

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LOS MOVIMIENTOS
DE UN CAÑÓN ANTIAÉREO A ESCALA**

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

Don Henoel Quispe Chafloque

ASESOR: Miguel Ángel Cataño Sanchez

Lima, Agosto del 2009

RESUMEN

En la actualidad, con el avance tecnológico, los sistemas de defensa de las Fuerzas Armadas están evolucionando tanto es su complejidad como es su eficiencia; es por ello que en países desarrollados el control digital ha resultado ventajoso en cuanto a la precisión y control de movimientos de dichos sistemas.

En nuestro país existen diversos sistemas de defensa; entre los principales se encuentran los cañones antiaéreos terrestres de la Fuerza Aérea del Perú, comúnmente llamado mecanismo de defensa tierra-aire. Hoy en día estos cañones son maniobrados de forma manual por técnicos de dicha Fuerza Armada, es por ello que requieren un control digital para sus movimientos, para obtener así un mejor desempeño del mismo: incrementando la rapidez de su movimiento, obteniendo mayor precisión en sus disparos, eliminando la manipulación directa del hombre y principalmente asegurando la integridad, independencia y soberanía de una nación.

En la presente tesis se diseña un sistema electrónico para los movimientos del cañón antiaéreo, dicho sistema se realiza a una escala determinada, la cual se relacionará dependiendo de los cañones antiaéreos terrestres que adquiera la Fuerza Aérea del Perú.

El diseño consta de la simulación de un cañón antiaéreo terrestre a escala; los movimientos de este son realizados por medio de motores de elevación y giro, a los que se les adicionó *encoders* incrementales para verificar la posición. Además se usó una cámara *Web*, que corrobora la posición mediante las imágenes mostradas en una computadora y a su vez se cuenta con dos velocidades adicionales para la cámara mencionada.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Introducción I

CAPÍTULO 1 : LA FUERZA AÉREA DEL PERÚ Y SU CAÑÓN ANTIAÉREO

1.1	Contexto histórico del cañón antiaéreo.....	1
1.2	Contexto actual del cañón antiaéreo en la Fuerza Aérea del Perú (FAP).....	2
1.3	Descripción y características del cañón antiaéreo Bitubo ZU-23.....	3
1.4	Análisis de la problemática del control del cañón antiaéreo Bitubo ZU-23.....	4
1.4.1	Descripción de los problemas	5
1.5	Conclusiones.	7

CAPÍTULO 2 : TÉCNOLOGÍAS QUE POSIBILITAN EL CONTROL ADECUADO DEL CAÑÓN

2.1	Conceptos previos relacionados a las tecnologías para el control del cañón	8
2.1.1	Controlador.....	8
2.1.1.1	Microcontrolador.....	8
2.1.1.2	Controlador Lógico Programable (CLP).....	10
2.1.2	Lenguaje de programación.....	11
2.1.3	Motores.....	12
2.1.3.1	Descripción.....	12
2.1.3.2	Tipos de motores.....	12
2.1.4	Sensores.....	14
2.1.4.1	Encoder Incremental.....	15
2.1.4.2	Encoder Absoluto.....	17
2.1.5	Servomotor.....	18
2.1.6	Interfaz de Potencia para motores.....	20

2.1.6.1	Descripción.....	20
2.1.6.2	Componentes.....	21
2.1.7	Control de motores DC mediante Modulación por Ancho de Pulso.....	23
2.2	Modelo teórico.....	24
2.3	Justificación e importancia del Diseño del sistema electrónico para los movimientos de un cañón antiaéreo.....	26

CAPÍTULO 3 : DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO PARA CONTROLAR LOS MOVIMIENTOS DEL CAÑÓN

3.1	Descripción del sistema.....	30
3.2	Selección de componentes.....	31
3.2.1	Palanca de Mando.....	31
3.2.1.1	Descripción.....	31
3.2.1.2	Cálculos y Criterios de Selección.....	32
3.2.1.3	Componente Seleccionado: QUICKSHOT II.....	33
3.2.2	Controlador.....	34
3.2.2.1	Descripción.....	34
3.2.2.2	Cálculos y Criterios de Selección.....	34
3.2.2.3	Componente Seleccionado: ATmega8.....	37
3.2.3	Motores.....	37
3.2.3.1	Descripción.....	37
3.2.3.2	Criterios de selección.....	37
3.2.3.3	Caja Reductora.....	40
3.2.4	Mecanismos para Ubicar la Posición del Motores.....	44
3.2.4.1	Descripción.....	44
3.2.4.2	Cálculos y criterios de Selección.	44
3.2.4.3	Componente Seleccionado: Sensor de revolución óptico.....	47
3.2.5	Interfaz de potencia para motores de Corriente Continua.....	49
3.2.5.1	Descripción.....	49

3.2.5.2	Elección de los componentes.....	49
3.2.5.3	Consideraciones de Potencia	51
3.2.5.4	Otras consideraciones para la Interfaz de Potencia.....	53
3.2.6	Cámara <i>Web</i>	54
3.2.6.1	Introducción.....	54
3.2.6.2	Componente seleccionado: Cámara <i>Web</i> MIC W312 Micronics Avanty.....	55
3.2.7	Fuente de energía.....	56
3.2.7.1	Descripción.....	56
3.2.7.2	Componente elegido: OPALUX.....	56
3.3	Diseño de la lógica del presente sistema electrónico.....	56
3.3.1	Microcontrolador.....	56
3.3.2	Diagramas de flujo.....	58

CAPÍTULO 4 : PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1	Simulaciones y Análisis.....	63
4.1.1	Simulaciones del Microcontrolador ATmega8.....	63
4.1.1.1	Posición de los motores.....	63
4.1.1.2	Velocidad de los motores.....	74
4.2	Tarjetas.....	78
4.2.1	Micocontrolador.....	78
4.2.2	Tarjetas del Puente H.....	81
4.3	Presupuesto.....	84

CONCLUSIONES.

RECOMENDACIONES.

BIBLIOGRAFIA.

ANEXOS.

INTRODUCCIÓN

El hombre por naturaleza tiene un comportamiento conflictivo, es por ello que ante sus agresores ha desarrollado mecanismos para su supervivencia, es decir, armas de defensa y ataque, las cuales se han venido evolucionando a medida que avanza la tecnología. Es por ello que cada país cuenta con Fuerzas Armadas especiales para la protección del mismo empleando armas tanto para la defensa y el ataque.

Hoy en día uno de los principales responsables de mantener la soberanía e integridad de nuestra nación es la Fuerza Aérea del Perú, para ello dicha institución entrena personal capacitado para entrar en combate complementándose con armas para su defensa y ataque.

Existen diversos tipos de armas, los más comunes son antiaéreos y anti terrestres; uno de los principales sistemas antiaéreos son los armas comúnmente llamadas tierra-aire, y dentro de estas se encuentra el cañón antiaéreo terrestre, el cual es una de las principales armas de defensa para la Base Aérea Peruana [11].

Para que dicho cañón pueda desempeñarse de la más óptima manera, es necesario que cuente con un mecanismo de control para sus movimientos y con ello eleve la precisión de sus disparos.

La presente tesis plantea el diseño de un sistema electrónico para el control de los movimientos del cañón antiaéreo a una escala menor, dicha escala será obtenida de acuerdo a los cañones futuros que la Fuerza Aérea del Perú pueda obtener. Este diseño tiene como objetivo principal el de mejorar los sistemas de defensa nacional, en particular los cañones antiaéreos; utilizando tecnología de vanguardia tanto para los movimientos y la precisión del cañón.

El sistema consta de la simulación del cañón antiaéreo terrestre a escala, y cuyos movimientos serán controlados por medio de motores para su elevación y depresión, a los cuales se les adicionan sensores para poder obtener la posición y a su vez una estimada precisión, la cual depende, a su vez, de la precisión de los sensores. Además

de ellos cuenta con dos velocidades adicionales para poder seguir a diferentes objetivos.

El desarrollo de la presente tesis se encuentra dividido en 4 capítulos. En el primer capítulo se realiza una explicación de situación actual en que se encuentran los cañones antiaéreos de la Fuerza aérea del Perú y su problemática de los mismos.

En el segundo capítulo se detalla las técnicas actuales que posibilitan un control adecuado del cañón, tanto para el presente diseño así como también para, posiblemente, ser implementado a escala real; también se presenta la justificación e importancia de la tesis.

En el tercer capítulo se desarrolla el diseño propiamente dicho; se seleccionan los componentes de cada etapa, además se presenta la lógica del proyecto en diagramas de flujo para un mejor entendimiento.

En el último capítulo se realiza las simulaciones y análisis de resultados para el control de posición y velocidad del cañón a escala, que es simulado por la cámara *Web*, además se presentan el diseño de los circuitos impresos; por último se presenta el presupuesto del proyecto.

CAPÍTULO 1: LA FUERZA AÉREA DEL PERÚ Y SU CAÑÓN ANTIAÉREO

1.1 Contexto histórico del cañón antiaéreo.

El sistema de control de las armas de las fuerzas armadas se remonta desde la Primera Guerra Mundial principalmente e inicialmente diseñadas en Alemania. Estos sistemas de defensa antiaérea fueron y siguen siendo los principales métodos para aniquilar aeronaves militares en combate. Existen sistemas de defensa de diversos tipos, los más comunes son los sistemas antiaéreos y los anti terrestres. Por ejemplo para el caso de defensa antiaéreo se encuentran los cañones, los misiles aire – aire, tierra – aire y antimisiles, mientras que para el caso de anti terrestres existen los misiles aire – tierra [14].

La específica arma en esa época fue el cañón Flak de 88 mm, el cual fue el principal rival de los enemigos aéreos [14], los cuales eran cañones montados sobre una plataforma móvil y eran maniobrados por hombres para su dirección y disparo.



Figura 1.1: Modelo de cañón antiaéreo Flak de 88 mm usado en la Primera Guerra Mundial [1].

Específicamente, el control de tiro de los cañones antiaéreos fue avanzando a medida que las aeronaves se fueron desarrollando cada vez más tanto en su velocidad como en las maniobras de vuelo. La superioridad del diseño de un nuevo cañón, residía en su construcción de precisión y el uso de dispositivos avanzados; como el mecanismo de disparo, el de transmisión de órdenes y la plataforma de carga [1].

Con el crecimiento de la tecnología se hizo uso de sistemas con radares y antenas de muy alto costo de diseño y mantenimiento; pero con una gran precisión en los disparos, lo cual disminuía el número de fallas a los blancos enemigos, por lo que se les consideraba muy eficientes en ese aspecto.

En el Perú no se han desarrollado sistemas de similar índole ni tampoco se tiene registrada la adquisición de algún sistema de defensa antiaérea terrestres automático, es decir, que no sea movido por la mano del hombre [6].

Existe un cañón llamado Bitubo ZU – 23 de la Fuerza Aérea del Perú, de características asociadas a un sistema de defensa convencional; la presente investigación tomará como referencia a dicho cañón para denotar el contexto actual de los cañones de guerra de la mencionada Fuerza Armada [6].

1.2 Contexto actual del cañón antiaéreo en la Fuerza Aérea del Perú (FAP).

Las fuerzas armadas han sufrido muchas veces desniveles tecnológicos en sus respectivas áreas, debido al poco apoyo del gobierno de turno que paso por ellas. Sin embargo nunca bajaron la guardia con respecto a la defensa y el ataque nacional ante enfrentamientos con algún país, resguardando así la soberanía nacional.

No obstante aún cuentan con algunos sistemas antiguos y poco eficientes para sus armas; en el presente capítulo nos centraremos en el análisis de los cañones antiaéreos de la Fuerza aérea del Perú, teniendo como referencia principal al cañón antiaéreo terrestre Bitubo ZU-23 de dicha Fuerza Armada.

La Fuerza Aérea del Perú cuenta con una base principal, la cual se encuentra ubicada en la Av. Jorge Chavez, cuadra 18 s/n Las Palmas-Surco (Lima-Perú), en esta base están sus principales armamentos, entre ellos el cañón antiaéreo Bitubo ZU-23 [6].

Este cañón es una de las principales armas de defensa terrestre contra aviones enemigos debido al trabajo en conjunto que realizan.

La principal defensa y ataque antiaéreo es el posicionamiento de todos los cañones Bitubo de tal manera que cubran un área mayor y aumentar así su probabilidad de dar en el blanco.

1.3 Descripción y características del cañón antiaéreo Bitubo ZU-23.

Según conversaciones con la Fuerza Aérea del Perú, por medio del Capitán Guillermo Gonzales en septiembre del 2008, se sabe que el Bitubo ZU-23 es un cañón remolcado empleado por la Fuerza Aérea del Perú como defensa antiaérea de corto alcance, dispara municiones de calibre 87.3, de 178 gramos cada proyectil. Fue adquirido en 1977, procedente de Rusia, y su vida útil es de 5000 disparos. Su alcance máximo efectivo es de 2 Km con el cañón situado a 45 grados respecto del nivel de referencia y una altitud máxima de 1500 metros. La velocidad de disparo es de 570m/s en promedio y tiene 360 grados de libertad horizontal y 90 grados de libertad vertical. Sin embargo no alcanza sus 360° de libertad horizontal ya que está apoyado en un vehículo, el cual lo transporta cuando es necesario.

Usan municiones de 23 mm; las cuales son repartidas en cajas de 50 unidades a cada lado del cañón, por los técnicos de la Fuerza Aérea del Perú.

Los cañones antiaéreos están posicionados inicialmente de tal manera que cuando se necesiten usarlos, se puedan trasladar de manera fácil y rápida. Es por ello que el cañón ZU-23 tiene dos modalidades, de transporte y de ataque.

Para ser trasladado, el cañón cuenta con dos llantas centradas en su base, y cuando van a ser controlado para su rotación y elevación, estas llantas se elevan dejando el cañón apoyado en el suelo.

A su vez estos cañones para aumentar su efectividad son usados de manera conjunta y en distintos tipos de arreglos que dependen de la estrategia y de los cañones disponibles en el momento de su necesidad, siendo los más empleados el arreglo triangular, que permite a cada uno cubrir un ángulo de 120 grados; y el arreglo en fila que permite lanzar el ataque en *saturación*, término que indica el disparo de varios proyectiles en simultáneo.

Sin ningún aparato especial se detecta visualmente a algún avión enemigo, mediante una serie de sirenas se dan las alarmas de posicionamiento para la defensa y el ataque respectivo.

Se requieren cinco técnicos para la operación del cañón ZU-23, que estén bien entrenados para poder operarlo de manera adecuada; uno de ellos para la elevación y otro para el giro.

A su vez estos están ayudados mediante un radio de corto alcance se comunica con la torre de control para el posicionamiento adecuado del cañón antiaéreo; mediante poleas con rodajes se gira el cañón antiaéreo, a su vez en la parte izquierda del cañón se encuentra una palanca con unos rodajes que aumentan o disminuyen el ángulo de elevación del cañón antiaéreo Bitubo ZU-23.

Al tener visualmente el blanco aéreo enemigo, y por órdenes del técnico superior a cargo, se realiza el disparo. Y se continúa así hasta que se dé orden de descanso y se trasladen los cañones a su posición inicial.

1.4 Análisis de la problemática del control del cañón antiaéreo Bitubo ZU-23.

Sin ningún aparato especial se detecta visualmente a algún avión, y mediante la silueta y la forma de vuelo del mismo se predice si es un avión enemigo o no, en el caso de ser una nave aérea enemiga, mediante una serie de órdenes se dan las alarmas de posicionamiento para la defensa y el ataque respectivo.

Se requiere de cinco operadores con alto grado de entrenamiento, los cuales son capacitados constantemente, para manipular el cañón antiaéreo Bitubo. Dos de ellos se ubican en el interior: uno se encarga de calibrar la mira de elevación del cañón y el otro se encarga de manipular el giro mediante las manivelas que gobiernan el Bitubo, esto se realiza hasta que ambas partes coincidan, según un indicador mecánico que muestra la diferencia de orientaciones.

Los otros operadores se encargan de recargar las municiones del cañón, así como la recepción de coordenadas por radio y el reemplazo de algún elemento secundario. Estos mismos operadores, en conjunto, son los que transportan al cañón.

La buena maniobra y la eficiencia del cañón dependen del nivel de sincronización y coordinación de los operadores. Sin embargo una maniobra de manera automática es más precisa y eficiente, que una hecha por el hombre. Debido a esta deficiente maniobra es posible que no se obtenga los resultados requeridos.

A consecuencia de ello, se puede denotar un desgaste de misiles y municiones, debido a la poca precisión que se tiene; a todo eso se suma el requerimiento de más personal para el control de dicho cañón.

Debido a estas imprecisiones, y según información de la Fuerza Aérea del Perú, el cañón ha sido usado como defensa persuasiva, es decir que el cañón no apunta al objetivo sino que conjuntamente con otros cañones disparan cubriendo un área

determinada, para que el avión enemigo no pueda sobrevolar a baja altura y por ello no pueda atacar a la base militar de la Fuerza Aérea del Perú.

1.4.1 Descripción de los problemas

-Es necesario de mucho personal para la maniobra del los cañones: Se requiere de cinco técnicos de un alto nivel de entrenamiento; dicho personal podría ser útil en otras dependencias de la FAP, lo cual se podría lograr con un control digital de los cañones.

-Largo tiempo en el posicionamiento del cañón: de manera visual y sin ningún dispositivo especial se detecta al enemigo, y se da la señal de alarma, esto puede dar retrasos en el tiempo de posicionamiento del cañón antiaéreo.

-Ineficiente comunicación: entre los operarios del cañón y el técnico de la torre de control, el cual también le puede indicar la velocidad y el rumbo del enemigo, con la finalidad de seguirlo, pero con pocas posibilidades de precisión.

-Gastos de misiles y municiones: Al tener una mala dirección y control del cañón se incrementan las posibilidades de error del disparo, por ende se gastaría tanto misiles como municiones.

-Los operadores están expuestos al peligro: el Bitubo alcanza temperaturas elevadas debido a la potencia disipada en los disparos; en algunos disparos llega a ponerse de color rojo todo el cañón por la alta temperatura. Además, el momento del disparo es implícitamente de alto riesgo, pues el daño físico puede ser muy grave por el movimiento brusco que realiza el cañón al ser disparado.

-Dado un determinado número de disparos es necesario reemplazar el Bitubo: normalmente este reemplazo se realiza al agotar 500 pares de municiones. Esta es una desventaja que hay que resaltar ya que el cañón dispara 2 balas a la vez.

-Por último, pero siendo el principal este cañón ya ha sobrepasado los 5000 disparos; y este es el número máximo de disparos que garantiza el fabricante. Por lo que ya han entrado en desuso.

Con estos problemas el ataque y la defensa de la Fuerza Aérea del Perú son poco confiables, a ellos se suma la poca colaboración de los gobiernos de turno para dar de equipos nuevos, y apoyar a la investigación y desarrollo de proyectos para la FAP con vistas a un sistema de defensa moderno.

Es por ello que la Fuerza Aérea del Perú ha presentado diversos planes para cambiar a nuevos cañones con mejores alcances y respuestas, pero con el mismo sistema de control, es decir, un control para el movimiento del cañón por medio de operarios.

1.5 Conclusiones.

La defensa y soberanía nacional tienen que estar siempre como principal objetivo en las Fuerzas Armadas, es por ello que sus armas de ataque y defensa tienen que estar siempre en buenas condiciones ante cualquier ataque a la nación. Para lograr esto se tiene que implementar nuevos sistemas para un mejor desempeño y así elevar la eficiencia de dichas armas.

En la actualidad las Fuerza Aérea del Perú no cuenta con un sistema electrónico para el control de movimiento de los cañones antiaéreos, como por ejemplo el Bitubo ZU-23; el control actual es mediante operadores, los cuales están en peligro por la relación directa que tienen con los cañones antiaéreos.

Existe un nivel tecnológico bajo en los sistemas de control de armas, con relación a otros países, con lo que la defensa nacional se podría ver disminuida.

CAPÍTULO 2: TÉCNICAS QUE POSIBILITAN EL CONTROL ADECUADO DEL CAÑÓN

2.1 Conceptos previos relacionados a las tecnologías para el control del cañón

2.1.1 Controlador

2.1.1.1 Microcontrolador

Es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S, es decir, se trata de un computador completo en un solo circuito integrado [16].

Los microcontroladores no cuentan con ningún dispositivo de comunicación directa con humanos como un monitor, teclado, etc. Sin embargo tiene un gran número de aplicaciones en los distintos campos donde se desarrolla el ser humano.

Aunque inicialmente los microcontroladores adoptaron la arquitectura Von Neumann, la cual se caracteriza por tener una sola memoria tanto para datos como para instrucciones, en la actualidad se impone la arquitectura Harvard, la cual cuenta con dos memorias independientes, una para datos y la otra para instrucciones.

