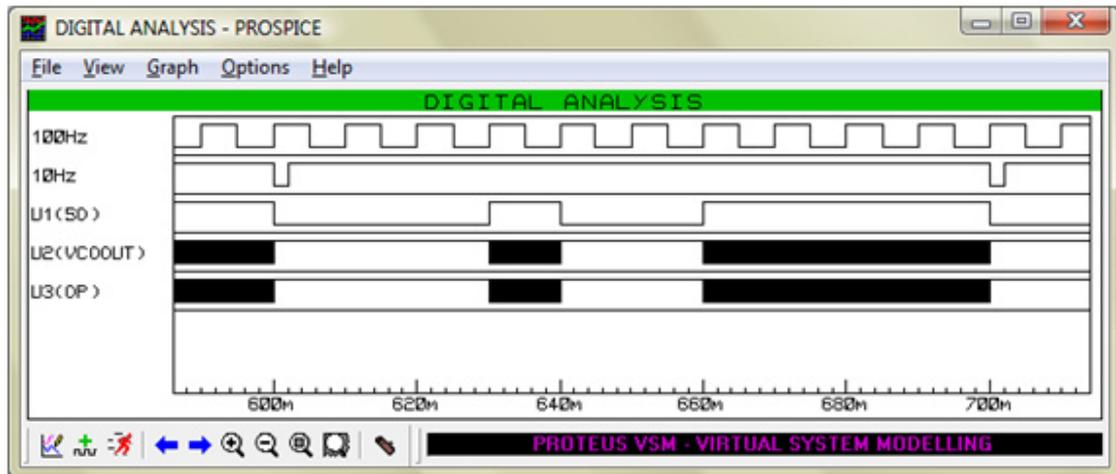


Figura 4.7: Simulación de modulador ASK

Se observa la misma transmisión que para las simulaciones anteriores, para la instrucción de “elevación”. En las señales de U2(VCOOUT) se observa la salida del VCO de 40KHz que obedece a la salida del conversor paralelo-serie. La señal U3(OP) grafica la salida del seguidor de voltaje del transmisor, con lo que se tiene la simulación completa del modulador ASK.

4.2 Simulación del circuito de recepción

La señal es recibida por un el PLL, que reconstruye la señal y genera un nivel en alta en el caso de recibir una señal de 40KHz, el que luego sirve como entrada para el microcontrolador para reconocer la instrucción. Como la salida del PLL varía constantemente, a pesar del filtro para la entrada del VCO; se utiliza un Op amp comparador para enviar niveles altos o bajos al microcontrolador.

En la figura 4.8 se muestra el circuito a simular y en la siguiente (figura 4.9) el gráfico del resultado de la simulación realizada.

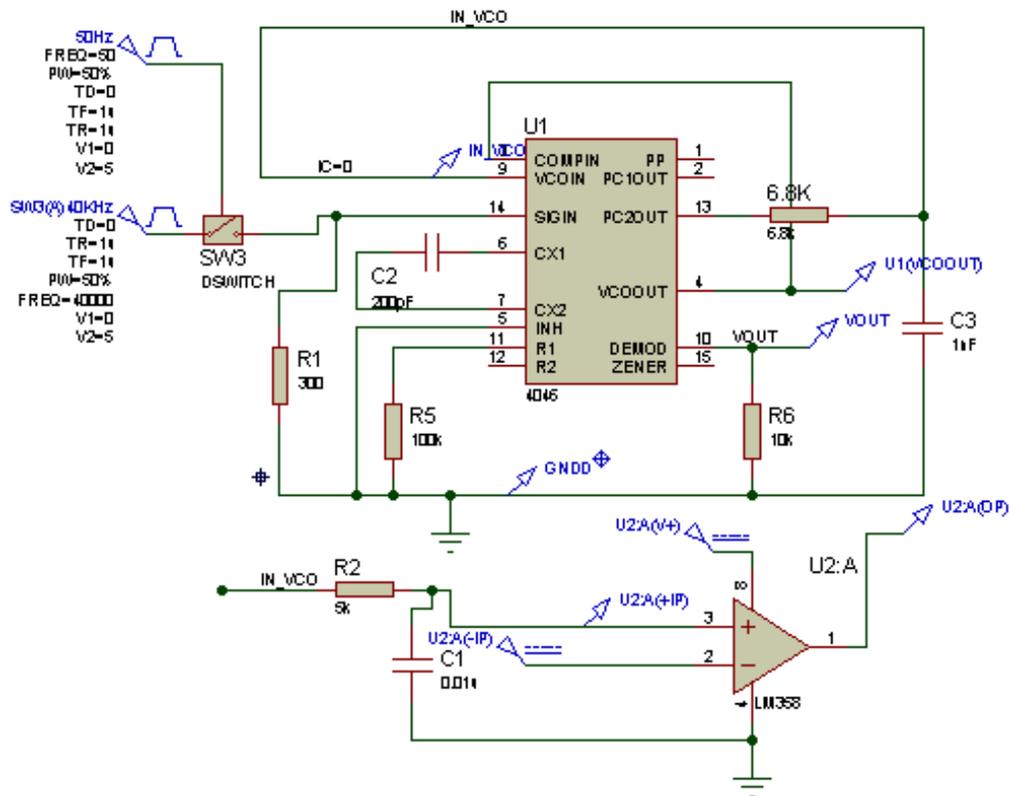


Figura 4.8: Circuito de recepción de instrucciones.

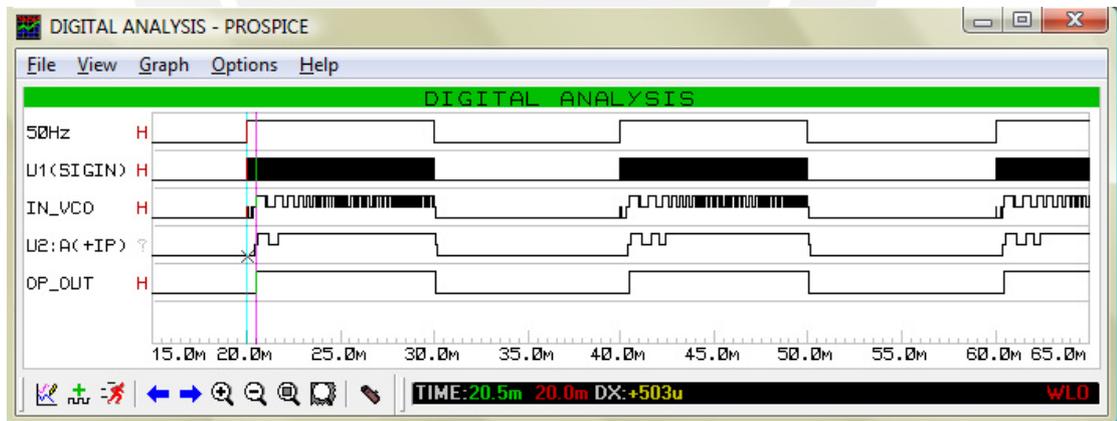


Figura 4.9: Gráfica de la simulación del circuito de recepción

La señal de entrada del PLL tiene una frecuencia de 40KHz, la cual se envía cada 50Hz para simular el ancho de pulso de los bits recibidos. De esta manera se tienen pulsos de 40KHz por intervalos de 10ms, equivalentes a los bits que se reciben en el sistema.

Cabe resaltar que la señal de voltaje se toma de la misma señal que ingresa al VCO y no del pin seguidor de voltaje destinado a este propósito, por fallas en el modelo del simulador. A éste seguidor de voltaje se le adiciona un filtro pasa-bajos para suavizar la señal recibida ya que se espera el cambio de nivel, y no las variaciones para determinar el bit recibido.