La Figura 2.1 presenta un diagrama de bloques de la arquitectura de un microcontrolador, el cual comprende una serie de funciones, las cuales se explicarán a continuación:

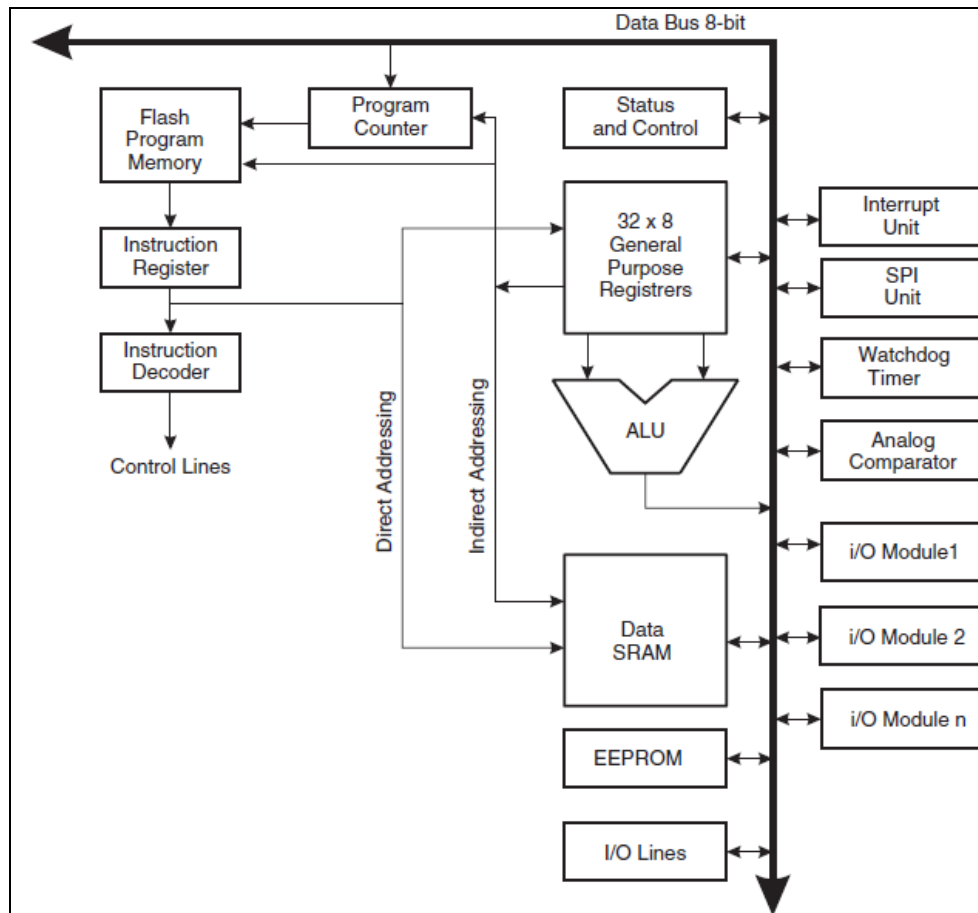


Figura 2.1: Arquitectura HARVARD de un microcontrolador [16].

CPU (Unidad Central de Procesamiento):

Es el componente en una computadora digital que interpreta las instrucciones y procesa los datos contenidos en los programas y finalmente controla algún requerimiento deseado.

RAM (Random Access Memory):

Es una memoria que, principalmente, almacena datos; también es usado por la pila, que almacena direcciones de retorno cuando una subrutina está en funcionamiento, así como también para las llamadas de interrupción.

ROM/EPROM (ROM programable y borrrable/ memoria de solo lectura):

Almacena el programa de control propiamente dicho, además de constantes aritméticas, tablas, etc.

A/D (Convertidor Analógico a Digital) y D/A (Convertidor Digital a Analógico):

El primero transforma señales analógicas en una serie digital con una resolución adecuada. El segundo es lo opuesto, transforma las señales de entrada digital a analógicas.

Contadores y Temporizadores:

Un contador es un circuito secuencial que puede llevar la cuenta de una entrada, por ejemplo pulsos; también tiene una salida que se activa al llegar al final de la cuenta. Por otro lado el temporizador o *Timer* es un contador que en alguna de sus salidas puede generar pulsos a intervalos predefinidos, según la configuración.

Interrupciones:

Se realiza cuando el CPU es interrumpido por algún periférico interno o externo del microcontrolador, para realizar una tarea programada en el microcontrolador.

USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter):

Es un dispositivo de comunicación serial altamente flexible; dicha transmisión o recepción es mediante un bit a la vez, por medio del estándar RS-232 [16].

2.1.1.2 Controlador Lógico Programable (CLP)

El controlador lógico programable, comúnmente llamado PLC (Programmable Logic Controller), es un dispositivo electrónico inteligente, el cual es diseñado en base a microprocesadores que consta de unidades o de módulos que cumplen funciones específicas, los cuales permiten recibir información de todos los sensores y comandar los actuadores de los sistemas [3]. Su arquitectura se puede notar en la figura 2.2.

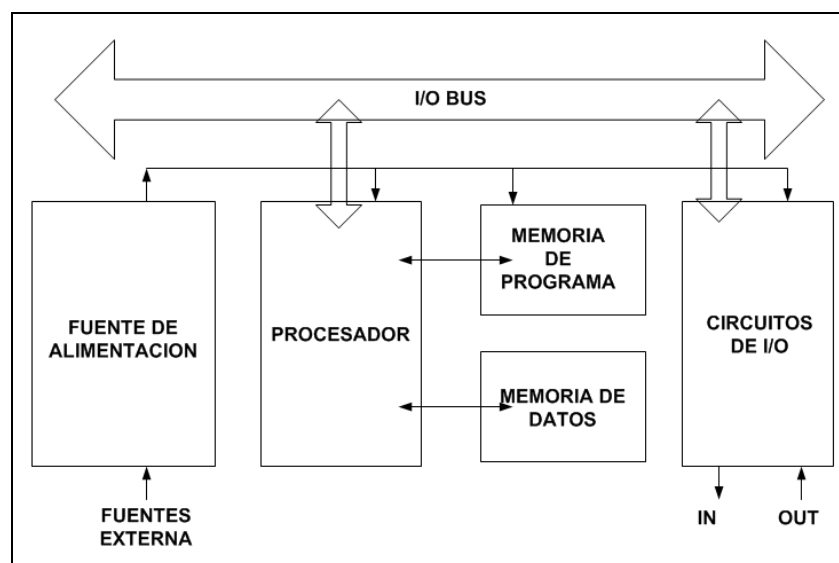


Figura 2.2: Arquitectura interna de un PLC [3].

Este controlador es comúnmente usado en automatización industrial. Sin embargo, puede abarcar otros campos de desarrollo. Además de controlar un proceso también puede hacer operaciones aritméticas, manejar señales analógicas, etc.

2.1.2 Lenguaje de programación:

Es un lenguaje que puede ser utilizado para controlar el comportamiento de una máquina, mediante una computadora. Consiste en un conjunto de símbolos y reglas

sintácticas y semánticas que definen su estructura y el significado de sus elementos y expresiones. Según su nivel de abstracción de pueden clasificar en:

Lenguaje de alto nivel

Los lenguajes de alto nivel son normalmente fáciles de aprender porque están formados por elementos de lenguajes naturales. Por ejemplo en BASIC, el lenguaje de alto nivel más conocido, los comandos como "IF CONTADOR = 10 THEN STOP" pueden utilizarse para pedir a la computadora que pare si CONTADOR es igual a 10.

Lenguaje de bajo nivel

Los lenguajes de bajo nivel son lenguajes de programación que se acercan al funcionamiento de una computadora. El lenguaje de más bajo nivel es, por excelencia, el código máquina. A éste le sigue el lenguaje ensamblador, ya que al programar en ensamblador se trabajan con los registros de memoria de la computadora de forma directa.

2.1.3 Motores

2.1.3.1 Descripción

Un motor eléctrico es un dispositivo electromecánico encargado de transformar energía eléctrica en energía mecánica por medio de la interacción de campos magnéticos.

La gran mayoría de los motores eléctricos son máquinas reversibles pudiendo operar como generadores también llamados motores síncronos, convirtiendo energía mecánica en eléctrica en energía eléctrica [4].

Por su diversidad de usos son ampliamente utilizados en instalaciones industriales, Robótica y entre otras aplicaciones.

2.1.3.2 Tipos de motores

Los motores eléctricos se clasifican en dos grandes grupos según el tipo de corriente que necesita el inducido para su funcionamiento: de corriente continua y de corriente alterna. Ambos tipos de motores pueden ser utilizados para el diseño del sistema electrónico presente; sin embargo la elección depende de la alimentación, la carga y otros aspectos que se tomarán en cuenta en el siguiente capítulo [4].

Motor de Corriente Alterna

Motor que funciona con corriente eléctrica alterna y que pueden ser asíncronos y síncronos. Los motores asíncronos se diferencian por el tipo de rotor, Rotor bobinado y Rotor jaula de ardilla [4].

En los motores asíncronos de rotor bobinado, el devanado rotórico, al igual que el estático, está constituido por hilos de cobre. En las ranuras de la corona rotórica se alojan, por lo general, tres devanados conectados por un punto común.

En los motores de jaula de ardilla el devanado del rotor está constituido por barras de cobre o de aluminio colocadas en las ranuras de la corona rotórica y unidas en sus extremos a dos anillos del mismo material.

El conjunto de barras y anillos tiene aspecto de jaula de ardilla: de ahí el nombre que recibe este rotor. El par de arranque de este tipo de motores es relativamente pequeño, y la intensidad absorbida en el arranque es elevada.

Motor de Corriente Continua

Motor que funciona con corriente eléctrica continua; es una de las más versátiles en la industria. Su fácil control de posición, par y velocidad la han convertido en una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos. Existen diversos tipos dependiendo de su utilidad.

Motor Serie

Es un tipo de motor eléctrico en el cual el devanado de campo se conecta en serie con la armadura.

Motor Shunt,

Se designa así al motor cuyo bobinado inductor principal está conectado en derivación con el circuito formado por los bobinados inducido e inductor auxiliar.

Motor Compuesto

El Motor Compuesto devanado inductor se divide en dos devanados: Uno, en serie con el inducido, y el otro en paralelo. Según la forma en que se realice la conexión de los devanados de excitación, se distinguen la excitación compuesta corta y la excitación compuesta larga.

Motor de Paso

Es un tipo de motor que puede moverse un “paso” por cada pulso que se le aplique; lo que significa es que es capaz de avanzar una serie de grados dependiendo de sus entradas de control. Esto es muy útil para mecanismos que se requieran movimientos muy precisos [8].

2.1.4 Sensores

El sensor es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas en señales eléctricas, a su vez se les puede incluir como etapa intermedia amplificadores o filtros para una óptima señal de salida; los sensores pueden medir diferentes tipos de variables como temperatura, posición, fuerza, velocidad entre otros [3].

Además de poder medir estas variables las pueden convertir, mediante circuitos electrónicos, en una señal estándar; por ejemplo 4 – 20 mA o 0 – 5 VDC, las cuales

serán para controlar la misma variable o más variables en procesos involucrados con dichas variables [5].

Existen muchos sensores, sin embargo nos centraremos en el *encoder*, debido a que es uno de los componentes más importantes del diseño que se explicará en el siguiente capítulo.

2.1.4.1 *Encoder* Incremental

Es un sensor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales, tienen aplicaciones en máquinas herramientas o de elaboración de materiales, en los robots, en los sistemas de motores y aparatos de medición y control [12].

Componentes

- LED (*light emitter diode*) como fuente luminosa
- Disco Rotórico
- Foto detector o receptor.
- Tarjeta acondicionadora que amplifica la señal y proporciona otra de cuadratura manejable, es decir con el nivel DC adecuado, según sea el requerimiento.

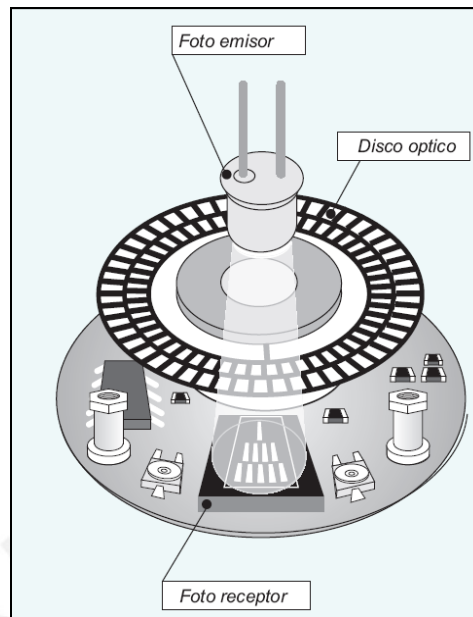


Figura 2.3: *Encoder* Incremental [12].

Funcionamiento

El funcionamiento se basa en la rotación de un disco con reticulado radial formado por líneas opacas alternadas con espacios transparentes o vacíos, este conjunto está iluminado de manera perpendicular por el LED emisor, de este modo el disco proyecta una imagen sobre los foto receptores, los cuales detectan las variaciones de luz que se produce en el desplazamiento del disco, convirtiéndolas en las correspondientes variaciones eléctricas.

El *encoder* incremental proporciona normalmente dos formas de ondas cuadradas y desfasadas entre sí 90° , los cuales por lo general son los canales A y B. Con la lectura de un solo canal se dispone de información para controlar posición y/o velocidad; mientras que con las dos es posible discriminar el sentido de giro. Además de ambas señales se cuenta con una tercera señal llamada canal Z o cero, que proporciona la posición absoluta de cero del eje del *encoder* [12].

En la Figura 2.4 se muestran los tres canales anteriormente mencionados.

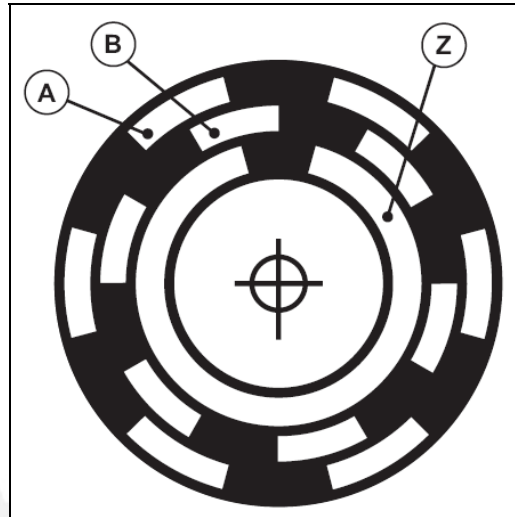


Figura 2.4: Disco Rotatorio del *Encoder* Incremental [12].

2.1.4.2 *Encoder* Absoluto

El funcionamiento y componentes del *encoder* absoluto son similares a los del *encoder* incremental. Un disco que gira, con zonas transparentes y opacas, interrumpe un haz de luz captado por foto receptores, luego estos transforman los impulsos luminosos en impulsos eléctricos los cuales son tratados y transmitidos por la electrónica de salida [13].

Los *encoders* absolutos son principalmente usados para sensar posición, ya que la posición en este tipo de *encoder* queda determinada por la lectura del código de salida, el cual es único para cada una de las posiciones dentro de la vuelta [13].

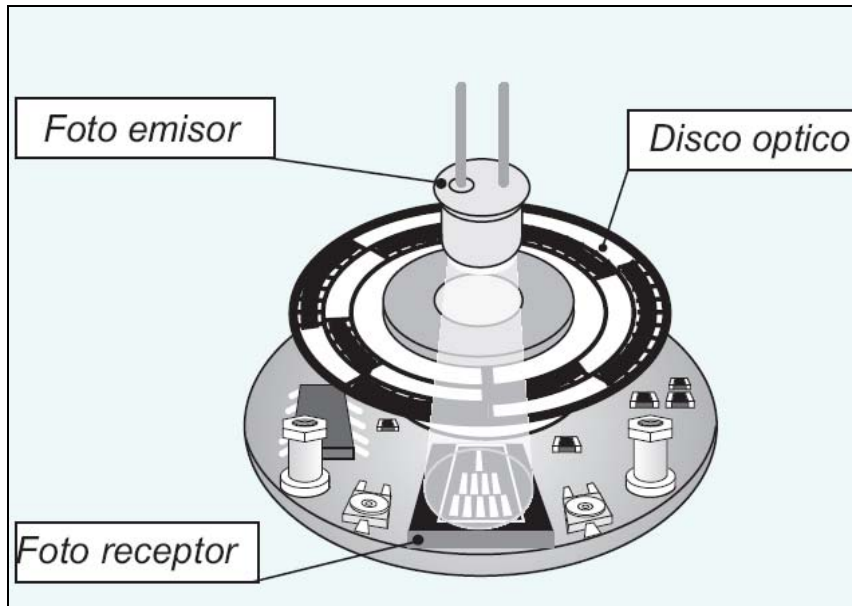


Figura 2.5: *Encoder Absoluto* [13].

La resolución del *encoder* depende del número de bits del mismo, es decir un *encoder* de 2 bits podrá brindarnos 4 posiciones absolutas, como se muestra en la Figura 2.6.

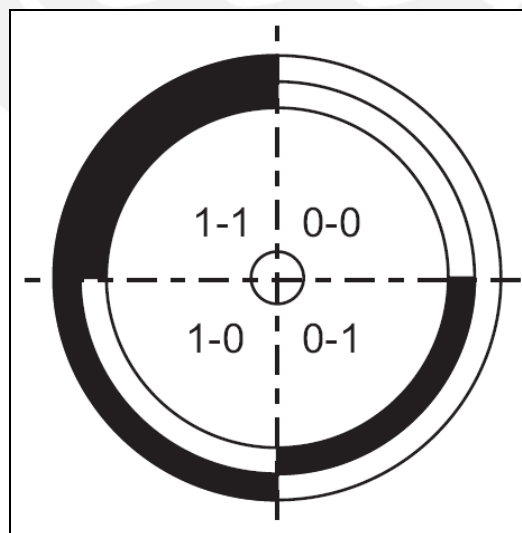


Figura 2.6: Disco rotatorio de un *Encoder Absoluto* de dos bits [13].

2.1.5 Servomotor

Un servomotor es un mecanismo muy similar a un motor de corriente continua, que se explicó anteriormente, su principal características es que tiene la posibilidad de ubicarse en posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada; mientras la señal codificada se mantenga estable entonces el servomotor se mantendrá en la posición angular del engranaje. Por otro lado si la señal codificada cambia, entonces el servomotor cambiará su posición hacia una nueva dependiendo de la señal codificada actual [7].

El eje del servomotor es capaz de llegar alrededor de 180 grados; sin embargo algunos fabricantes proporcionan un rango mayor, el cual podría llegar a 210 grados

Un servomotor está conformado por un motor, una caja reductora y un circuito de control.

Los servomotores tienen 3 terminales:

- **Terminal positivo:** Recibe la alimentación del motor.
- **Terminal negativo:** Referencia tierra del motor.
- **Entrada de señal:** Recibe la señal de control del motor.



Figura 2.7: Servomotor [7].

Funcionamiento

La entrada de señal se usa para comunicar el ángulo que se desea girar, el cual está determinado por la duración de pulso que se le aplique al servo mediante el microcontrolador.

En el servo se espera un pulso con un determinado tiempo de duración para poder moverse, es decir, la longitud del pulso determinará el giro del motor; el tiempo neutral, máximo y mínimo puede variar de acuerdo al fabricante del servomotor.

Un ejemplo claro se muestra en la Figura 2.8.

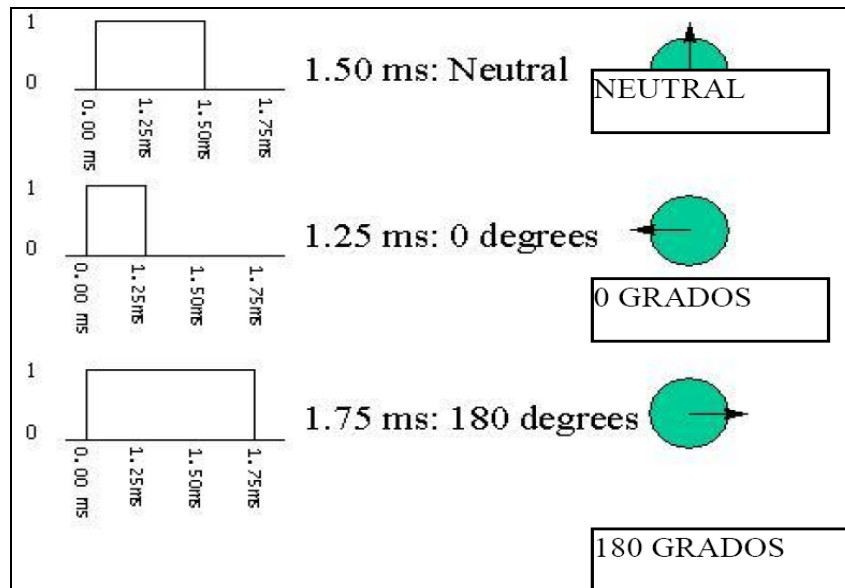


Figura 2.8: Control de un Servomotor [7].

2.1.6 Interfaz de Potencia para motores

2.1.6.1 Descripción

La interfaz de potencia de motores es un circuito electrónico que permite que el motor de corriente continua gire en ambos sentidos, horario y antihorario. Es comúnmente usado en Robótica e incluso en procesos industriales [15].

La interfaz de potencia es llamada también Puente H debido a su representación gráfica del circuito o posición de los componentes.