La primera señal que se aprecia es la de 50Hz que simula el ingreso los bits de instrucciones en forma de intervalos de 40Khz, como se observa en la siguiente señal. IN_VCO es la entrada al VCO luego del filtro del comparador de fase. La cual es nuevamente filtrada para obtener U2:A(+IP) que es la entrada positiva del OPAMP el que finalmente entrega una señal digital que ingresa al microcontrolador.

La señal recibida presenta un tiempo de establecimiento de 503us según la simulación, con lo que se tiene una duración menor de tiempo de bit, pero la recepción del bit no se ve afectada ya que para discriminar el nivel lógico de la señal se consideran las 3 muestras del medio del intervalo del bit.

Con esta simulación se respalda que los circuitos seleccionados, y su configuración, garantizan una correcta recepción de instrucciones.

4.3 Simulación del microcontrolador

El microcontrolador recibe la señal demodulada a la salida del opamp del circuito de recepción como se simula en la figura 4.8. La instrucción es almacenada y decodificada por el microcontrolador.

En base a la instrucción recibida y a los micro-interruptores, que indican cuando la máxima rotación se ha obtenido, el microcontrolador comanda a los motores destinados a la orientación y al control de la iluminación infrarroja.

Para el control de los motores se utilizan ondas PWM para controlar la velocidad de giro de los motores, el programa permite el cambio del factor de trabajo de esta onda para cada motor según se calibre. En la figura 4.10 se observa el caso hipotético que las 4 ondas PWM se envíen al controlador de los motores. Se tienen distintos factores

de trabajo para las dos señales superiores que las inferiores, ya que las dos primeras corresponden a un motor y las siguientes al otro. Esto permite calibrar la velocidad de los motores según el comportamiento que se tenga.

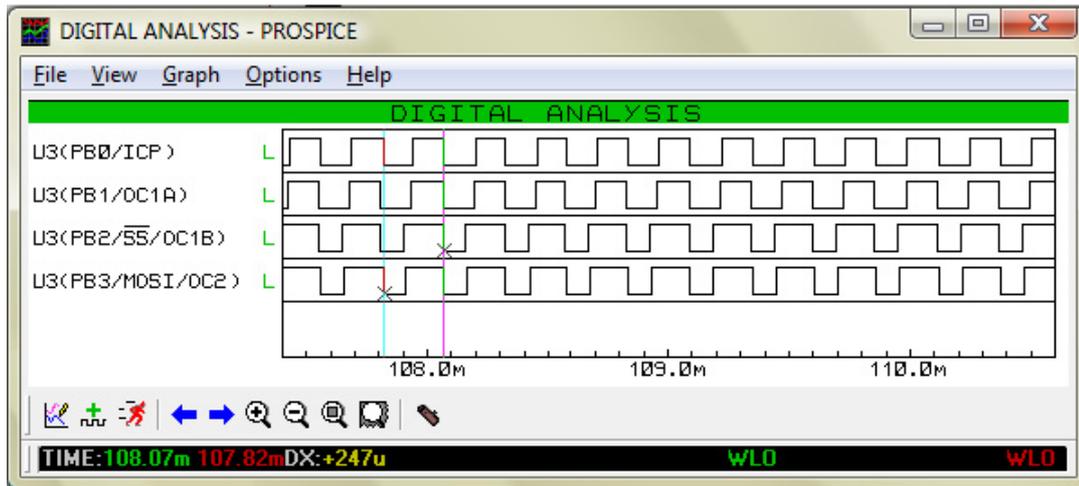


Figura 4.10: Generación de ondas PWM del microcontrolador Atmega8

En la simulación se observa que el periodo de la señal es de 247u, lo que equivale a una frecuencia aproximada de 4KHz,

La simulación del microcontrolador se realiza obviando el proceso de modulación, ya que este proceso incrementa demasiado el tiempo que se toma para realizar la simulación; además, como ya se observó en las anteriores simulaciones la modulación y demodulación se realizan de forma eficaz. De esta forma se tienen simuladas las entradas del mando (palanca de mando y control de iluminación) y los topes de giro, y las salidas: las ondas para los motores y la señal de control de iluminación; como se muestra en la figura 4.11.

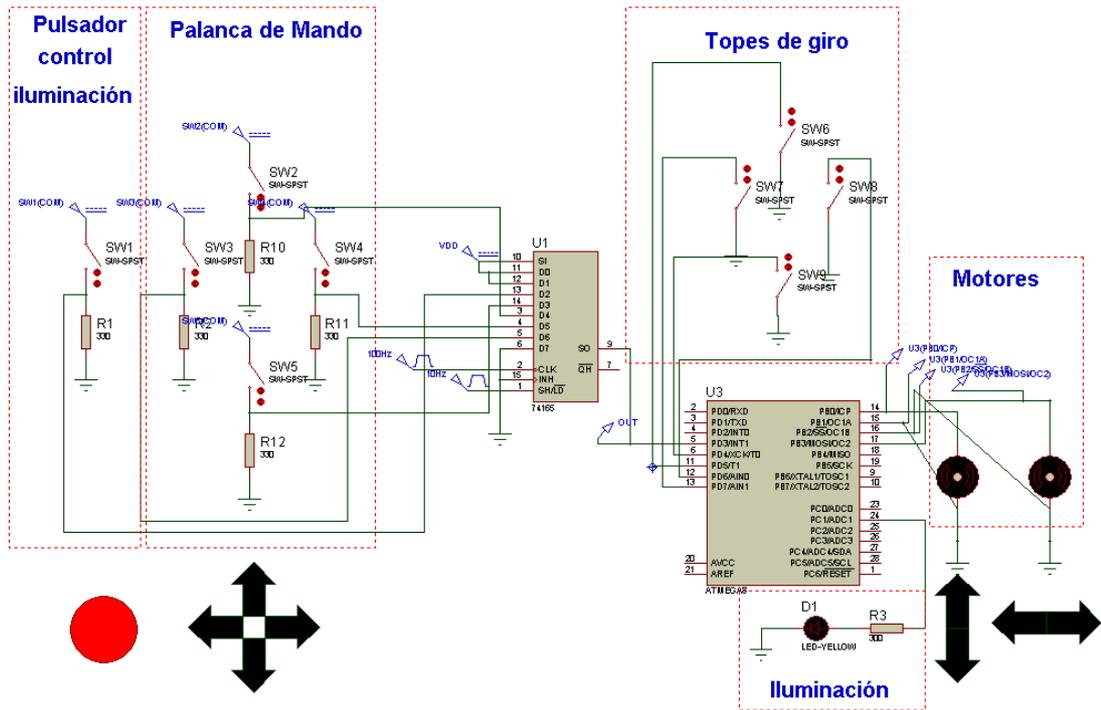


Figura 4.11: Circuito de simulación del microcontrolador

Al realizar la simulación se tiene el caso de la instrucción elevación-derecha para lo cual los motores simulados giran en el sentido que permiten este movimiento (figura 4.12).