Un Puente H se puede construir con distintos componentes que pueden servir para la conmutación, y a su vez para realizar el cambio de giro cuando sea necesario.

La Figura 2.9 y la Tabla 2.1 muestran el funcionamiento del Puente H en general.

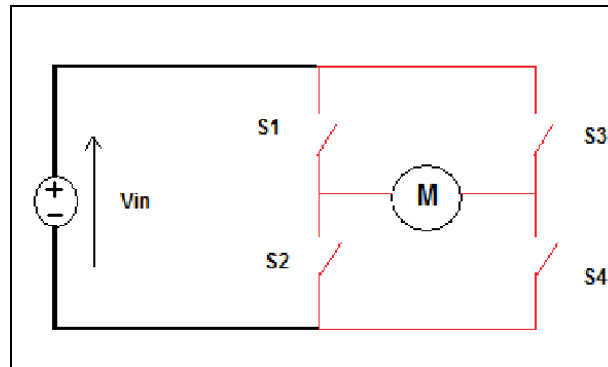


Figura 2.9: Puente H [10].

S1	S2	S3	S4	Acción
1	0	0	1	El motor gira en sentido horario
0	1	1	0	El motor gira en sentido antihorario
0	0	0	0	El motor se detiene bajo su inercia
0	1	0	1	El motor frena al sentido horario

Tabla 2.1: Accionamiento del Puente H [10].

2.1.6.2 Componentes

Para diseñar un Puente H se puede utilizar desde integrados, los cuales pueden contener más de un Puente H internos en el, hasta componentes electrónicos de potencia como MOSFETs, Transistores o IGBTs [2].

La elección del componente varía de acuerdo a las necesidades requeridas, como la corriente que consume el motor al cual se le hará el control de giro. También las entradas al Puente H, muchas veces dichas entradas pueden ser las de un microcontrolador u otro controlador.

Los integrados se usan, en su mayoría, para motores de baja potencia; como por ejemplo el LM298 o el L293D, como se muestra en la tabla 2.2.

Características (rangos máximos)	LM298	L293D
Fuente de alimentación , Vs	50V	36V
Voltaje de entrada, Vo	7V	7V
Corriente de salida, Io	2A	0.6A
Temperatura de junción, Tj	150°C	150°C

Tabla 2.2. Características comparativas entre el LM298 y el L293D.

Fuente: Hoja de datos del LM298 y LM293 (ANEXO I y ANEXO II).

Sin embargo existen otros componentes que se pueden utilizar para controlar motores de gran potencia, como se muestra en la Tabla 2.3.

Características	BJT	MOSFET	IGBT
Modo de operación	Corriente	Voltaje	Voltaje
Diseño	Fácil	Difícil	Difícil
Impedancia de entrada	Bajo	Alto	Alto
Potencia	Bajo	Mediano	Alto
Velocidad de conmutación	Baja (us)	Rápida (ns)	Mediana
Frecuencia de operación	Baja (menos de 100KHz)	Rápida (menos de 1MHz)	Media
Área de Operación segura	Angosta	Amplia	Amplia
Voltaje de saturación	Bajo	Alto	Bajo

Tabla 2.3. Características comparativas entre el BJT, MOSFET y IGBT [10], [2].

2.1.7 Control de motores DC mediante Modulación por Ancho de Pulso.

La modulación por ancho de pulso o PWM (*Pulse Width Modulation*) es la técnica de modificar el ciclo de trabajo de una señal periódica; dicha técnica se puede usar para transmitir información a través de un canal de comunicación, también es usada para el control de cantidad de energía que se envía a una carga [15].

El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva con relación al periodo:

$$\text{Ciclo de Trabajo} = t / T$$

t =Tiempo en la función positiva (Ancho de pulso).

T =Periodo de la función.

El ciclo de trabajo a veces se denota en porcentaje.

En la figura 2.10 se muestra una señal PWM la cual tiene un ciclo de trabajo de aproximadamente 30% (D.T), esto quiere decir que el tiempo en alta es el 30% del periodo (T) de la onda.

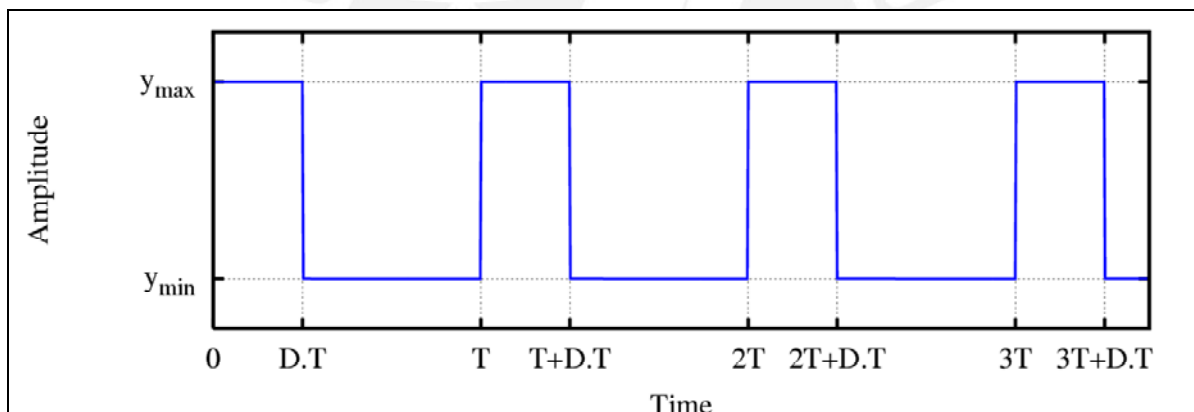


Figura 2.10: Grafico de una señal con ciclo de trabajo aproximadamente de 30% [15].

Esta señal de PWM se puede implementar con los temporizadores internos del controlador o con algún integrado que funcione como temporizador, como por ejemplo el temporizador 555 de Signetics.

Por ejemplo en la programación del microcontrolador debemos tener en cuenta la variación del ancho de pulso de la señal de PWM, para el control de velocidad del motor.

Es decir se puede incrementar o decrementar la velocidad incrementando o decrementando el ciclo de trabajo de la onda PWM.

2.2 Modelo teórico

Las Fuerza Aérea del Perú debe tener un sistema adecuado para el control de las distintas armas que tienen en su poder. Con ello se mantendría resguardada la soberanía nacional.

Con la tecnología actual se puede obtener un control adecuado de las armas; como se mencionó anteriormente, este trabajo se centrará en los cañones antiaéreos.

Mediante controladores se puede hacer una relación hombre maquina sin la necesidad de que el hombre intervenga directamente en los movimientos de los cañones antiaéreos.

El uso de motores es importante para poder mover maquinas de gran peso como es el cañón antiaéreo.

Muchas veces las señales que entregan los controladores, como las de un microcontrolador, no son suficientemente elevadas para poder mover maquinas, por ejemplo motores, por ello en ciertas ocasiones se les puede anteponer algunos elemento de amplificación.

Para que los cañones puedan contar con una velocidad de movimiento variable, dependiendo de la nave a seguir, se puede usar la técnica de PWM; con ello se puede tener una amplia gama de velocidades en el motor que moverá al cañón.

El cañón deberá moverse libremente siguiendo a la nave aérea, por ellos los motores tienen que poder girar en ambos sentidos, para ello se utilizar un Puente H, cuyo funcionamiento se explicó anteriormente.

Relacionando todo lo anteriormente expuesto, se puede obtener un sistema de control para los movimientos de un cañón antiaéreo terrestre.

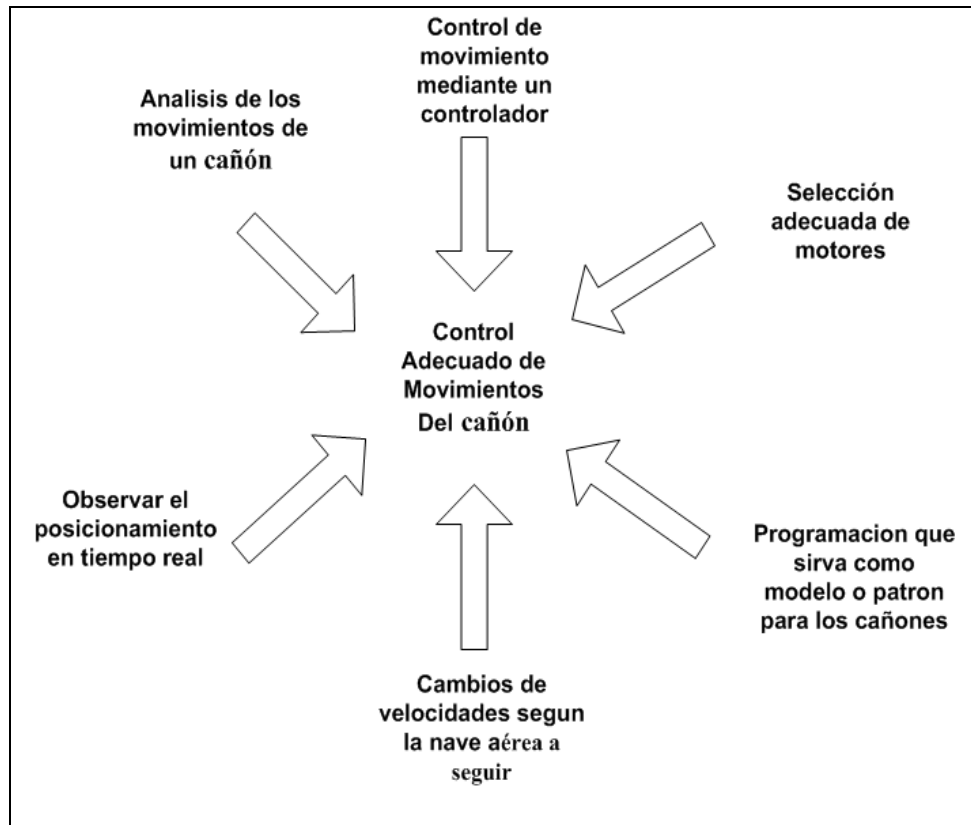


Figura 2.11: Modelo Teórico.

2.3 Justificación e importancia del diseño del sistema electrónico para los movimientos de un cañón antiaéreo.

Según conversaciones con la Fuerza Aérea del Perú en septiembre del 2008, el control actual de los cañones antiaéreos terrestres de la Fuerza Aérea del Perú es muy complejo e impreciso, debido a los problemas mencionados en el capítulo anterior; por ello es preciso hacer un diseño económico y eficaz para el control del movimiento de dichos cañones.

Sin embargo los principales cañones antiaéreos de la Fuerza Aérea del Perú, Bitubo ZU-23, ya han entrado en desuso, por lo que no se podría realizar un diseño electrónico a escala real. Actualmente la Fuerza Aérea del Perú viene presentando diversos planes para poder migrar a nuevos cañones con mejor alcance y respuesta, pero con el mismo sistema de control, es decir sus maniobras, tanto para la elevación como para el giro horizontal, lo realizarán técnicos instruidos en dicha Fuerza Armada.

Es por ello que la presente tesis tiene como principal objetivo diseñar un sistema electrónico para los movimientos de un cañón antiaéreo a escala. Dicho sistema se realizó con la intención de que en un futuro se pueda implementar a escala real en uno o más cañones antiaéreos que la Fuerza Aérea del Perú adquiriera; además de ser un requerimiento especial de dicha Fuerza Armada.

El diseño será creado para controlar adecuadamente los movimientos del cañón antiaéreo, tanto para el movimiento vertical (Elevación y depresión) como para el movimiento horizontal (Giro horario y antihorario).

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO PARA CONTROLAR LOS MOVIMIENTOS DEL CAÑÓN

Los cañones antiaéreos tienen dos movimientos bien definidos: el movimiento vertical (Elevación y depresión) y el movimiento horizontal (Giro horario y antihorario); en la Figura 3.1 se nota el ángulo de elevación y de giro que podría tener una cañón al apuntar hacia cierta dirección.

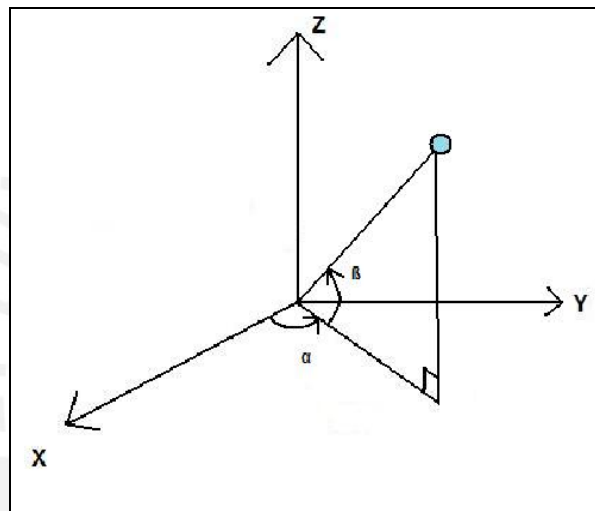


Figura 3.1: Ángulos de Elevación y Giro de un cañón antiaéreo.

Para que el cañón se pueda mover, sin la necesidad de que el hombre intervenga directamente, como se realiza actualmente, se necesita la fuerza de motores, los cuales varían dependiendo las características físicas del cañón.

En el presente capítulo se describe, en detalle, el procedimiento para el diseño de un sistema electrónico que controla los movimientos de los motores de pequeña potencia, para el cañón antiaéreo terrestres a escala.

En este diseño se muestra la elección de los componentes necesarios y la lógica del microcontrolador para satisfacer los requerimientos necesarios a un bajo costo.

Este modelo electrónico simulará los movimientos de un cañón a escala; dichos movimientos son realizados mediante motores de corriente continua, los cuales obedecerán las órdenes de una palanca de mando. El proceso entre ellos estará a cargo de un microcontrolador. A su vez los motores contarán con un dispositivo electrónico en cada uno (*encoders*), que proporcione la posición actual de ellos.

La posición actual de los motores será procesada por el microcontrolador y mediante este se mostrará en una computadora personal.

Este modelo se basa en controlar y observar el posicionamiento de los motores y con ello tener la posición en tiempo real del cañón, el cual será simulado mediante una cámara web conectada correspondientemente a un chasis que será movido en elevación y giro por los motores mencionados anteriormente. El diseño explicado se puede observar de manera esquemática y en bloques en la Figura 3.2 y Figura 3.3.

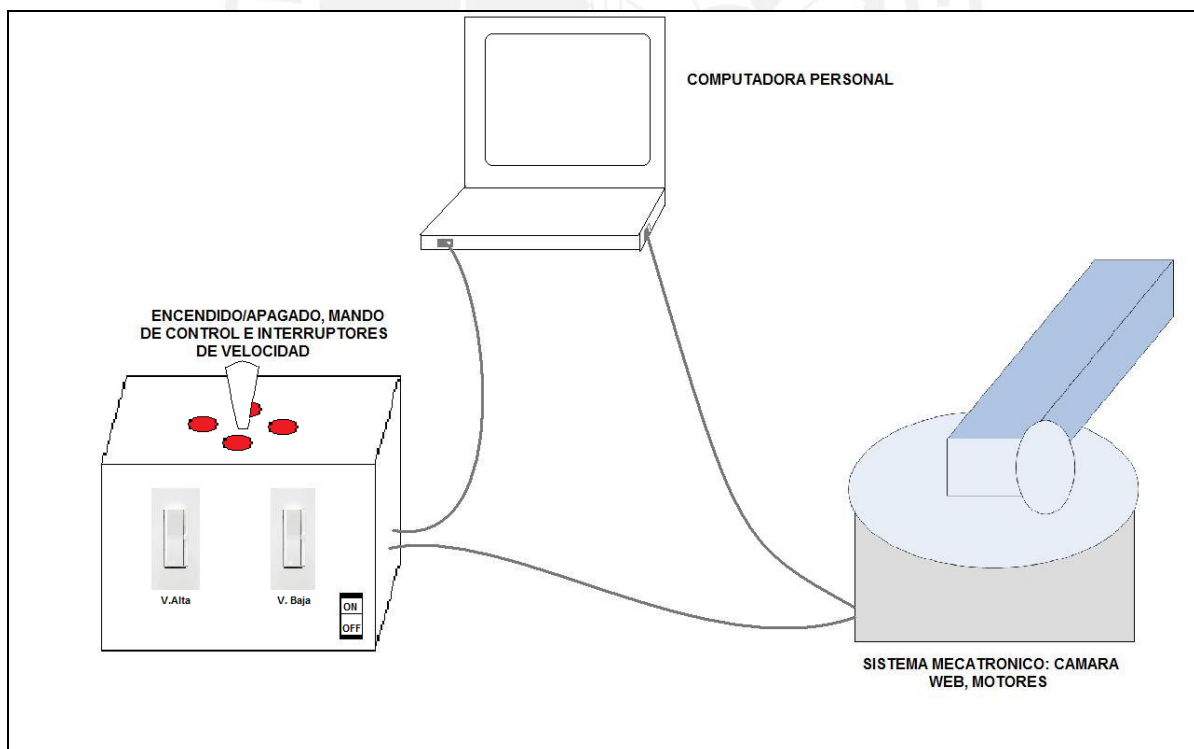


Figura 3.2: Esquema del diseño propuesto.

Diseño de un sistema electrónico para los movimientos de un cañón antiaéreo a escala

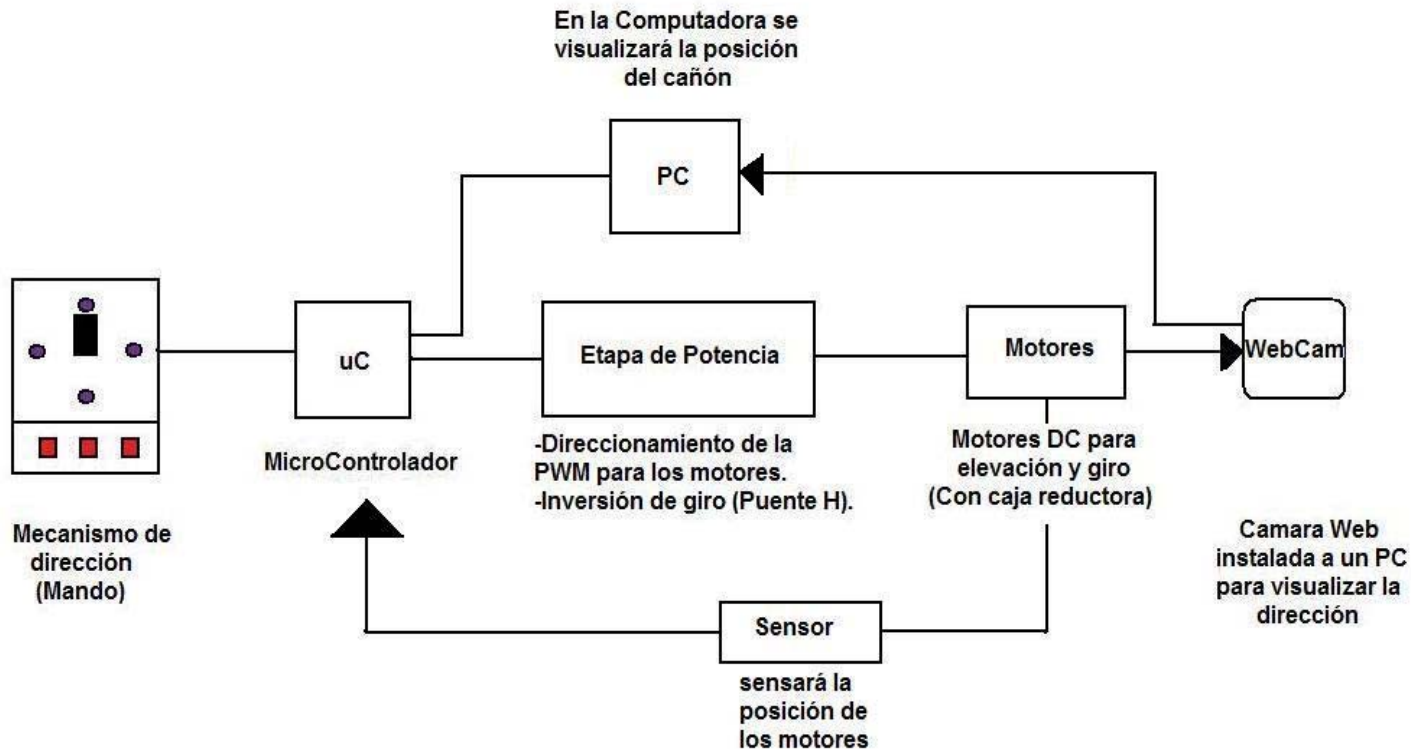


Figura 3.3: Diagrama de Bloques.

3.1 Descripción del sistema.

Utilizando un avión no tripulado como blanco aéreo, se puede simular el funcionamiento del diseño en tiempo real. El avión no tripulado es un pequeño avión con el cual la Fuerza Aérea del Perú hace pruebas para diferentes fines.

Luego de que el avión de prueba este volando y con los interruptores abiertos, es decir, trabajando a una velocidad media, se puede seguir la trayectoria del mismo mediante la cámara *Web*, la cual nos mostrará la imagen al avión en tiempo real.