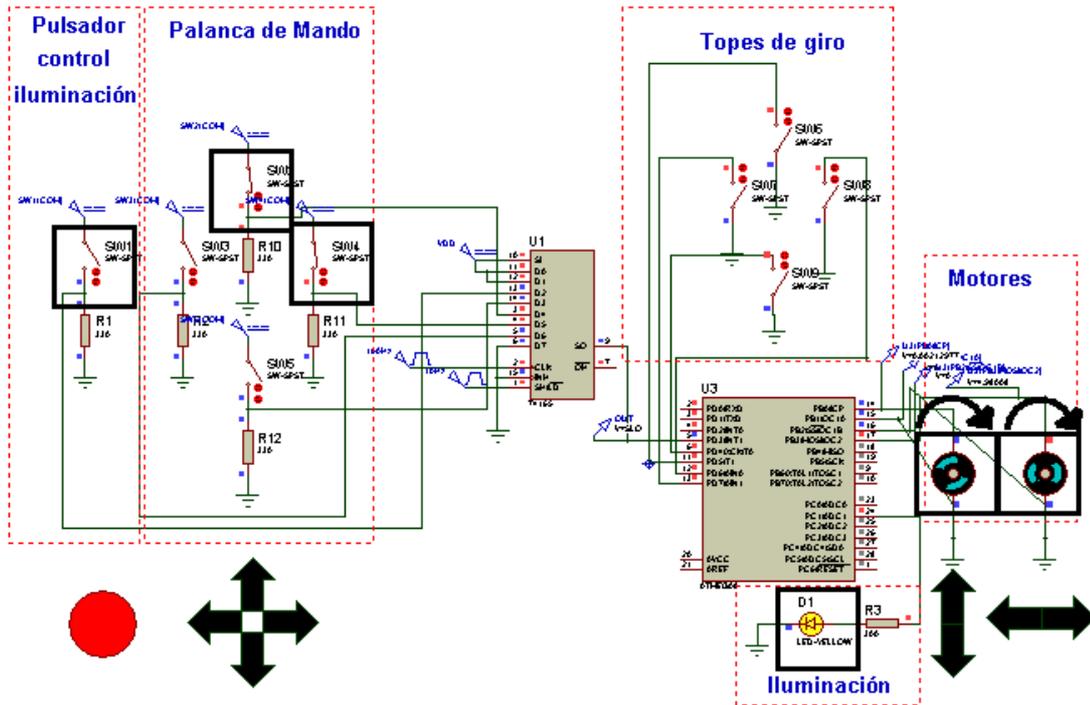


Figura 4.12: Simulación del microcontrolador para la instrucción elevación derecha

En los recuadros se observan los pulsadores de elevación y derecha presionados, producto de direccionar la palanca de mando hacia la esquina superior derecha. También se ha presionado el pulsador de control de iluminación y se ha soltado luego de un tiempo mayor a 100ms. Se observa el giro de los dos motores y un diodo LED encendido, que representan el resultado obtenido por el control del microcontrolador de forma satisfactoria.

CAPÍTULO 5: PRESUPUESTO

Para la implementación del sistema de monitoreo submarino se elabora un presupuesto estimado de los elementos principales. Cabe resaltar que para los elementos más costosos como el cable umbilical y, sobre todo el chasis, se debe continuar con las conversaciones para ultimar detalles para las compras.

La mayor parte de elementos para el diseño se pueden conseguir en el mercado local, sólo los motores, el chasis y el cable se tendrían que importar ya que en el Perú no se encuentran representantes de empresas comercializadoras de los componentes seleccionados o similares.

El financiamiento para la implementación del presente diseño puede obtenerse mediante instituciones estatales como el Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC) por tratarse de un proyecto para el desarrollo tecnológico del IMARPE. Además, la Dirección General de Investigaciones en Pesca y Desarrollo Tecnológico del IMARPE ha presentado al CONCYTEC, como parte de un documento sobre las metas del presente año, el desarrollo de tecnologías para el monitoreo submarino, por lo que se puede pedir el financiamiento bajo esta premisa.

El presupuesto se muestra en 3 tablas: la primera (tabla 5.1) muestra el presupuesto de los elementos del sistema de monitoreo; en la tabla 5.2 se aprecian los precios de los circuitos electrónicos a utilizar y por último se muestra una tabla (tabla 5.3) donde se muestra el presupuesto total. En las tablas se encuentran los nombres de las empresas y medio de contacto. El costo de todos los componentes que se requieren para el desarrollo de este proyecto es de S/.42,018.20.

Tabla 5.1: Costo de los elementos del sistema de monitoreo

Elemento	Modelo / Comentario/ Cantidad	*Precio S/.	Empresa	Contacto	Ref. en tesis
Cámara de video	EQ550 EverFocus + lente LT-06060A 247USD + 69USD	1,011.20	SEGO	t. 442-1669 www.sego.com.pe	3.4.1
Chasis hermético	Precio promedio 3000.00 USD	9,600.00	Shark Marine Tecnovideo	sales@sharkmarine.com fabris@cctv.it	3.4.4
Cable	120m SPD-22548 25.50USD/m	9,792.00	Teledyne Storm Products	mcharlesworth@stormprod ucts.com	3,8
Motores	2und DME34S6DG900	150.00	Japan servo	www.nidec-servo.com/en/	3.4.3
Perfiles de aluminio	1m 041116 5m 041768	40.00	Furukawa	t. 470-3904	3.4.4
Palanca tipo arcade	1und	20.00	Santa Beatriz	t. 617-0909	3.3.2
Iluminación Infrarroja	1 módulo	500.00	Allthings Sales & Services	office@allthings.com.au	3.4.1
Usb video	1 und	150.00	Technologies Unlimited		3.9
TOTAL ELEMENTOS		21,263.20			

* Se considera un tipo de cambio de dólar es americanos de S/.3.2

Tabla 5.2: Costo de los componentes para la elaboración de los circuitos electrónicos del sistema de monitoreo

Elemento	Modelo / Comentario/ Cantidad	Precio S/.	Empresa	Contacto	Ref. en tesis
Microcon-trolador	Atmega 8 – Atmel	12.00	Importaciones Singapur	t. 426-1556	3.5
Puente H	L293D	9.00	P & S	t. 427-0271	3.4.5
Opamp 1	LM 358	2.00	P & S	t. 427-0271	3.6.4
Opamp 2	TL 081	4.00	P & S	t. 427-0271	3.6.4
PLL	3u HEF4046	4.50	P & S	t. 427-0271	3.3.2
Optoaco-plador	1und PC 817 2und PC 827	10.00	P & S	t. 427-0271	3.4.6
P/S 74LS165	1 und	2.00	P & S	t. 427-0271	3.4.6
Timer 4538A	1 und	1.50	P & S	t. 427-0271	3.4.6
Div freq. 74LS56	1 und	1.00	P & S	t. 427-0271	3.4.6
Regulador Voltaje	2und 7805	9.00	P & S	t. 427-0271	3.4.6
Otros	Resistencias, condensadores, baquelita para circuito impreso, cable.	200.00	P & S	t. 427-0271	
TOTAL COMPONENTES		255.00			

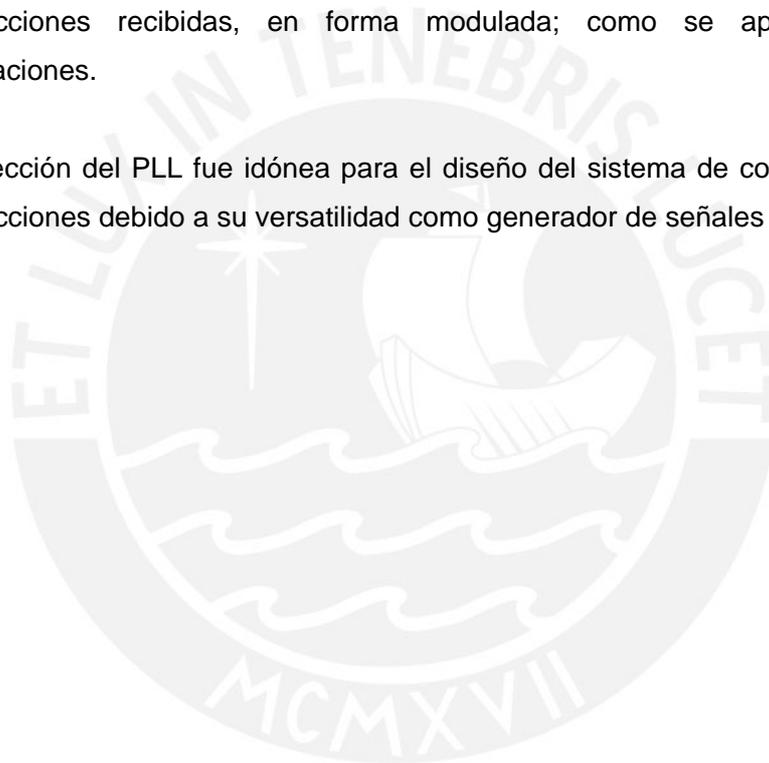
Tabla 5.3: Presupuesto total para la implementación del sistema de monitoreo