La cámara *Web*, como se mencionó anteriormente, se moverá por la acción de dos motores, uno para la elevación y otro para el giro. La posición de la cámara *Web*, elevación y giro, se mostrarán en una computadora personal; con ello también se puede mostrar la posición de la nave en tiempo real.

Además si la nave cambia de velocidad, es decir, si aumenta de velocidad o disminuye, se puede modificar la velocidad de movimiento de los motores, mediante los interruptores que están cerca a la palanca de mando. Esto no es un inconveniente para que se siga mostrando la posición en tiempo real en la computadora personal.

Este sistema se puede utilizar para simular los movimientos de una cañón antiaéreo a escala; además de satisfacer el requerimiento de la Fuerza Aérea del Perú, acerca de tener un diseño electrónico, el cual más adelante se pueda implementar a escala real en uno o más de los próximos cañones antiaéreos que se adquiriera.

3.2 Selección de componentes

3.2.1 Palanca de Mando

3.2.1.1 Descripción

Una Palanca de mando o *Joystick*, como la que se muestra en la Figura 3.4, es un dispositivo de control de dos o más ejes que se usa en computadoras, videoconsolas, grúas, así como también en los aviones de caza incluso hasta en un transbordador espacial.



Figura 3.4: *Joystick Atari 2600*.

FUENTE: <http://www.geocities.com/vteramos/Paginas/Joystick.html>.

La idea básica de una palanca de mando es traducir el movimiento de un mando en información eléctrica o electrónica que un procesador puede entender. La traducción es tan fluida que resulta transparente para el usuario.

Se suele diferenciar entre palancas digitales, que leen cuatro interruptores encendido/apagado en cruceta situada en la base más sus combinaciones y los botones de acción, y joysticks analógicos, que usan potenciómetros para leer continuamente el estado de cada eje, y además de botones de acción, pueden incorporar controles deslizantes.

En este capítulo se hará referencia a la palanca de mando digital, los cuales se pueden comparar con las señales de los pulsadores que entrarán al microcontrolador, como se muestra en el diagrama de bloques. El número de pulsadores dependerá de las

distintas posiciones de la palanca central y botones o interruptores para tareas específicas.

3.2.1.2 Cálculos y Criterios de Selección

Se requiere de una palanca de mando digital. Aunque suene muy moderno, es el sistema más sencillo de control, como la Figura 3.5. Consiste en una palanca de mando que actúa sobre cuatro contactos o pulsadores, uno para cada dirección en la que se mueve la palanca. Los contactos solo tienen dos posibles estados; abierto o cerrado. Además se contará con interruptores que variaran la velocidad de los motores.

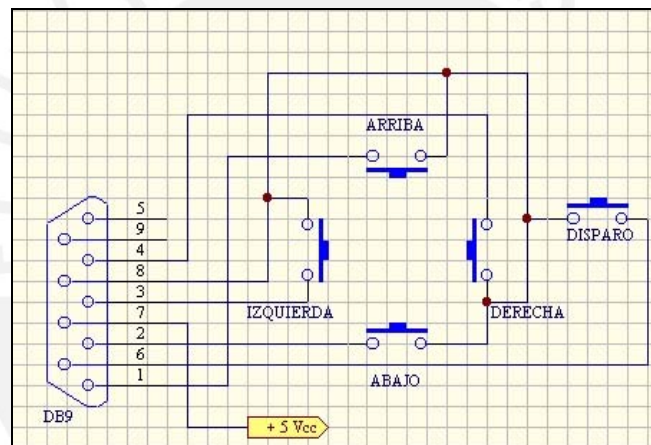


Figura 3.5: Esquema de Conexiones internas de la Palanca de Mando.

FUENTE: <http://www.geocities.com/vteramos/Paginas/Joystick.html>.

En el esquema anterior se puede observar la sencillez del sistema empleado en las palancas de mando digitales. Un extremo de cada contacto va unido al negativo y el otro extremo directamente al pin correspondiente del conector. La salida de +5 Vcc se empleaba para circuitos activos, en el caso de la tesis, se estaría conectando al controlador.

3.2.1.3 Componente Seleccionado: QUICKSHOT II

La palanca de mando seleccionada es QUICKSHOT II de la empresa COMMODORE

- Tiene una palanca en el centro con 4 pulsadores internos.
- Además de las posiciones que se puede obtener con los pulsadores de manera independiente uno del otro, también se puede mediante combinaciones de ellos.
- El conector de la palanca de mando es el DB9, el cual es fácil de desarmar para adecuarlo a entradas del microcontrolador.
- Comparado con otras marcas de palancas de mandos similares como es Attack 3 de LOGITECH, es más económica.

Además, debido que la palanca de mando tiene que ir unida al microcontrolador, es necesario contar con un circuito contra los rebotes que podría dar la palanca de mando:

Según la Figura 3.6 se conectará un Condensador (C1) y una Resistencia (R1); la constante de tiempo de R1C1 tiene que ser mayor al tiempo de rebote, ya que si no es así el microcontrolador puede detectar a los rebotes como un accionamiento de la palanca de mando.

Si asumimos un tiempo de rebote de 2 ms entonces el tiempo de carga y descarga de R1C1 tendrá que ser mayor:

$$R1 = 1K\Omega \quad C1 = 1\mu F$$

$$R1C1 = 10 \times 10^3 * 1 \times 10^{-6} = 10 \times 10^{-3} = 10 \text{ms}$$

Con este resultado se asegura que el microcontrolador no sea afectado por los rebotes.

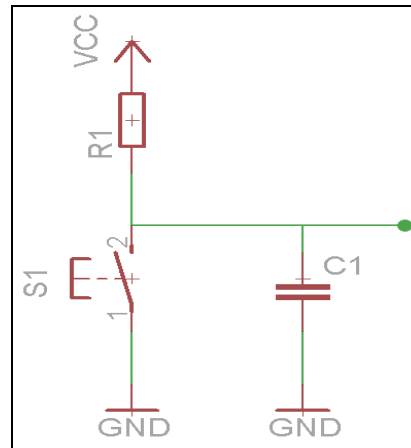


Figura 3.6: Circuito de protección contra rebotes del pulsador.

3.2.2 Controlador

3.2.2.1 Descripción

El controlador más adecuado para el presente diseño, de los controladores presentados en el capítulo anterior, es el microcontrolador; este controlador es mucho más económico, y sus características son adecuadas y suficientes para el presente proyecto; además no necesita la robustez que puede poseer un PLC.

Los microcontroladores son muy usados para diseños e implementaciones en diferentes campos, como la robótica, informática, industria, medicina, etc.

Además, en nuestro diseño es muy importante porque simplifica el número de componentes a utilizar, como se mostrará más adelante, así como también nos brinda la posibilidad de modificaciones de parámetros según sea necesario.

3.2.2.2 Cálculos y Criterios de Selección

Así como para otros componentes, para el microcontrolador hay que tener una serie de factores como los procesos a controlar, la documentación, herramientas de desarrollo

disponible, su precio, la cantidad de fabricantes que lo producen y las características del microcontrolador.

Aplicación:

Antes de seleccionar un microcontrolador es imprescindible analizar los requisitos de la aplicación:

- Procesamiento de datos:

Para la selección adecuada del microcontrolador, es necesario saber si realizará cálculos críticos en tiempos limitados, para poder escoger una velocidad adecuada del dispositivo.

Para la precisión es necesario saber el número de bits de trabajo del procesador; si no es suficiente un microcontrolador de 8 bits, entonces se podría trabajar con uno de 16 o 32 bits, o incluso a hardware de coma flotante.

Para el presente trabajo se cuenta con un microcontrolador que tiene una entrada directa del *encoder* de un motor, el cual se explicará más adelante, entrega 1400 pulsos por segundo. Además este mismo microcontrolador necesita operar con cada pulso que entregue el *encoder*.

Para obtener la frecuencia mínima de trabajo del microcontrolador, se puede aproximar a 1000 el número de líneas de código del programa grabado en el microcontrolador.

Tomando el caso más extremo y aproximando; en 1 segundo el microcontrolador puede procesar 1400x1000 líneas de código, es decir, tiene que poder procesar 1400000 líneas de código; por lo que es necesario contar con una mínima frecuencia de trabajo de 1.4 MHz.

Por lo tanto, si se trabaja con un microcontrolador de frecuencia de 8 MHz, como el Atmega8, se puede decir que este microcontrolador es suficiente.

- Memorias

En relación con las memorias es necesario hacer una estimación de cuánta memoria volátil y no volátil es conveniente [9].

En el presente diseño, ya que no se hará uso de tablas y además no existen muchas variables para el control, es posible estimar que para la memoria Flash (no volátil) es suficiente trabajar con menos de 16 Kbytes, con una memoria SRAM (volátil) de 1024 Bytes.

- Ancho de palabra

El criterio del diseño debe ser, requerir un microcontrolador con el menor ancho de palabra que satisfaga los requerimientos. Los de 4 bits no son muy comunes, por otro lado, los de 8 bits podrían ser los más adecuados ya que además de ser comunes son más económicos que los de 16 o 32 bits, los cuales son reservables para aplicaciones que requieren alta precisión o espacio de direccionamiento muy elevado [16]; esto no es necesario en el presente diseño ya que los movimientos de la cámara *Web* no son rápidos, debido a la separación entre el cañón y el avión no tripulado.

Principales marcas:

Según su volumen de ventas y diversidad de modelos podemos establecer como principales a los siguientes fabricantes:

- Microchip Technology
- STMicroelectronics
- Atmel

- Motorola Semiconductors

Costos:

En este trabajo es importante contar con el mayor beneficio y con el menor costo posible. En el siguiente Capítulo se mostrará la relación de costos de los componentes requeridos en el presente diseño.

En el presente diseño se escogerá un microcontrolador de la familia AVR Atmel, debido a las buenas prestaciones que tienen para este proyecto; además se requerirá un microcontrolador de 8 bits, lo cual es suficiente para los requerimientos del programa. En la siguiente tabla se muestra una comparación de las características de los microcontroladores de 8 bits de la familia Atmel.

Dispositivo	Flash (Kbytes)	EEPROM (Kbytes)	SRAM (bytes)	Fmax (MHz)	PWM (Canales)
ATmega128	128	4	4096	16	8
ATmega64	64	2	4096	16	8
ATmega32	32	0.5	2048	16	4
ATmega16	16	0.5	1024	16	4
ATmega8 (L)	8	0.5	1024	16 (8)	3

Tabla 3.1 Microcontroladores de las familias de 8 bits de Atmel AVR- RISC.

FUENTE: http://www.atmel.com/dyn/products/devices.asp?family_id=607.

3.2.2.3 Componente Seleccionado: ATmega8

El microcontrolador seleccionado es el ATmega8 de la serie AVR de la familia ATMEL:

- 8 bits AVR con 8Kbytes de memoria programable FLASH.
- Avanzada arquitectura RISC.
- 23 líneas de I/O programables.

- Velocidad: ATmega8 (0-16MHz), ATmega8 (L) (0-8MHz).

El ATmega8 es escogido no solo por cumplir los requerimientos necesarios sino también por el costo, el cual está presente en la tabla de presupuestos 4.3; que es menor al del ATmega16 o al del ATmega32 e incluso al del microcontrolador de Motorola 68HC11F1, que con similares características tiene un costo de S/.32.00.

3.2.3 Motores

3.2.3.1 Descripción

Los motores que se usarán para todos los posibles diseños, que se explicarán más adelante, son motores de corriente continua, esto quiere decir que son alimentados mediante un voltaje continuo, el cual puede variar, para modificar la velocidad del motor. Esta variación de velocidad lo realizará el microcontrolador dependiendo de los requerimientos.

3.2.3.2 Criterios de selección

Básicamente se necesitará dos motores DC con Caja reductora y con un *encoder* por cada motor, para poder sensor la posición en tiempo real de dichos motores.

Para ello se escogerá motores DC de la marca JAPAN SERVO, que son ampliamente usados en una gran variedad de aplicaciones como son los equipos de oficina, equipos médicos, máquinas de juegos, entre otros. Estos motores pueden ser combinados con la mayoría de las cajas reductoras de la misma marca para un torque y velocidad determinada.

Además JAPAN SERVO es conocido por proveer prácticos y económicos motores, con un estricto control de calidad para un buen desempeño de dicho actuador [11].

Se escogerá motores de la serie DME de JAPAN SERVO. Este tipo de motor es muy popular en distintas aplicaciones; asimismo por requerimientos de los demandantes, JAPAN SERVO combina la alta calidad de las cajas reductoras fabricados por ellos mismos, así como también es posible que el motor cuente con generadores de pulso para diferentes aplicaciones.

Se escogerá el motor DC DME34, el cual se puede observar en la Figura 3.7, ya que esta serie es la única que cuenta con el generador de pulsos.

El motor DME34 cuenta con un tiempo de vida de 1000 horas, además de las especificaciones que se muestra en la Tabla 3.2.

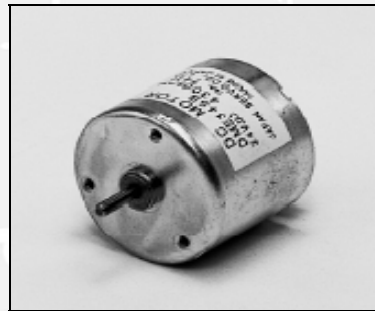


Figura: 3.7: Motor DC serie DME34 - JAPAN SERVO.

FUENTE: Hojas de datos del DME34 (ANEXO III).

Model	Rated						No load		Stall torque	
	Output W	Voltage V	Torque		Current A	Speed r/min	Current A	Speed r/min	mN-m	oz-in
			mN-m	oz-in						
DME34SA	1.3	12	3.9	0.56	0.2	3300	0.04	4300	17	2.36
DME34SB	1.3	24	3.9	0.56	0.1	3300	0.02	4300	17	2.36
DME34BA	4.5	12	11.8	1.67	0.65	3700	0.04	5000	45	6.39
DME34BB	4.5	24	11.8	1.67	0.31	3700	0.04	5000	45	6.39
DME34KB	7	24	14.7	2.08	0.41	4300	0.06	5100	92	13.03

Tabla 3.2: Características Técnicas DME34.

FUENTE: Hojas de datos del DME34 (ANEXO III).

Según la fuente de alimentación, y el precio, podemos escoger la mejor opción para el presente diseño.

La alimentación estará dada por la Interfaz de potencia (Puente H) la cual como máximo estará alimentada por 12V; por lo tanto podemos escoger el motor DME34 entre los modelos: DME34SA y DME34BA.

Siendo el motor DME34SA más económico que el DME34BA debido a su menor potencia y corriente, se puede seleccionar como el más adecuado para este diseño, en donde se necesitarán dos motores para la elevación y el giro.

Ambos Motores tendrán que mover un chasis, en el cual se encontrará una cámara Web; dicho chasis se explicará más adelante.

Según este requerimiento, el torque tiene que ser el adecuado para poder mover este chasis; además la velocidad tiene que no ser muy rápida, para que se pueda notar la precisión de la posición. Por ello se colocará una caja reductora a cada uno de los motores a utilizar.

3.2.3.3 Caja Reductora

Uno de los mayores problemas básicos en los usos de los motores es reducir la alta velocidad de los motores a una velocidad utilizable. Además se deben contemplar las posiciones de los ejes de entrada y salida y la potencia mecánica a transmitir.

La caja reductora es un mecanismo que consiste generalmente de un grupo de engranajes con diferencia de diámetros; con esto se consigue disminuir la velocidad y aumentar la potencia mecánica, es decir, el torque del motor.

Para potencias bajas se utilizan moto-reductores que son equipos formados por un motor eléctrico y un conjunto reductor integrado. Pero para potencias mayores se utilizan equipos reductores separados del motor.

Para el presente diseño se usará dos motores de corriente continua y con caja reductora para poder elevar y girar la cámara Web y el chasis adherido correspondientemente a estos motores. Ambos Motores tendrán que mover un chasis, en el cual se encontrará una cámara Web; dicho chasis se muestra en la Figura 3.8.

Siendo el peso del chasis y la cámara de 300g aproximadamente, con las consideraciones anteriores y teniendo el eje del motor separado del centro de masa a un centímetro aproximadamente, como se muestra en la Figura 3.8; se calcula el torque requerido.

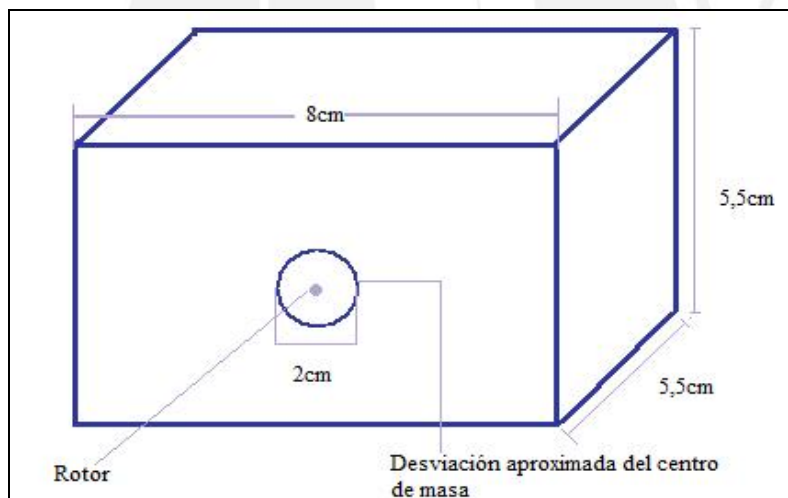


Figura 3.8: Vista externa del chasis, cámara Web incluida.

Motor de elevación y depresión

Torque mínimo:

$$T = F \times D$$

$$F=N= m \times a$$

m: Masa del chasis y la cámara Web

a : Aceleración de la gravedad

$$F=0.3\text{Kg} \times 9.8\text{m/s}^2 = 2.94 \text{ Newton}$$

$$D= 0.01 \text{ m}$$

$$T1 = 2.94 \text{ N} \times 0.01 \text{ m} = 29,4 \text{ mN-m}$$

DME34SA

$$W \text{ output} = 1.3 \text{ W}$$

$$\text{Torque} = 3.9\text{mN-m}$$

$$\text{Velocidad} = 3300\text{r/min}$$

Con el torque hallado (T1) denotamos que el torque del DME34SA no es suficiente para poder mover el chasis y la cámara Web, además de tener un velocidad muy rápida de 3300r/min. Por ello es necesario conectar al motor una caja reductora.

En este caso se escogerá una caja reductora del mismo fabricante, JAPAN SERVO, el cual nos brinda una selección de cajas reductoras que se pueden acoplar al motor escogido.

Las posibles cajas reductoras que se pueden acoplar al motor DME34SA están mostradas en la Tabla 3.3.






36G	43G	5C	L	6DG
				

Tabla 3.3: Cajas Reductoras para el motor DME34 [11].

Teniendo en cuenta el tamaño, el torque y las revoluciones por minuto, se puede denotar, que la caja reductora más adecuada es la 36G.

Caja Reductora: GEARBOX 36G, según hojas de datos.

Gear Ratio : 30

Rated Speed: 110 RPM

Rated Torque: 0.09 N-m (90 mN-m)
12.5 oz-in

Con estas características, podemos decir que esta caja reductora cumple con los requerimientos necesarios de torque, además de tener una adecuada velocidad de 110RPM, es decir 1.83 revoluciones por segundo aproximadamente, la cual es necesaria para ubicar blancos veloces.

En la Tabla 3.4 se muestra las características del motor y caja reductora escogidos.

Motor	Código	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Torque (N-m)	Velocidad (RPM)	Peso (g)
DME34	SA	1.3	12	0.2	0.09	110	200

Tabla 3.4: Características técnicas.

FUENTE: Hojas de datos del DME34 y GEARBOX 36G (ANEXO III y ANEXO VII).

El peso es considerando del motor DME34, la caja reductora y el *encoder* incremental, el cual se explicará más adelante.

Motor de giro horario y antihorario

La elección de este motor es similar al anterior solo que este motor tiene que mover un mayor peso: el chasis, la cámara, el soporte que sostiene el chasis y el motor de

elevación y depresión. El soporte que sostiene al chasis es en forma de U y coge al chasis por sus dos lados laterales para que se pueda mover de manera vertical, mientras tanto el motor de giro estará acoplado a este soporte para hacer girar a todo el bloque (Soporte y Chasis).

Peso anterior del chasis, cámara y motor: 500g

Soporte: 200g

En este caso el torque requerido es:

$$T = F \times D$$
$$T = 0.7 \times 9.8 \times 0.01 = 68.6 \text{ mN-m}$$

El motor escogido para el movimiento vertical sirve también para el movimiento horizontal (giro horario y antihorario) por el torque requerido y además porque deben moverse a la misma velocidad.

3.2.4 Mecanismos para Ubicar la Posición de los Motores

3.2.4.1 Descripción

En el capítulo anterior, se mostró dispositivos que sirven para sensor la posición de los motores, algunos de ellos mostraban las revoluciones, número de pulsos por revolución, una serie de bits por posición angular, etc.

Sin embargo para el presente diseño será necesario y suficiente utilizar un *Encoder* Diferencial, llamado también por la compañía JAPAN SERVO: sensor de revolución.