Concepto	Costo (S/.)
Total elementos	21,263.20
Total componentes	255.00
Trabajo de ingeniería para el diseño (1)	12,500.00
Supervisión (2)	4,000.00
Mano de obra (3)	4,000.00
TOTAL	42,018.20

- (1) Elaboración del diseño presentado en la presente tesis. Se estima considerando 500 horas de trabajo por S/.25 la hora.
- (2) Pago a un ingeniero que supervise la implementación del diseño durante un mes.
- (3) Pago a un técnico electrónico y un técnico mecánico para la implementación del diseño propuesto.

Conclusiones:

- Se logró diseñar un sistema de monitoreo submarino por video para el estudio de artes de pesca pasivos, a un costo menor (S/.42,000 aprox.) que los equipos en el mercado, utilizados para aplicaciones similares, cuyos precios mínimos se encuentran alrededor de los USD\$65,000.00.
- El Atmega 8 cumplió con la función de servir como elemento principal para el control de los motores de la orientación de la cámara y para interpretar las instrucciones recibidas, en forma modulada; como se aprecia en las simulaciones.
- La elección del PLL fue idónea para el diseño del sistema de comunicación de instrucciones debido a su versatilidad como generador de señales y receptor.



Recomendaciones:

- Continuar con el desarrollo de nuevas aplicaciones basadas en el sistema de monitoreo como: adicionar propulsores para la navegación del dispositivo submarino; agregar un girocompás para la dirección y sensores de presión, temperatura, salinidad, profundidad, etc.



Bibliografía

- [1] BRACK, Antonio y Mendiola, Cecilia
2008 Perú Ecológico. Enciclopedia Ecología del Perú. El Mar frío de la corriente peruana [en línea] Lima: [consultado 2008/24/04]
< http://www.peruecologico.com.pe/lib_c4.htm>
- [2] CADAVID, Jaime Isaza
2007 Tutorial Gratuito Transmisión Serial. Aporte de Politecnico Colombiano. [en línea]
<<http://www.librosdeluz.net/2007/10/transmision-serial-jaime-isaza-cadavid-libro-gratis-online.html>>
- [3] CARLSON, Bruce et al.
2002 Communication Systems an Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication. 4^{ta} edición. New York. McGraw-Hill.
- [4] COCHRANE, Kevern L. (ed.)
2005 FAO DOCUMENTO TÉCNICO DE PESCA 424. Guía del administrador pesquero. Medidas de ordenación y su aplicación. Roma: FAO Rev. 1
<www.fao.org>
- [5] CSEPP, David J.
2005 ROV Operation from a Small Boat. *Marine Technology Society Journal*, 39(2).
< www.rov.org/ROVOperationFromASmallBoat.pdf >
- [6] ERCOLI, RUBÉN
2001 Experiencias de selectividad en los copos de las redes de arrastre y desarrollo de dispositivos de selectivos con grillas en la pesquera argentina.
<<http://iodeweb1.vliz.be/odin/bitstream/1834/2590/1/INIDEP%20T3%20121-144.pdf>>
- [7] GRAHAM N.
2004 Review of Technological Advances for the Study of Fish Behaviour in Relation to Demersal Fishing Trawls. *Journal of Marine Science*, 61(7): 1036-1043.
<<http://icesjms.oxfordjournals.org/cgi/content/abstract/61/7/1036>>
- [8] HUGUES, B
2008 La visión cromática en los animales. REDVET Revista Electrónica Veterinaria. Argentina, IX, N°11, pp. 99-104
- [9] Instituto del Mar del Perú (IMARPE)
2005 Informe Parcial. Prospección bioceanográfica en el litoral de la provincia de Casma: delimitación de zonas de pesca artesanal, bancos naturales de invertebrados y áreas propuestas para maricultura. Unidad de investigaciones de invertebrados marinos. Laboratorio costero de chimbote.
<www.imarpe.gob.pe>

- [10] Instituto del Mar del Perú
2008 Instituto del Mar del Perú
<www.imarpe.gob.pe>
- [11] JONES, Emma. et. al.
2004 The Reaction and Behaviour of Fish to Visual Components of Fishing Gears and the Effect on Catchability in Survey and Commercial Situations.
< [http://www.imr.no/ftfb/Jones%20et%20al%20\(File%206\).pdf](http://www.imr.no/ftfb/Jones%20et%20al%20(File%206).pdf)>
- [12] KOBAYASHI, Ryutaro. et. al.
2002 Sensitivity of tilapia to infrared light measured using a rotating striped drum differs between two strains. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 68, N^o5, Tokyo.
- [13] LATHI, B. P.
2001 Introducción a la Teoría y Sistemas de Comunicación. México. Limusa Noriega editores
- [14] MALVINO, Albert
2000 Principios de Electrónica. 6^{ta} edición. España. McGraw-Hill.
- [15] Molinari, M
2007 CCD versus CMOS. [en línea]. Biblioteca Virtual Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá. [Consultado 20/10/2008]
- [16] NEDELEC, Claude y PRADO J.
1990 FAO DOCUMENTO TÉCNICO DE PESCA 222. Definición y clasificación de las diversas categorías de artes de pesca
Roma: FAO Rev. 1
<www.fao.org>
- [17] OCEAN NEWS & TECHNOLOGY. NEWS FOR THE OCEAN INDUSTRY
2008 ON&T. Techonology Systems Corporation. [en línea]. Florida. [Consultado 05/03/2008].
<<http://www.ocean-news.com/>>
- [18] OGATA, Katsuhiko
1995 Ingeniería de control moderna. Tercera edición. Pearson Prentice Hall.
- [19] PEARSON, Chris.
2007 Venezuela: Aruba, en el mar del Caribe y con muchos naufragios. Mundo Buceo. Todo sobre el mundo submarino. Setiembre 2007
<<http://www.mundobuceo.net/page/4/>>
- [20] REID, David G.
2007 Current status of mobile and static sampling gears used in resource surveys. *ICES Journal of Marine Science*, 64 (8): 1607-1609.
<<http://icesjms.oxfordjournals.org/cgi/content/full/64/8/1607>>
- [21] Remotely Operated Vehicle Committee of the Marine Technology Society.
2008 ROV Background
<www.rov.org>

- [22] RUIZ, Gustavo
2001 Electrónica Básica para Ingenieros. España: Servicio de reprografía
Facultad de Ciencias -Universidad de Cantabria.
- [23] SARDÀ, F. et al.
2002 Informe: Transferencia de Resultados para la Preservación de Juveniles de
Especies Marinas Mediante el Uso de Sistemas Selectivos en Artes de Pesca
de Arrastre en el Mediterráneo Occidental.
- [24] SIMMONDS, John
2007 Fisheries Acoustics. Theory and Practice.
Current Status of Mobile and Static Sampling Gears Used in Resource
Surveys. ICES
International Council for the Exploration of the Sea ICES Journal of Marine
Science Journal du Conseil
<<http://www.ices.dk/>>
- [25] SPARRE, P. y S.C. VENEMA
1997 Introducción a la Evaluación de Recursos Pesqueros Tropicales. Parte 1. Manual.
FAO Documento Técnico de Pesca. N°. 306.1 Rev. 2: 420 pp.
<www.fao.org>
- [26] SKLAR, Bernard
1988 Digital Communications Fundamentals and Applications. New Jersey :
Prentice Hall.