El *encoder* diferencial, como se mencionó en el capítulo 2, es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de pulsos digitales. Con estos

pulsos y mediante la lógica de microcontrolador se puede asociar para una lectura adecuada y precisa de los giros de los motores y con ello la de la cámara *Web*.

3.2.4.2 Cálculos y criterios de Selección.

El *encoder* que se utilizará en el presente diseño será de la compañía JAPAN SERVO; ya que esta misma compañía proporciona *encoders* integrados a los motores que son fabricados por ellos mismos.

Por otro lado, existen dos tipos de *encoders* incrementales proporcionados también por JAPAN SERVO, que se pueden adherir al motor DME escogido anteriormente: Sensor de revolución óptico y Sensor de revolución magnético.

Sensor de revolución magnético:

Comparado con el sensor de revolución óptico, el sensor de revolución magnético es más resistente a altas temperaturas, vibraciones y fuertes caídas. Además el diseño comparado con el del sensor de revolución óptica, es más simple [11].

Sin embargo los tipos de sensores magnéticos son vulnerables a las señales de ruido, especialmente señales de ruido muy bajos; uno de ellos se muestra en la Figura 3.9.



Figura 3.9: *Encoders* incrementales tipo Magnético [11].

Sensor de revolución óptico:

Mostrado en la Figura 3.10, presenta un *LED* de larga vida es usado como el emisor de luz y un fototransistor es usado como el detector de luz; además es más económico que el anterior; sin embargo hay que tener especiales consideraciones con respecto a la temperatura ya que el motor puede trabajar entre 0°C y 40°C.

Es necesario mencionar que el sensor óptico de la compañía JAPAN SERVO, está permitido solo para el modelo DME34.



Figura 3.10: *Encoders* incrementales tipo Óptico [11].

Ambos sensores cuentan como tres cables, dos de entrada de voltaje y el tercero es aquel que proporcionará la señal generadora de pulsos, como se muestra en el esquema de conexiones mostrado en el Figura 3.11.

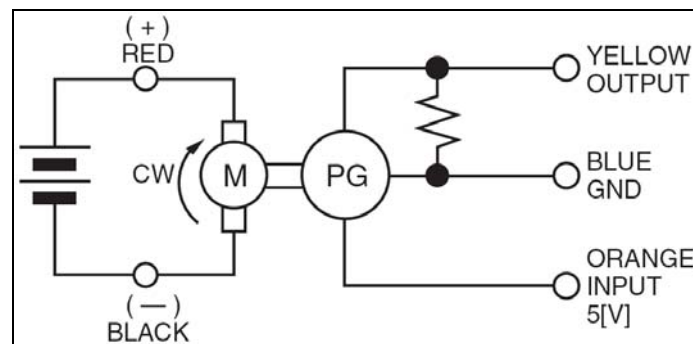


Figura 3.11: Diagrama de conexiones del *encoder* diferencial de SERVOJAPAN [11].

Las especificaciones técnicas que nos proporciona el fabricante mostrada en la Figura 3.12 son muy importantes ya que sirve para poder elegir el tipo de sensor de revolución o *encoder* para este diseño.

En la figura 3.12 se puede ver que el sensor de revolución óptico es 24 pulsos por revolución, el doble de pulsos por revolución que brinda el de tipo magnético; por lo que se puede concluir que el sensor óptico tiene el doble de resolución, además el error de ciclo de trabajo es menor que del sensor magnético, es decir, que si se utiliza un *encoder* óptico, este podrá brindar 24 pulsos por revolución del motor; pero al motor se le acoplará una caja reductora, como se mencionó anteriormente, siendo la relación motor – caja reductora igual a 30. Entonces por cada revolución del eje de la caja reductora el *encoder* dará 720 pulsos.

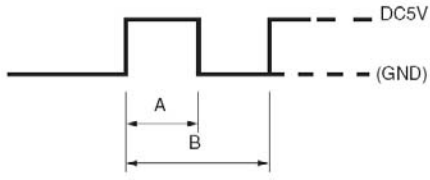
REVOLUTION SENSOR TYPE	MAGNETIC	OPTICAL
PULSE PER REVOLUTION	12P/rev.	24P/rev.
INPUT VOLTAGE	DC5V \pm 10%	DC5V \pm 10%
CURRENT CONSUMPTION	5mA nominal	25mA nominal
DUTY (B/A)	50 \pm 20%	50 \pm 10%
OUTPUT WAVEFORM (COMMON)		

Figura 3.12: Especificaciones técnicas de los sensores de revolución [11].
(ANEXO IV)

3.2.4.3 Componente Seleccionado: Sensor de revolución óptico

El *encoder* seleccionado es el sensor de revolución óptico de la compañía SERVOJAPAN.

Con este *encoder* y con la caja reductora se puede escoger el motor DME34SEA, al cual está acoplado internamente el *encoder* incremental; con una caja reductora 36G.

Mediante el conjunto motor, *encoder* y caja reductora, se puede denotar la **precisión del diseño**:

En una revolución el *encoder* podrá entregar, al microcontrolador, 720 pulsos; a su vez y según el presente diseño para que el microcontrolador pueda identificar 1 grado sexagesimal es necesario que cuente con dos pulsos; por lo que con 720 podrá identificar 360 grados.

Así el cañón a escala podrá moverse como mínimo un grado a la vez, y su velocidad dependerá del ciclo de trabajo con que se le alimente a los motores.

En la Figura 3.13 se puede denotar que el mínimo movimiento angular que realiza la cámara *Web* se relaciona directamente con la precisión de seguimiento del cañón hacia la nave objetiva. Como se mencionó anteriormente, el mínimo movimiento angular que realiza la cámara es de 1 grado sexagesimal, y la distancia de vuelo aproximada del avión de prueba no tripulado de la Fuerza Aerea del Perú es de 100 metros con una velocidad aproximada de 200K/h; por lo que D es igual a 1.74m; es decir el disparo tiene un rango de error de 1.74m; considerando este rango en escala real se podría suponer que existe una buena precisión en el disparo, teniendo en cuenta el tamaño de los aviones enemigos, como por ejemplo la nave aérea Mig-29S de 17.5m de longitud [6].

$$D = \frac{1^\circ \times \pi}{180} \times 100 = 1.74\text{m}$$

Para que la precisión pueda ser mayor se requerirá que el movimiento angular del cañón, en cualquier escala, sea menor a 1 grado sexagesimal; esto se podrá lograr utilizando un *encoder* de mayor resolución, es decir, un mayor número de pulsos por revolución del eje principal del motor.

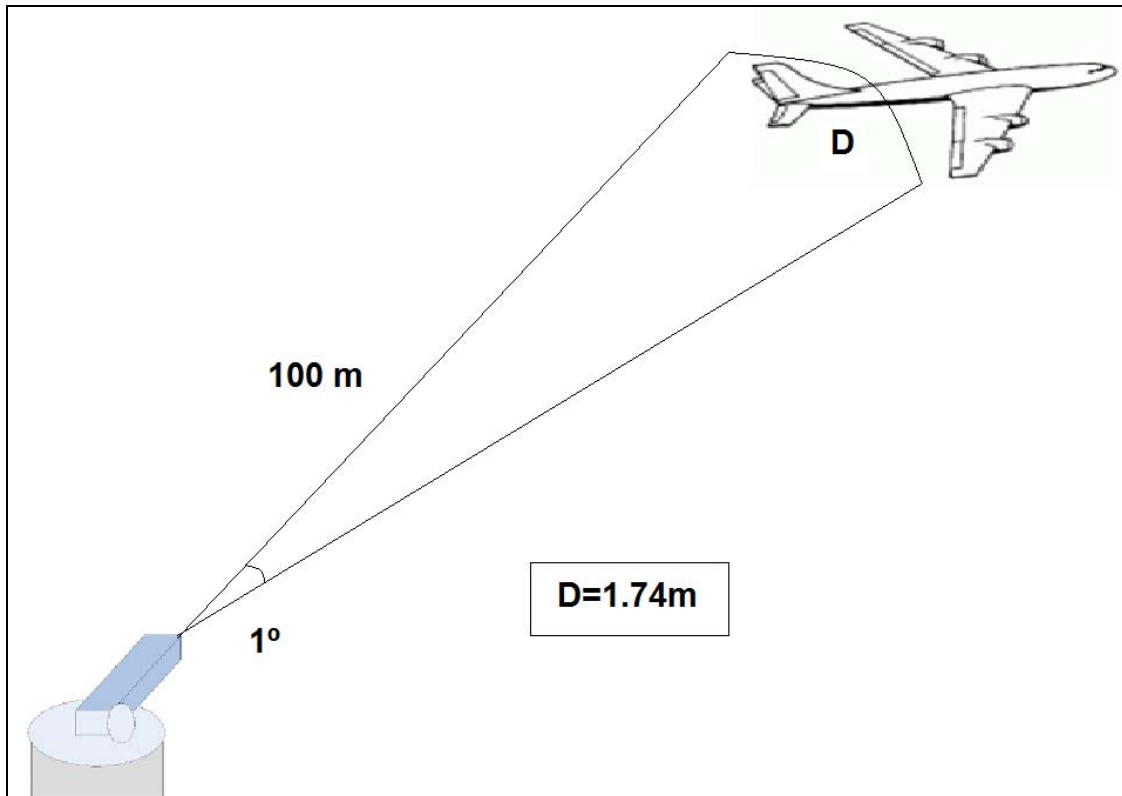


Figura 3.13: Precisión del cañón con un grado.

3.2.5 Interfaz de potencia para motores de Corriente Continua

3.2.5.1 Descripción

La interfaz de potencia para motores de corriente continua es la que permite que el motor de corriente continua se mueva en ambos sentidos, tal como se mencionó en el capítulo anterior. Además tiene diferentes tipos de usos; desde la robótica hasta controles industriales.

Esta interfaz de potencia, es llamada también puente H debido a su representación gráfica o posición de los componentes, como se muestra en la Figura 3.14.

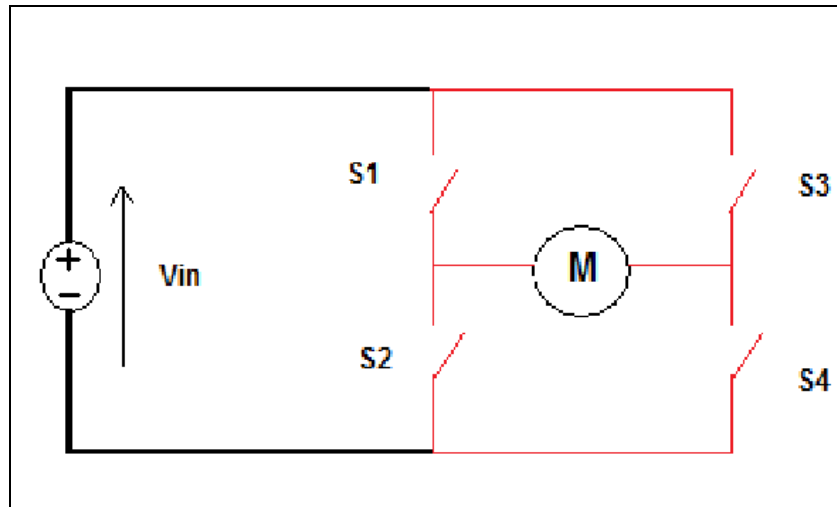


Figura 3.14: Puento H.

3.2.5.2 Elección de los componentes

Los componentes a utilizar dependen de bastantes características de diseño; como son el motor a utilizar, si se controla mediante un microcontrolador, el uso de un PLC, etc.

La interfaz de potencia para motores puede usar desde integrados como el LM298, L293D hasta MOSFETs o transistores de potencia; estos últimos son mayormente usados para motores que consuman altas corrientes.

Debido que los motores consumen una corriente de 0.2 A se puede utilizar el integrado L293D, el cual es un integrado diseñado con dos puente H internos independientes uno del otro y maneja corrientes de 600mA, por lo que puede ser ideal para el presente diseño.

Todas sus salidas son compatibles con TTL; además cada salida es un circuito completo *totem-pole*, el cual permite tener potencias muy bajas de consumo en el integrado, permitiéndole trabajar con altos niveles de integración [2].

Algunos valores máximos de trabajo de L293D:

$V_s = 36 \text{ V}$ (Power supply)

$V_i = 7 \text{ V}$

$I_o = 600 \text{ mA}$ (operación)

Además del integrado L293D, la interfaz de potencia para motores, contará con otros componentes para un adecuado funcionamiento.

Para el L293D es necesario contar con diodos para poder suprimir transiciones inductivas también para proteger de variaciones erróneas del motor. Los diodos a utilizar son: 1N4001, los cuales son de propósito general y pueden soportar una corriente hasta de 1A.

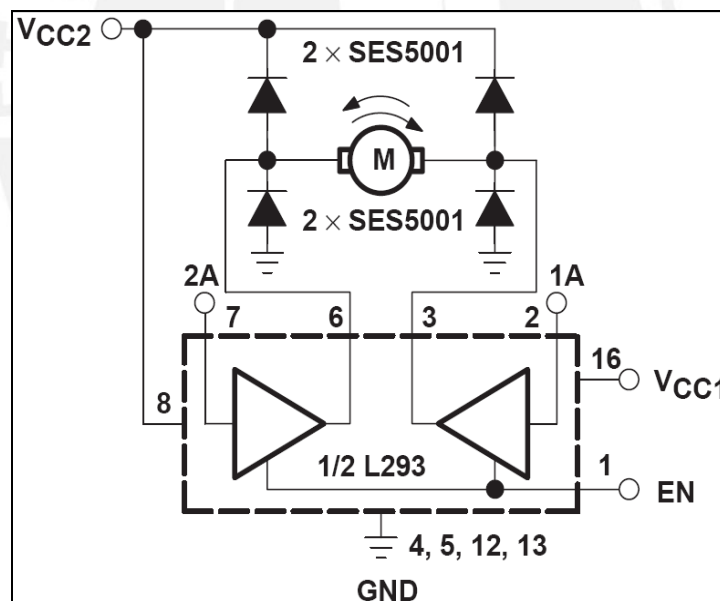


Figura 3.15: Control de motor DC bidireccional.

FUENTE: Hojas de datos del L293 (ANEXO II).

El terminal VCC1 debe estar separado del terminal VCC2 para poder minimizar la disipación de potencia del componente.

3.2.5.3 Consideraciones de Potencia

Por su gran flexibilidad, esta interfaz puede manejar un gran rango de motores de baja potencia, sin embargo se debe considerar la potencia que se disipará en el integrado L293D en forma de calor, para poder adaptarle un disipador de calor en el caso de ser necesario.

Para hallar la potencia disipada en forma de calor en el integrado L293, MOSFETs o transistores, se puede usar la siguiente fórmula:

$$P=I \times V$$

V: Voltaje de alimentación al integrado.

I: Corriente consumida por el motor en Amperios.

P: Potencia disipada en forma de calor en Vatios.

Sin embargo se conoce cuanto potencia consume cada motor, por lo que se puede hallar la potencia total requerida para el L293D.

Motor1: Pot promedio = 1.3W

Motor2: Pot promedio = 1.3W

$$P_{tot} = 2.6W$$

Con la potencia total obtenida y con las graficas de la Figura 3.16 se puede obtener la dimensión del disipador, que va montado sobre el integrado L293D.

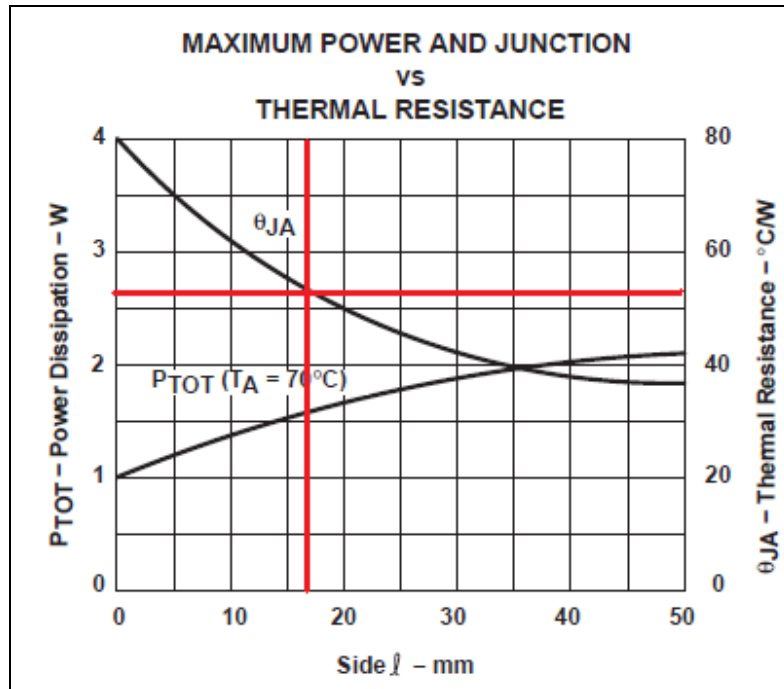


Figura 3.16: Información de aplicación.

FUENTE: Hojas de datos del L293 (ANEXO II).

Con ellos se denota que: $l = 1.5$ cm aproximadamente, esto servirá en la realización del la tarjeta del puente H.

3.2.5.4 Otras consideraciones para la Interfaz de Potencia

Optoacoplador

Su gran capacidad de respuesta y funcionamiento permite un aislamiento eléctrico entre dos circuitos. Generalmente aíslan la unidad de alta potencia con circuitos de baja potencia del control.

Entre la interfaz de potencia y el microcontrolador se puede colocar optoacopladores para proteger al ATmega8 de algún posible corto circuito, alteraciones de los componentes siguientes, corriente inversa o de fuga.

El integrado elegido es el PC827 de la compañía SHARP, el cual contiene dos optoacopladores; el circuito de un optoacoplador se puede observar en la Figura 3.17.

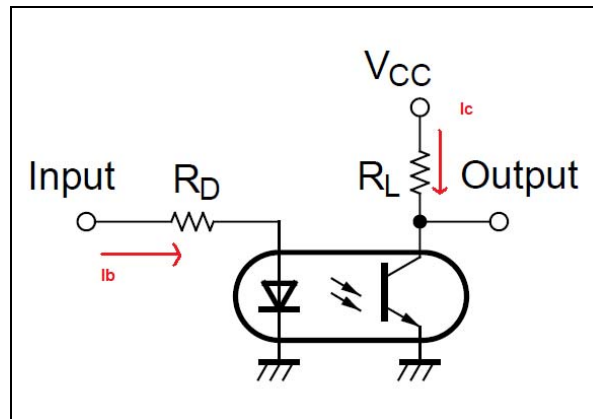


Figura: 3.17: Circuito de Funcionamiento.

FUENTE: Hoja de datos del Optoacoplador PC827 (ANEXO V).

Según la hoja de datos del optoacoplador se escoge un $R_L=1K\Omega$ (ANEXO V), para que trabaje a una frecuencia de 4KHz, ya que a dicha frecuencia trabajan las PWM para el control de los motores. Con ello y asumiendo que el transistor está en saturación y además teniendo un voltaje colector-emisor (V_{ce}) de 0.2V; se puede hallar la corriente I_c de la figura anterior.

$$I_c = \frac{V_{cc} - 0.2}{1K\Omega}$$

$$V_{cc} = 5v$$

$$I_c=4.8mA$$

Según la hoja de datos, para que el V_{ce} sea 0.2V, la I_b tiene que ser 10mA, lo cual se cumple si:

$$10mA = \frac{5V - 12V}{R_d}$$

$$R_d = 380\Omega$$

Se escoge un R_d de 330 Ω , ya que este es un valor comercial.

Regulador de voltaje

Ya que la fuente de alimentación principal es de 12V, como se explicará más adelante, para alimentar los optoacopladores se necesitará un regulador de voltaje, que regule a 5V.

Este regulador deberá alimentar al microcontrolador, a los circuitos de protección contra rebotes de la palanca de mando y a los optoacopladores; los cuales consumen una corriente total de 63.6 mA.

El regulador que se utilizará es el KA7805 de la serie KA78XX/KA78XXA, de la compañía FAIRCHILD, ya que su corriente de entrega máxima es de 1 A.

Los condensadores que se colocan en la fuente funcionarán como filtros pasa bajos y así dar un mejor nivel de señal continua, además sirven para limpiar la señal de efectos transitorios. Para la Figura 3.18, el fabricante recomienda (ANEXO VI):

$$C1 = 0.33\mu\text{F} \quad \text{y} \quad C2 = 0.1\mu\text{F}$$

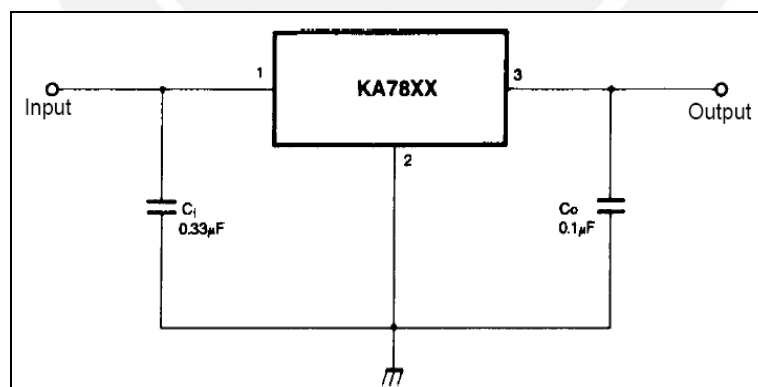


Figura 3.18: Diagrama de conexiones del Regulador de voltaje.

FUENTE: hojas de datos del KA7805 (ANEXO VI).

3.2.6 CAMARA *Web*

3.2.6.1 Introducción

La cámara *Web* es el último componente a seleccionar, esta cámara servirá como prueba para simular el cañón antiaéreo.

La cámara *Web* tiene que tener un tamaño adecuado para entrar en el soporte que moverán los motores, además tiene que tener una buena resolución para poder captar imágenes, para las posibles pruebas que se realicen con el avión no tripulado de la Fuerza Aérea del Perú.

3.2.6.2 Componente seleccionado: Cámara *Web* MIC W312 Micronics Avanty

La cámara *Web* seleccionada es la Micronics Avanty - MIC W312 tanto por sus características y especificaciones técnicas, así como por su precio.

Características:

Captura de Imagen y Video y Micrófono Incorporado.

Plataforma: *Notebook* o PC.

Compatible con todos los S.O. Windows.



Figura 3.19: Cámara *Web* MIC W312 Micronics Avanti.

FUENTE: www.mercadolibre.com.

Especificaciones Técnicas:

- Captura de imagen y video hasta 5.0 Megapixels.
- Interfaz: USB 2.0 compatible con USB 1.1.
- Formato de vídeo: 24 BIT RGB.
- Rango de foco: 3 cm hasta infinito.
- CMOS de alta resolución.

3.2.7 Fuente de energía

3.2.7.1 Descripción

La batería es un acumulador eléctrico que almacena energía eléctrica, usando procedimientos electroquímicos; esta energía eléctrica la devuelve casi en su totalidad; este ciclo puede repetirse un número de veces. Además se puede recargar.

La fuente de energía que se utilizará para la alimentación de todas las tarjetas del diseño es una batería, entre ellas a las del puente H, regulador de voltaje y motores; los cuales consumen una corriente total de 2.6 A.

3.2.7.2 Componente elegido: OPALUX

La batería para la alimentación general de todo el diseño es la batería DH 1245 OPALUX.

- 12V, 4.5 AH
- T: 25°C
- Recargable (con una tensión de 13.6 – 13.8V)
- Certificado pro el ISO 9001

3.3 Diseño de la lógica del presente sistema electrónico

3.3.1 Microcontrolador

Para poder realizar la lógica del programa, es necesario que se indiquen las entradas y las salidas del microcontrolador, tal como se muestra en la Figura 3.20 y cuya explicación se puede denotar claramente en la Tabla 3.5.

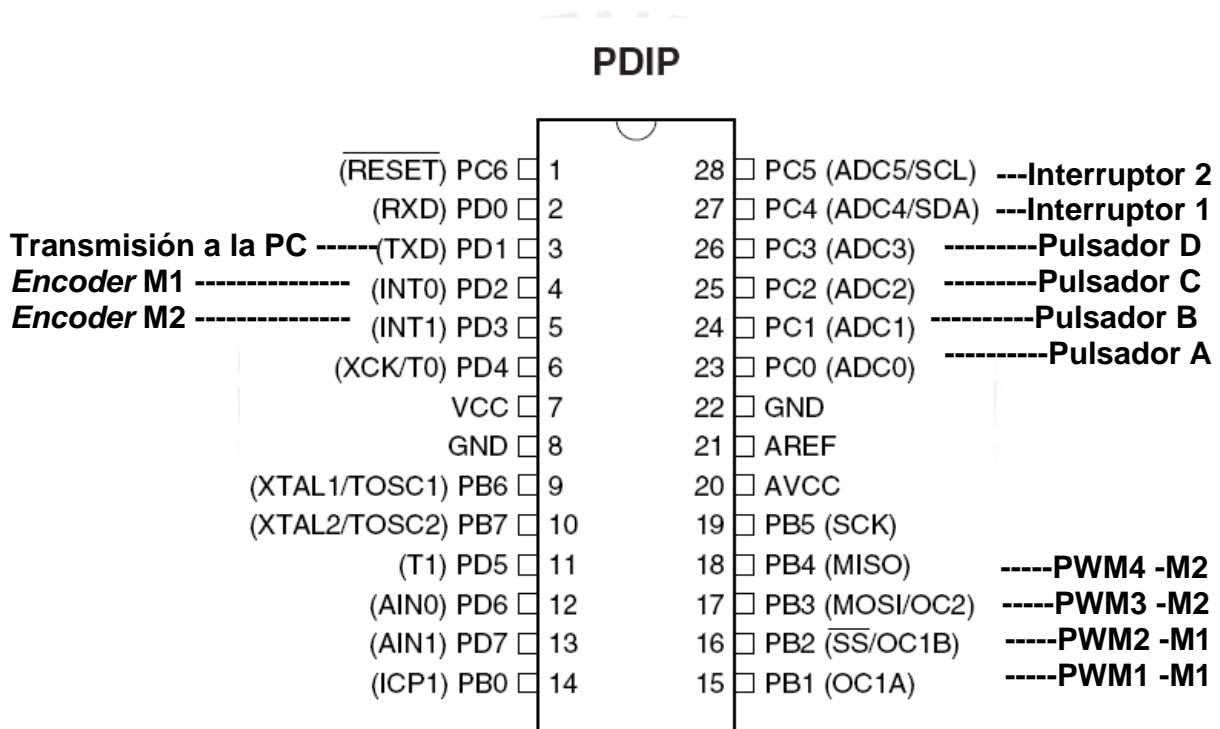


Figura 3.20: Diagrama de distribución de entradas y salidas.

FUENTE: Manual del ATmega8 (ANEXO VIII).

Interruptor1	Cuando se cierra el ciclo de trabajo cambia a 25% de la señal
Interruptor2	Cuando se cierra el ciclo de trabajo cambia a 75% de la señal
Pulsador A	Acción hacia ARRIBA (en la palanca de mando)
Pulsador B	Acción hacia ABAJO (en la palanca de mando)
Pulsador C	Acción hacia la IZQUIERDA (en la palanca de mando)
Pulsador D	Acción hacia la DERECHA (en la palanca de mando)
PWM1 Motor1	Salida relacionada con la acción hacia ARRIBA, para el puente H
PWM2 Motor1	Salida relacionada con la acción hacia ABAJO, para el puente H
PWM3 Motor2	Salida relacionada con la acción hacia la IZQUIERDA, para el puente H
PWM4 Motor2	Salida relacionada con la acción hacia la DERECHA, para el puente H

Tabla 3.5: Descripción de las entradas y salidas.

FUENTE: Manual del ATmega8 (ANEXO VIII).

3.3.2 Diagramas de flujo

Para entender mejor la lógica del diseño, se muestra en diagramas de flujo: La figura 3.21 muestra el diagrama principal. Además estos diagramas servirán como guía para la programación correspondiente en el microcontrolador.

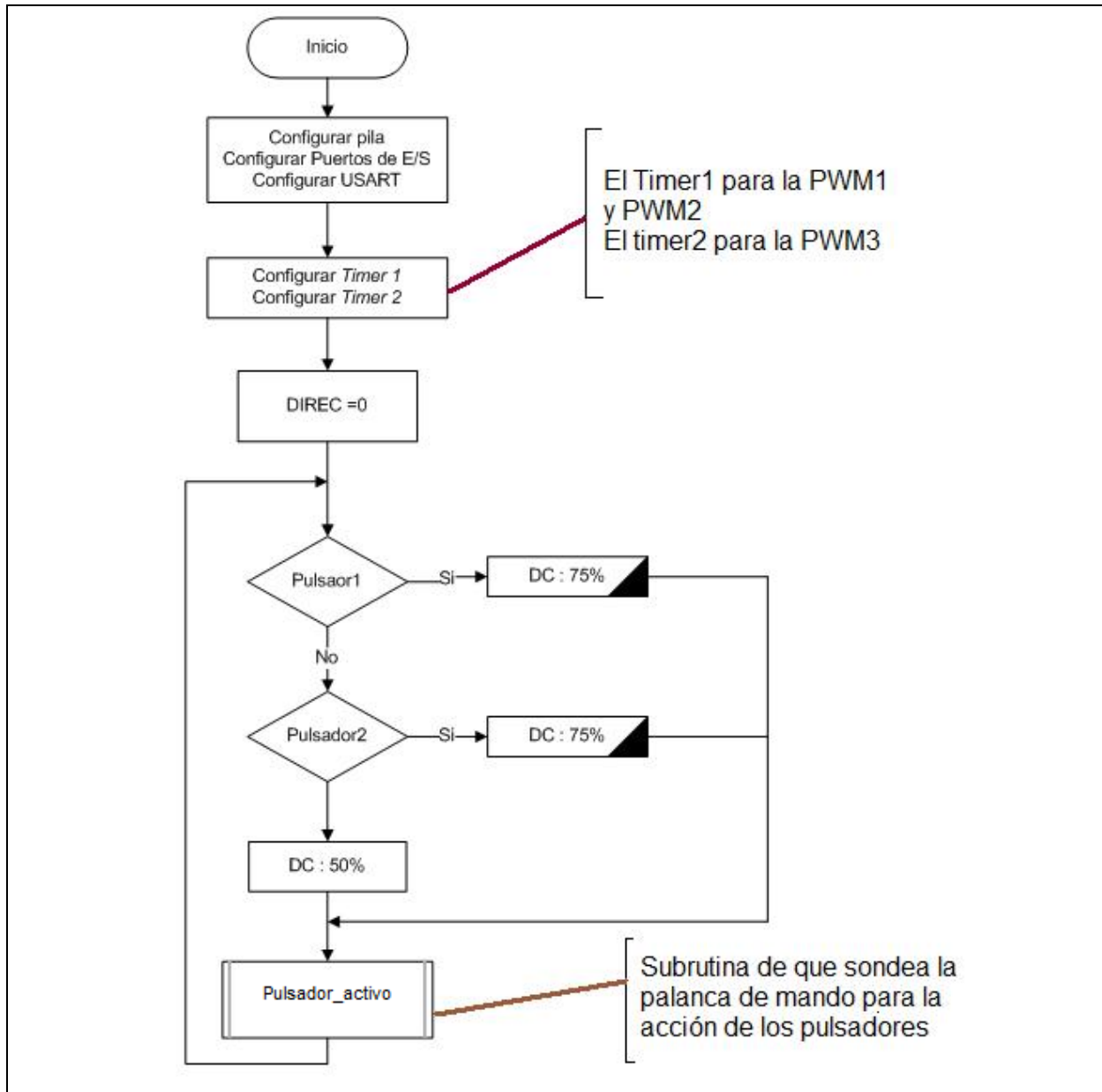


Figura 3.21: Diagrama de flujo Principal.

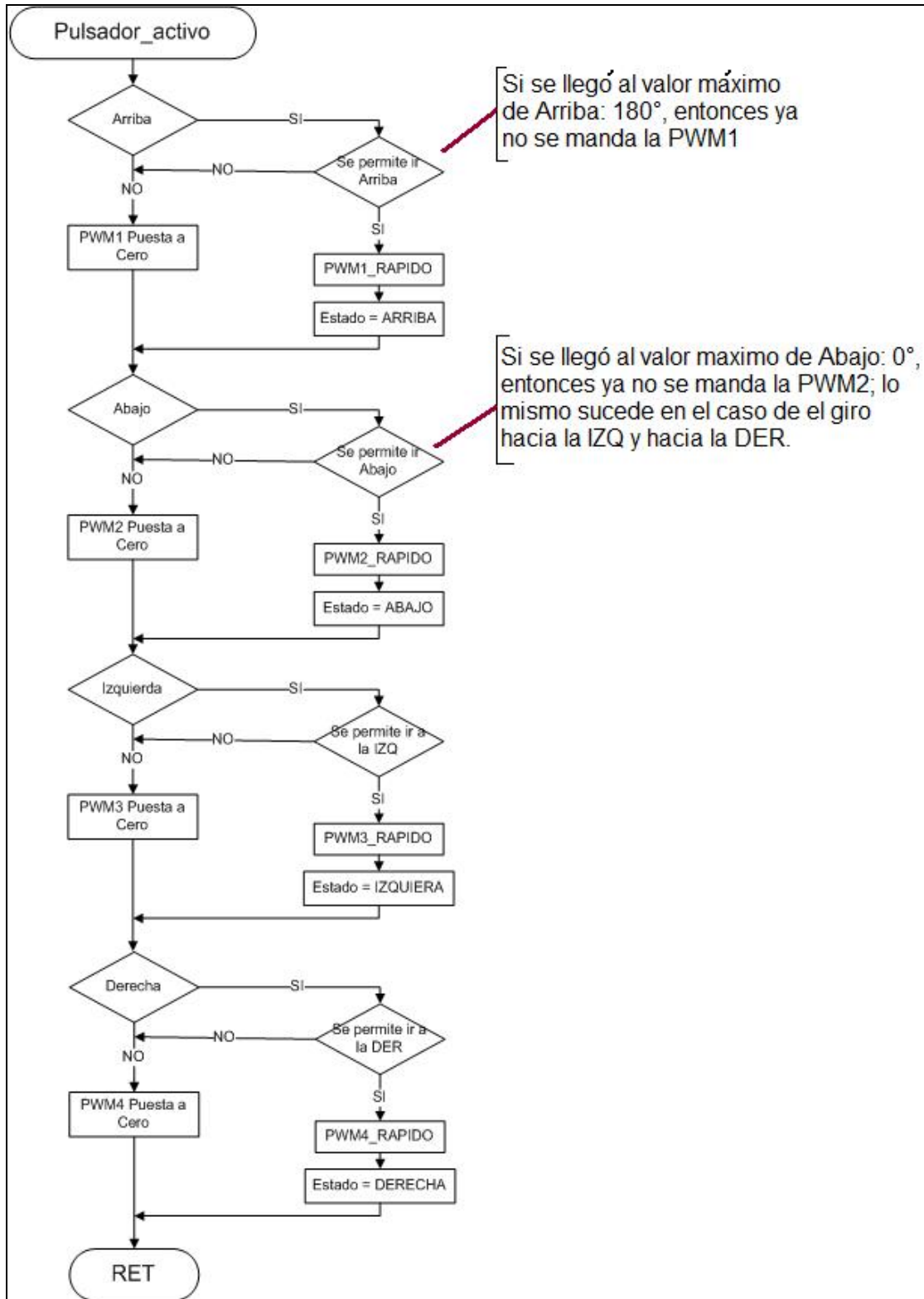


Figura 3.22: Subrutina Pulsado_activo del programa principal.

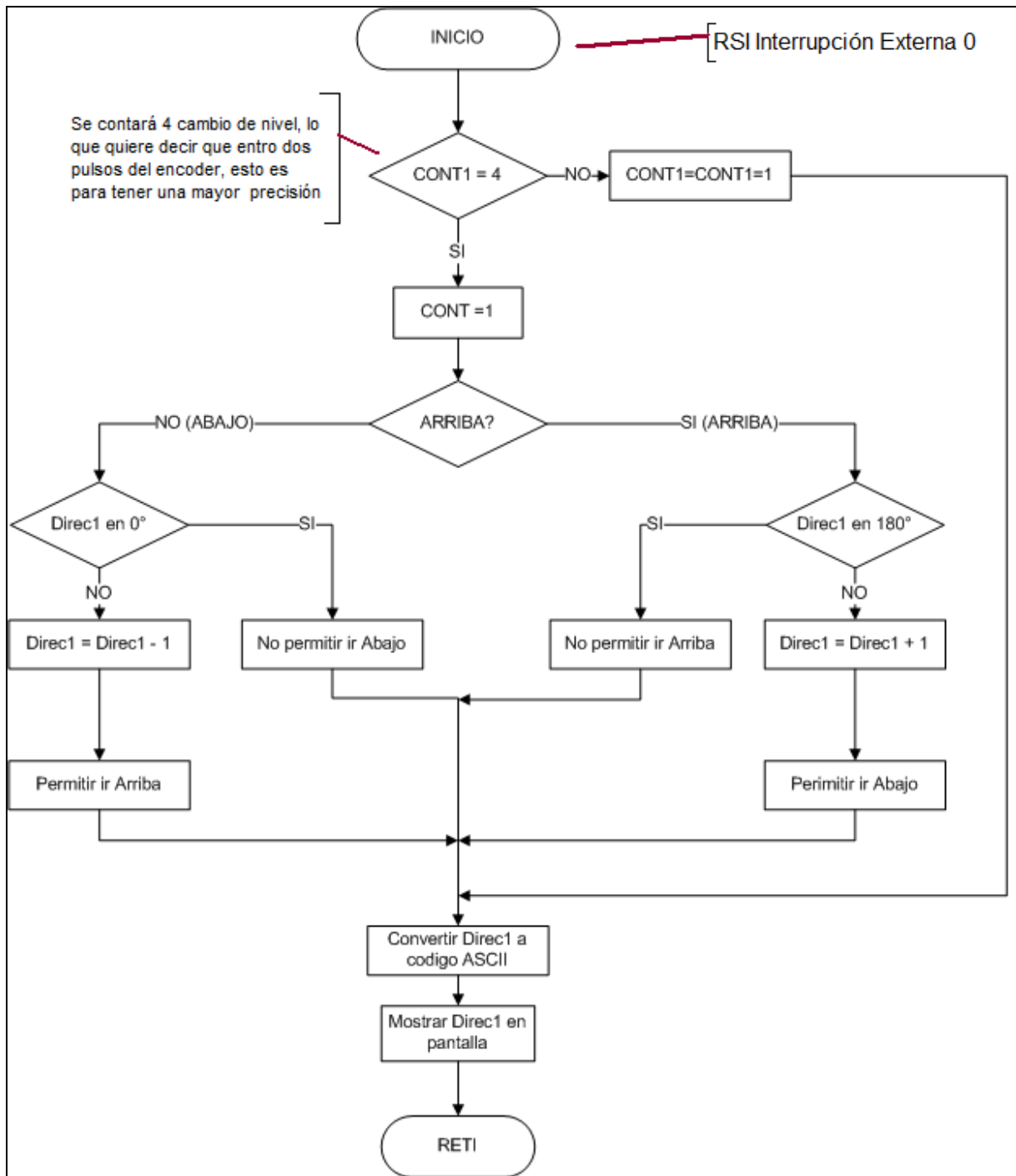


Figura 3.23: Rutina de Servicio de Interrupción Externa 0.

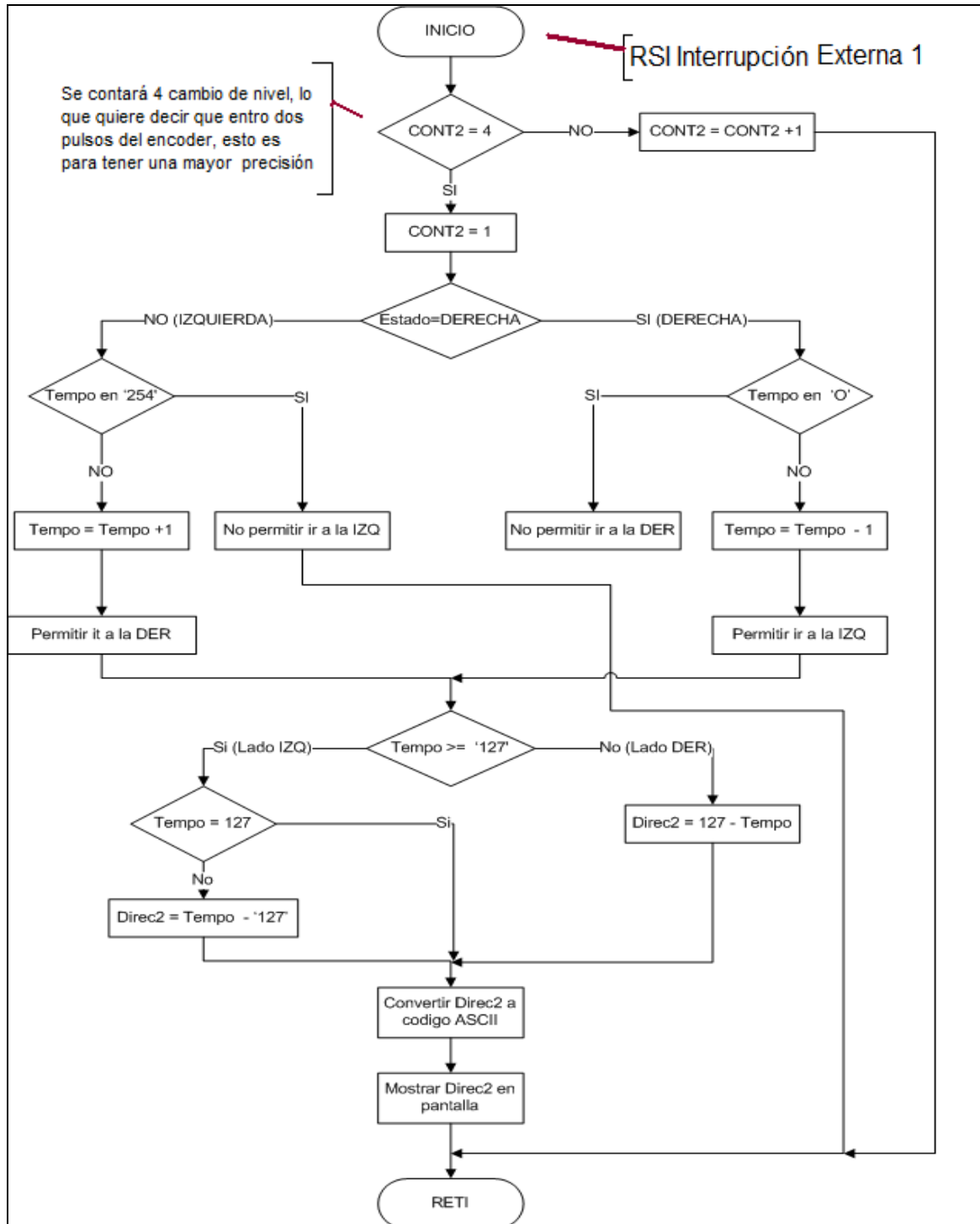


Figura 3.24: Rutina de Servicio de Interrupción Externa 1.

CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El diseño del sistema electrónico para controlar los movimientos del cañón antiaéreo a escala se realizará con los componentes seleccionados y la lógica mostrada en el capítulo anterior.

Como se mencionó para los dos motores a utilizar, se necesitan cuatro señales de PWM para sus movimientos, las cuales inicialmente ingresarán a una interfaz de potencia ya que el microcontrolador no puede entregar un nivel de voltaje y corriente suficientemente elevado para el funcionamiento.

En este capítulo se describe y muestra las simulaciones necesarias para el control de los movimientos de los motores que estará guiado por la palanca de mando. Estas simulaciones están relacionadas al microcontrolador.

En las simulaciones del microcontrolador ATmega8 de la compañía Atmel, se podrá observar el funcionamiento de la lógica, que se mostró en los diagramas de flujo en el capítulo anterior. Dichas simulaciones se realizaron mediante el *software* VMLAB versión 3.12 y el *software* PROTEUS versión 7.0.

En el *software* PROTEUS se podrá observar las señales de PWM para el control de los motores, así como también se simulará la palanca de mando. La simulación de la comunicación entre el microcontrolador y la computadora personal, cuando el *encoder* se encuentre dando la señal de posición del motor, se realizará mediante el *software* del VMLAB, USART; finalmente a través del hyperterminal se podrá visualizar la posición de los motores en tiempo real, indicando la elevación y giro.

Como se mencionó anteriormente, si la cámara *Web* da una completa revolución, el *encoder* habrá dado 720 pulsos y según el diseño si se desea contar un grado, se necesita 2 pulsos, o cuatro cambio de nivel de la señal de salida del *encoder* para el microcontrolador.

Cabe mencionar que el *encoder* se va a simular por medio de un pulsador por cada *encoder*, que estará conectado a las entradas Int0 e Int1, entradas para las interrupciones externas, como se explicará más adelante; la subrutina de interrupción externa se habilitará y funcionará sólo cuando existe un cambio de nivel en la señal que brinda el *encoder*. Además se diseñarán las tarjetas del microcontrolador y del Puente H.

4.1 Simulaciones y Análisis

4.1.1 Simulaciones del Microcontrolador ATmega8

A través del *software* PROTEUS, se simulará las señales de PWM que entrarán a la interfaz de potencia y finalmente llegarán a los motores, para así controlar la velocidad y posición de los mismos. En dicho *software* también se simulará los pulsadores de la palanca de mando.

Para visualizar la posición en tiempo real de los motores se usará el *software* VMLAB, y a su vez se visualizará la posición de la cámara *Web*, mediante el hyperterminal del mismo *software* [9].

4.1.1.1 Posición de los motores

Como se mencionó anteriormente el microcontrolador tendrá la posibilidad de generar cuatro ondas PWM, para el control de posición de los motores y, a través de estos, la posición de la cámara *Web* que simulará al cañón a escala.

Las señales de PWM se obtendrán por los pines de salida PB1, PB2, PB3 y PB4 del microcontrolador; la Tabla 4.1 muestra estos pines de salidas especificando su movimiento.

Pin de Activación	Pin de salida de PWM	Dirección
PC0	PB1 (OC1A)	Arriba
PC1	PB2 (OC1B)	Abajo
PC2	PB3 (OC2)	Izquierda
PC3	PB4 (<i>Pin de propósito general</i>)	Derecha

Tabla 4.1 Descripción de las salidas del microcontrolador ATmega8 en el diseño.

Los tres primeros pines son aquellos en donde el microcontrolador, por sí mismo, puede proporcionar señales de PWM. Para los dos primeros canales, PB1 y PB2, el microcontrolador utiliza el *Timer1* y para PB3, el *Timer2*.

Para obtener la cuarta señal PWM, se realizará mediante el pin PB4 el cual es un pin de propósito general, es decir, que el microcontrolador al no tener un *Timer* específico, es necesaria una lógica distinta pero sencilla.

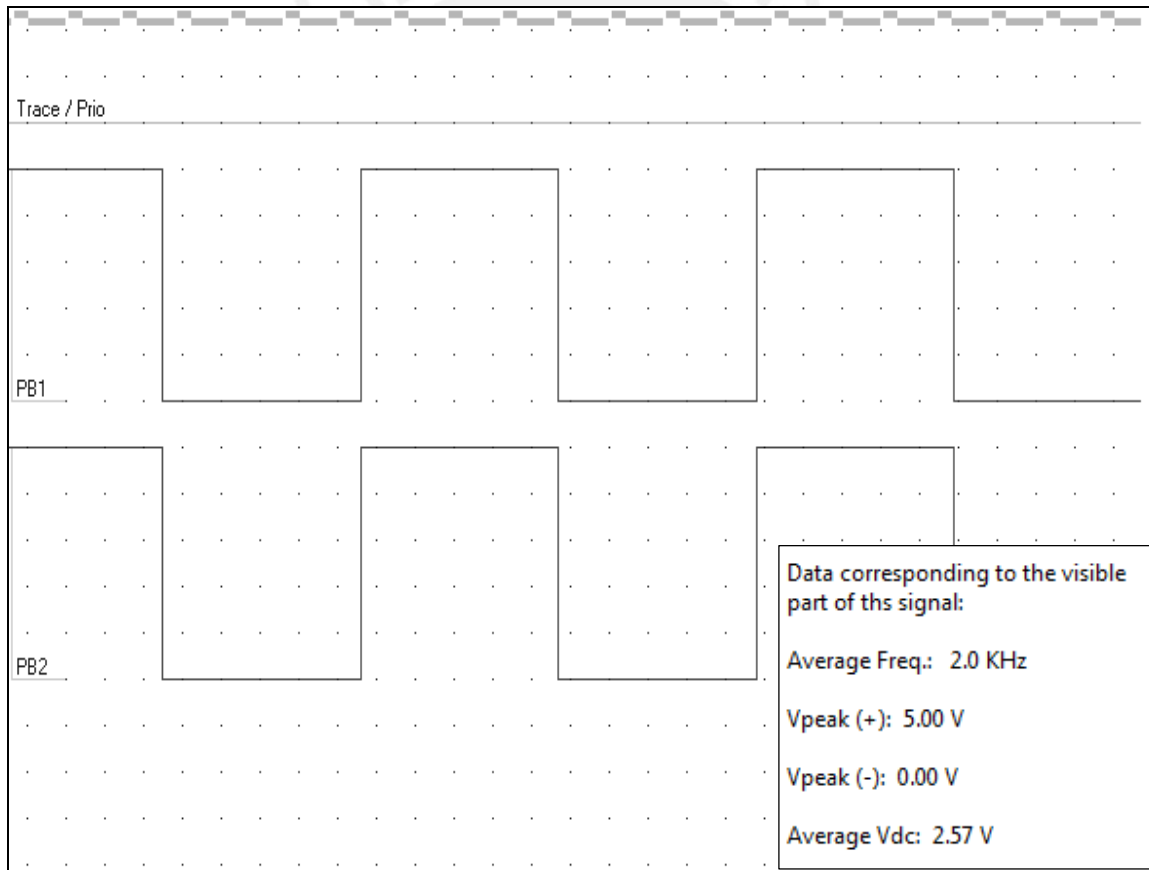
En la presente simulación tanto el *Timer1* como el *Timer2* pueden ser configurados para las necesidades requeridas; la frecuencia, el modo de operación y el tipo de onda a generar son las principales configuraciones en ambos casos.

Para la configuración del *Timer1* existen registros de E/S involucrados con las dos primeras señales de PWM, como se muestra en la Figura 4.1.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM1A1 COM1A0 COM1B1 COM1B0 FOC1A FOC1B WGM11 WGM10								TCCR1A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	W	W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ICNC1 ICES1 – WGM13 WGM12 CS12 CS11 CS10								TCCR1B
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 4.1: Registros de configuración del *Timer1*.

FUENTE: Manual del ATmega8 (ANEXO VIII).



Simulación 4.1: PWM por los pines PB1 y PB2 del ATmega8 usando el *software* VMLAB.

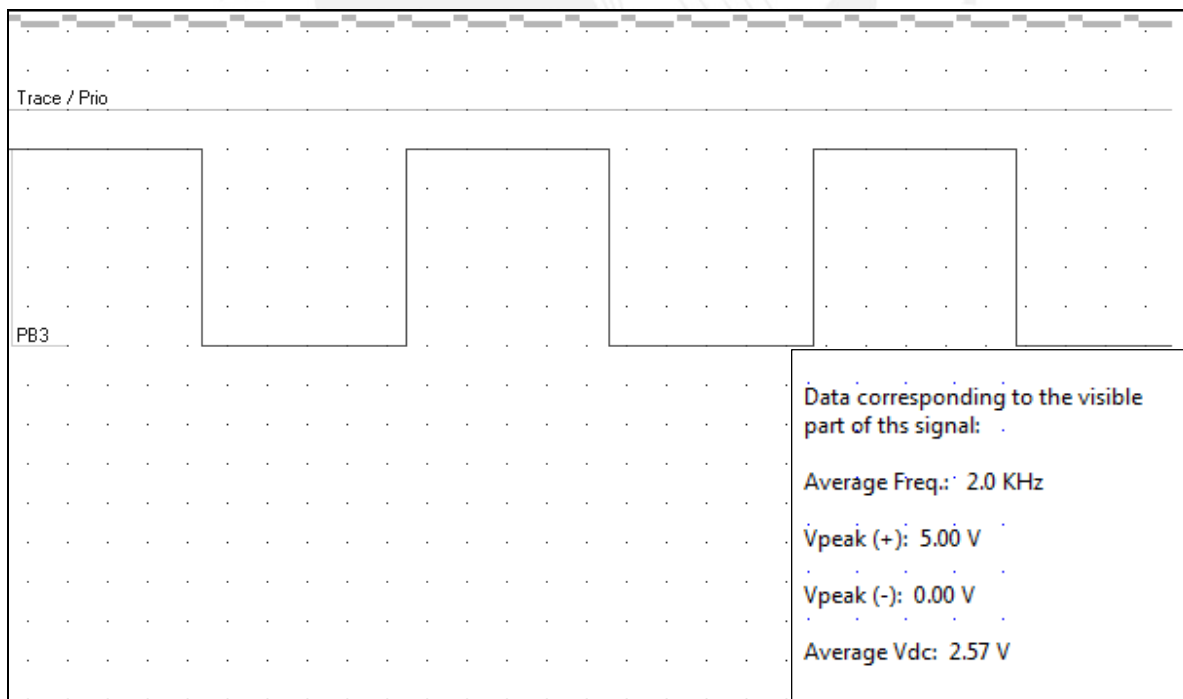
También para el *Timer2* existen registros para su configuración, el principal se muestra en la Figura 4.2.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	TCCR2
	FOC2	WGM20	COM21	COM20	WGM21	CS22	CS21	CS20	
Read/Write	W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 4.2: Registro de configuración del *Timer2*.

FUENTE: Manual del ATmega8 (ANEXO VIII).

Si bien el *Timer2* puede entregar mediante el pin PB3 una señal PWM al igual que el *Timer1*, es necesario denotar que el *Timer2* solo puede entregar una sola señal, además este *Timer* es de 8bits esto quiere decir tiene menor número de modos de operación que el *Timer1*; sin embargo en el presente diseño es suficiente trabajar con una PWM rápida de 8 bits.



Simulación 4.2: PWM por el pin PB3 del ATmega8 usando el software VMLAB.

La última señal de PWM, como se mencionó anteriormente, se obtendrá a través del Pin PB4 del microcontrolador. Usando interrupciones del *Timer1*.

Evento	Habilitador de interrupción	Generador de petición
Fin de cuenta en TCNT1	TOIE1	TOV1
Comparación exitosa en OC1A	OCIE1A	OCF1A

Tabla 4.3: Interrupciones del *Timer1*
FUENTE: Manual del ATmega8 (ANEXO VIII).

Luego de configurar los *Timers1*, *Timer2* y las interrupciones para la cuarta señal PWM, se realiza el diagrama esquemático en el PROTEUS.

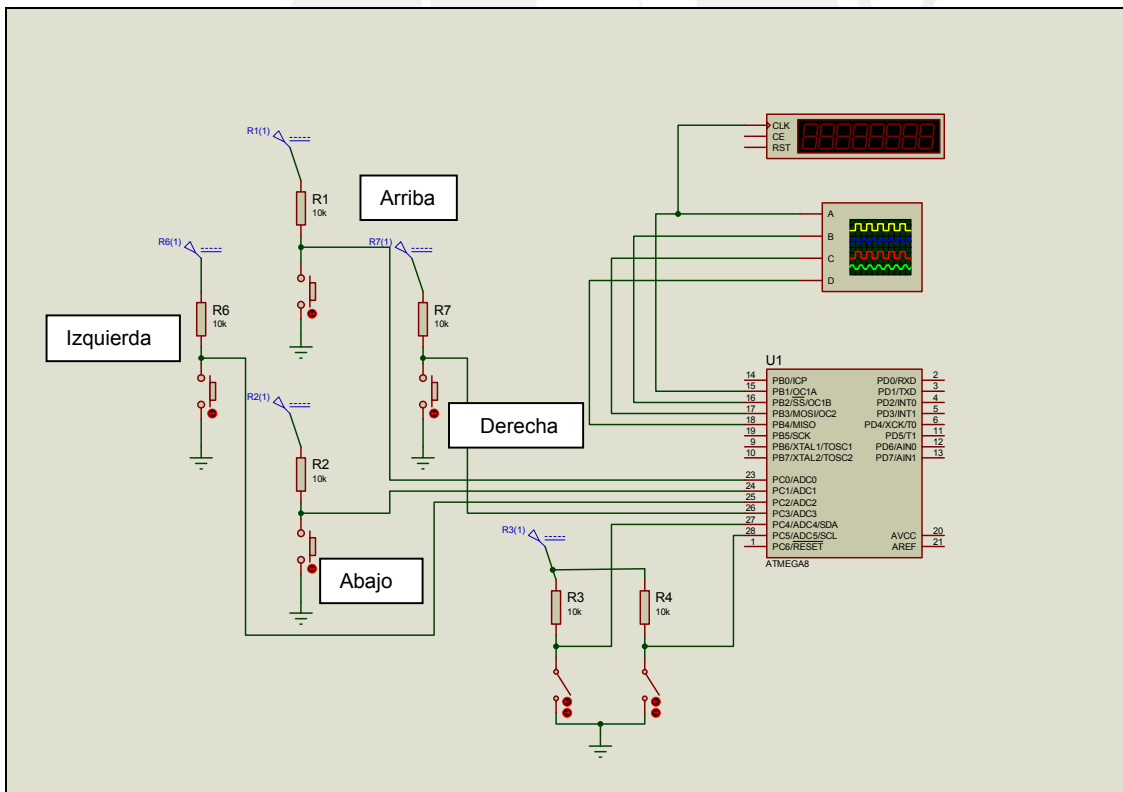


Figura 4.3 Diagrama esquemático del pulsador y el microcontrolador en el *software* PROTEUS.

Se simula la acción de la palanca de mando mediante los pulsadores y se obtiene las señales de PWM por el canal respectivo.

Para esta simulación se cambió los pulsadores por interruptores, para visualizar las señales de manera continua.

En la simulación se realizó la prueba accionando la palanca de mando, la cual es simulada por los interruptores, hacia arriba y hacia la derecha; como se muestra en la Figura 4.4 obtenida del *software* PROTEUS.

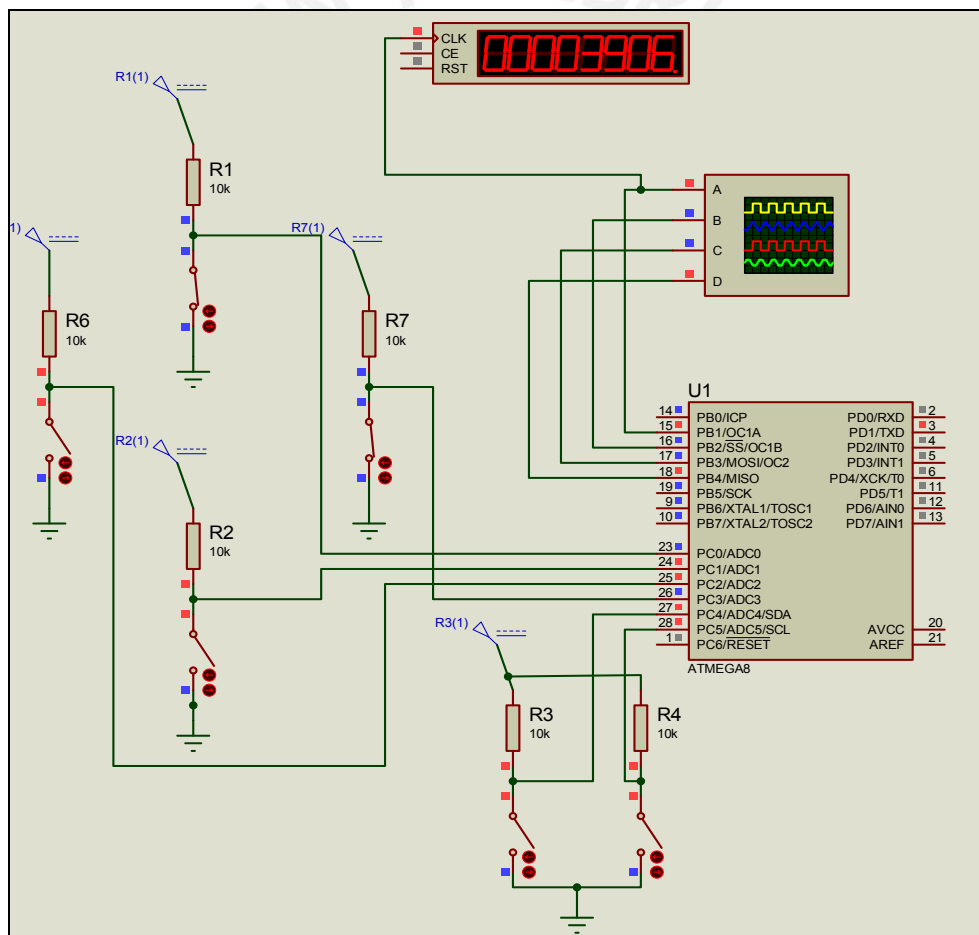
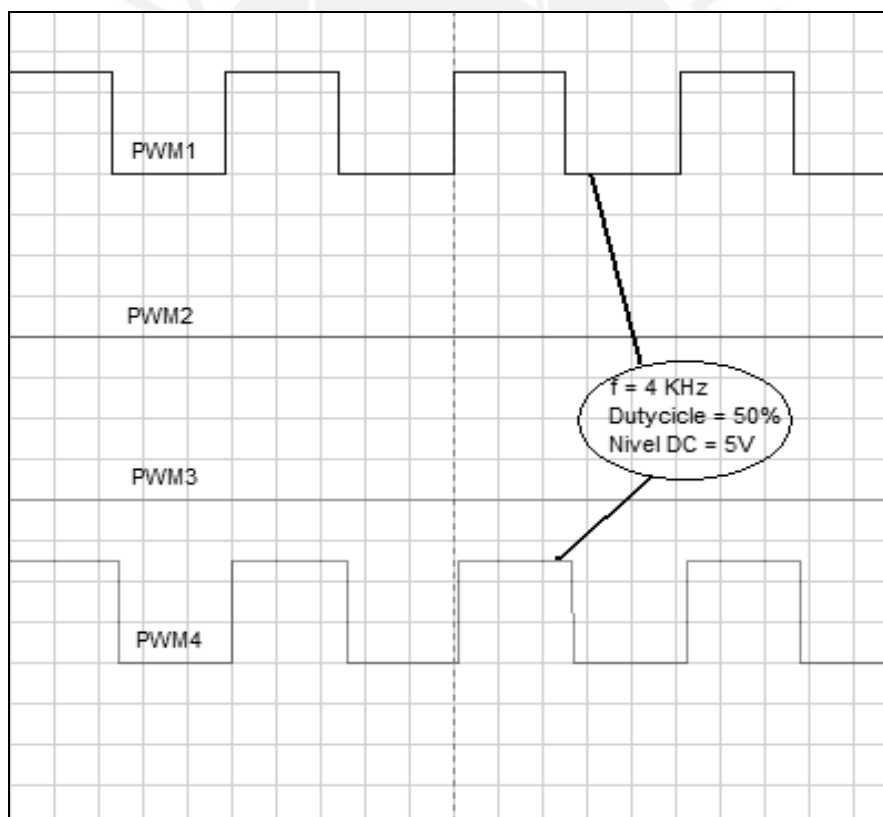


Figura 4.4 Simulación de la palanca de mando accionada hacia arriba y hacia la derecha, usando el *software* PROTEUS.

En la siguiente Simulación se muestra el osciloscopio digital del *software* PROTEUS, con las muestras tomadas de los pines de salida del ATmega8, correspondiente a la simulación antes mencionada.

En la simulación 4.3 se puede notar que el canal A y canal D están mostrando las señales de salida de los pines PB1 y PB4; los cuales corresponden a las posiciones de accionamiento hacia arriba y hacia la derecha.

A su vez se puede denotar que las señales de PWM tiene un ciclo de trabajo de 50% ya que ninguno de los interruptores conectados a los pines PC4 y PC5 ha sido activado o cerrado.



Simulación 4.3: PWM por los pines PB1 y PB2 del ATmega8 usando el *software* PROTEUS.

Cabe mencionar que la frecuencia de trabajo o la frecuencia de las señales de salida de los pines del microcontrolador ATmega8 es aproximadamente 4KHz, esta frecuencia siempre se mantendrá constante.

Esta frecuencia es suficiente y necesaria para el control de movimiento de los motores; no se escogió una mayor para no dañar los motores.

Luego de ver que las simulaciones de la palanca de mando concuerdan con la lógica del microcontrolador y por ende ambos se relacionan de manera adecuada; es necesario ver en tiempo real la posición de los motores que están siendo movidos por estas señales de PWM.

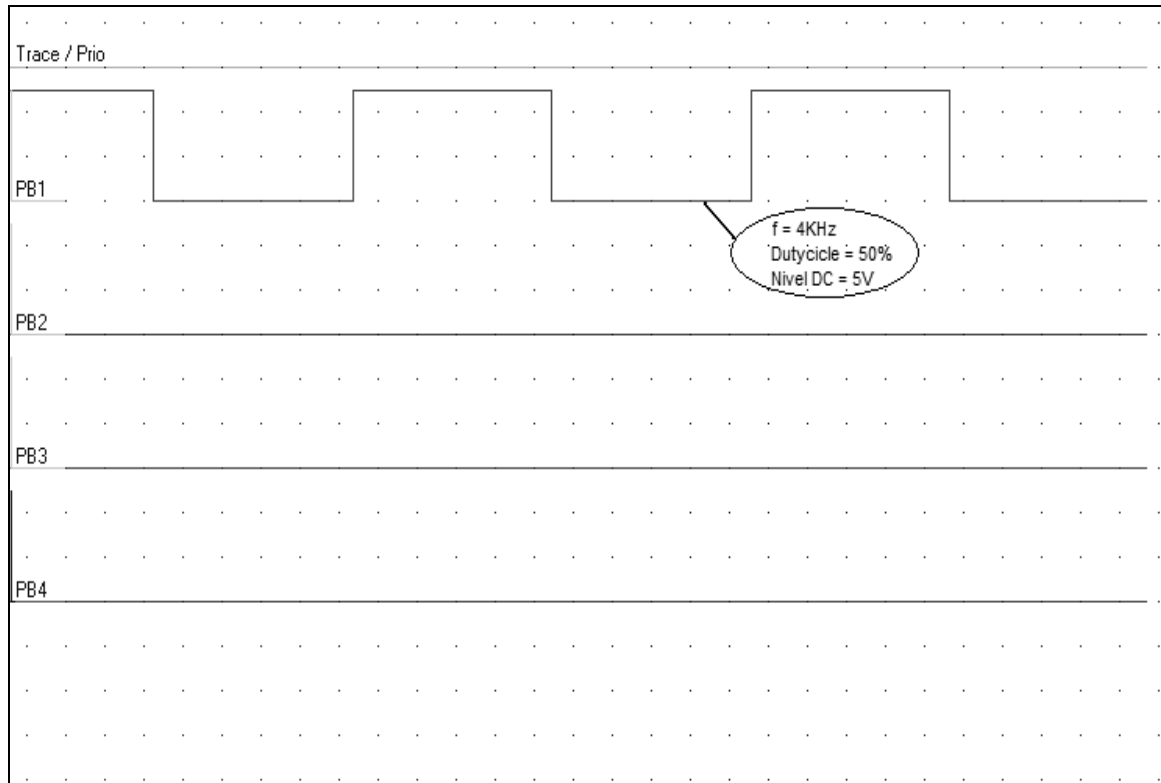
Los motores contarán con un *encoder* diferencial, el cual dará pulsos cuadrados cuando se mueva el motor, que servirán para obtener la posición del mismo.

Como se mencionó en el capítulo anterior este *encoder* proporciona 720 pulsos por revolución del motor con la caja reductora, es decir, dos pulsos del *encoder* significará 1 grado sexagesimal o cuatro cambios de nivel; tanto para la elevación como para el giro de la cámara *Web* que simulará al cañón antiaéreo a escala.

Mediante el *software* VMLAB se simulará los pulsos del *encoder* cuando se está moviendo el motor.

Simulación Elevación-Depresión

En la simulación 4.4 se nota que se presionó la palanca de mando hacia arriba, lo cual se puede simular en el teclado matricial del VMLAB presionando el número 1; para simular el *encoder* se conecta un interruptor en el INT0.



Simulación 4.4: Señal PWM del pin PB1 activo mando hacia arriba, usando el *software* PROTEUS.

El interruptor, que en el teclado matricial del VMLAB es el “número 7”, cambia de nivel al cerrarlo y abrirlo; este cambio de nivel simula los pulsos que proporciona el *encoder* al moverse el motor de elevación.

En la simulación se ha presionado 12 veces el interruptor “número 7”, como se sabe cada 4 cambios de nivel, es decir, de cada cuatro acciones del interruptor se va a contar un grado sexagesimal y mostrar en la pantalla, como lo demuestra la Figura 4.5.

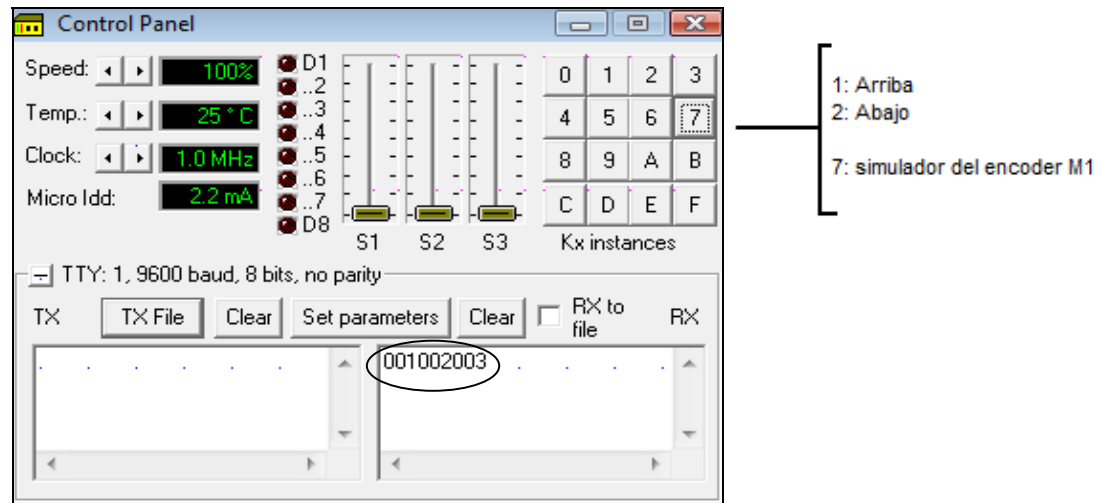
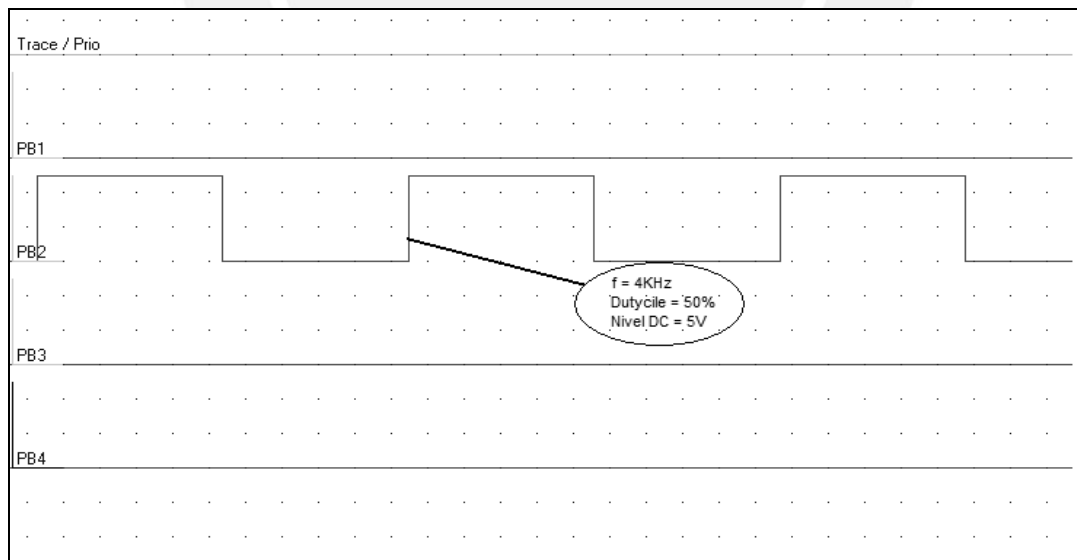


Figura 4.5: Panel de control del VMLAB, indica también la posición.

Por otro lado, si luego de ir 3° hacia arriba, se decide ir hacia abajo, entonces la señal PWM1 se vuelve a nivel bajo y el microcontrolador comienza a transmitir la señal PWM2, y se realiza el mismo conteo con el interruptor, el cual en el teclado matricial es el “número 7”.



Simulación 4.5: Señal PWM del pin PB2 activo mando hacia abajo.

Luego de haber accionado la señal PWM2, se presiona el interruptor 8 veces, las primeras 4 para que baje un grado y la segunda para que baje otro más; tal y como se muestra en la Figura 4.6.

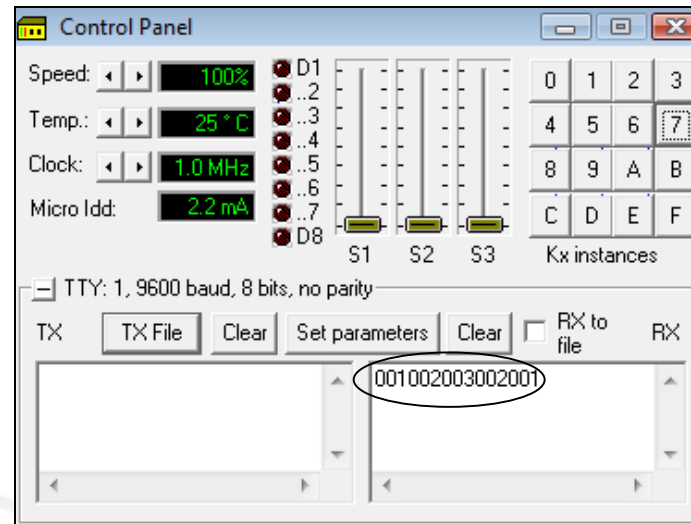
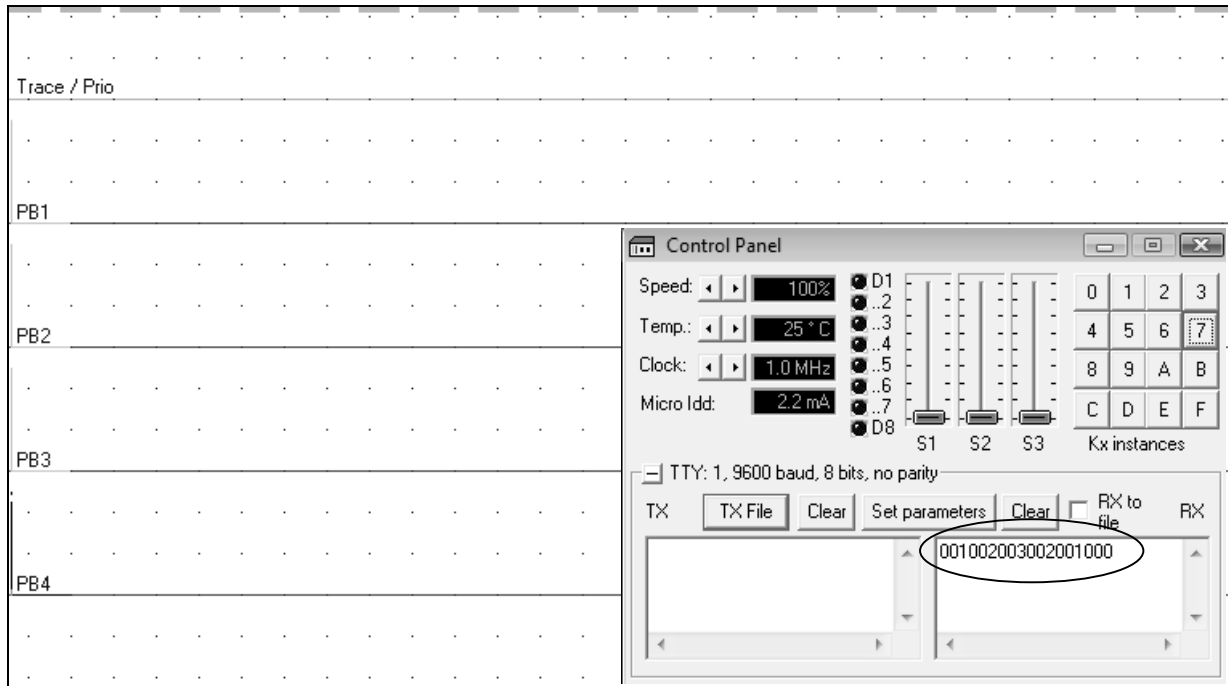


Figura 4.6: Panel de control del VMLAB, indica también la posición.

Por otro lado si se sigue accionando, la palanca de mando, hacia abajo, luego que llego al máximo, es decir a 0° entonces ya no debe mandar la señal PWM2, para que no siga bajando el motor; esto se presenta en la Simulación 4.6. Para mayor información del código y simulaciones se puede ver la programación en Assembler del microcontrolador que esta anexada a la presente tesis.



Simulación 4.6: Señal PWM del pin PB2 activo mando hacia abajo, usando el *software* PROTEUS.

Lo mismo ocurre para la posición de giro horario y antihorario. Además, como se mencionó antes, se puede pulsar más un botón a las vez, es decir, las combinaciones que se puedan realizar con la palanca de mando, la cual combina alguno de los pulsadores, como por ejemplo Arriba y Derecha.

4.1.1.2 Velocidad de los motores

Para el cambio de velocidad se realizó en función de la variación del ciclo de trabajo de las señales de PWM, en los pines de salida del microcontrolador ATmega8.

El interruptor1 cambia las señales de salida por PWM de 25% de ciclo de trabajo; mientras que el interruptor2 cambia las señales de salida por PWM de 75% de ciclo de trabajo.

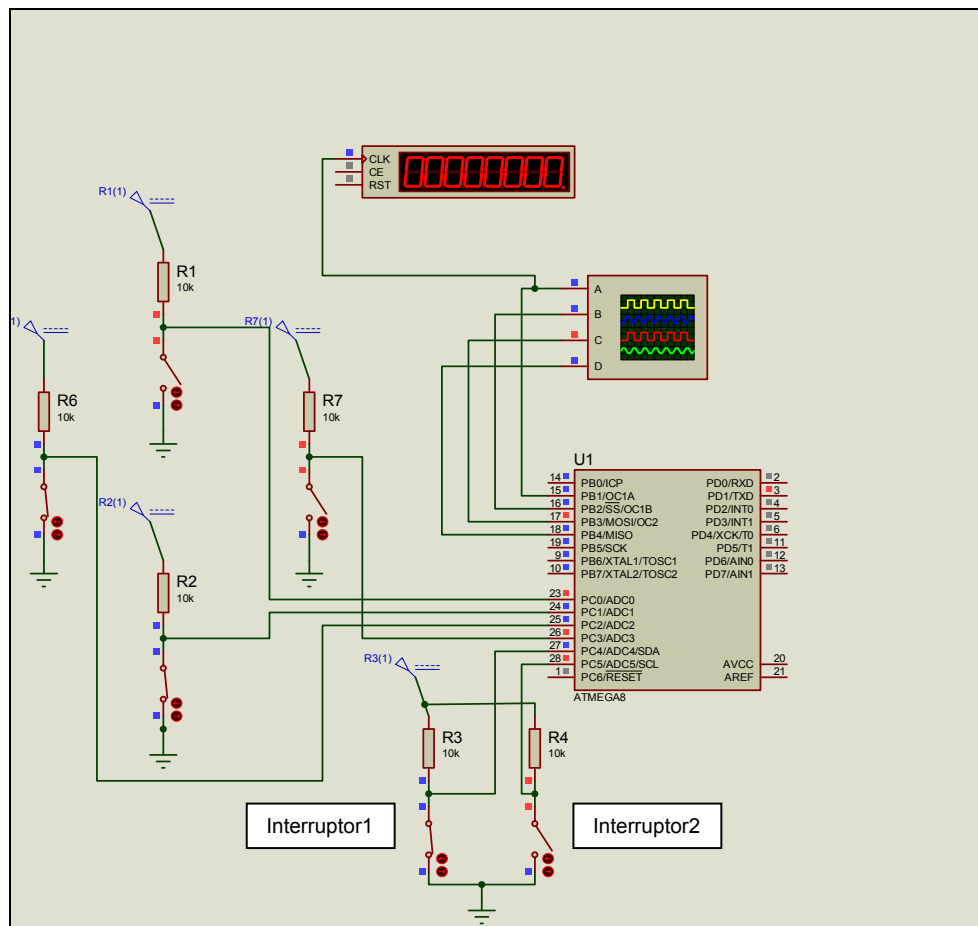
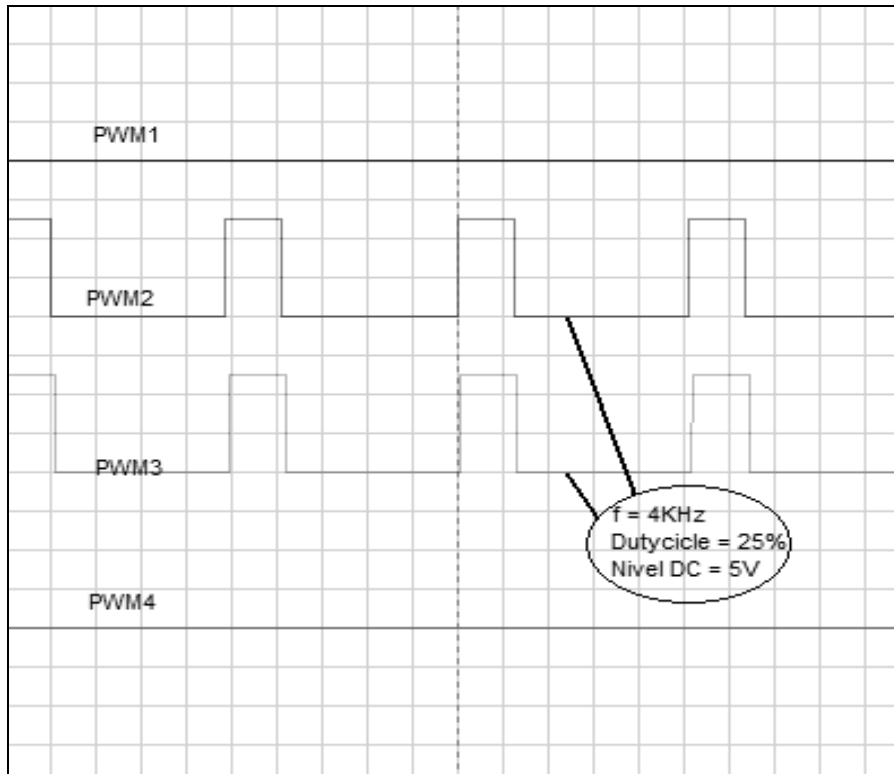


Figura 4.7: Simulación de la palanca de mando accionada hacia abajo y hacia la izquierda; e interruptor1 cerrado.

Como se puede ver en la simulación 4.7, el canal 2 y el canal 3 muestra las señales de salida de los pines PB2 y PB3, respectivamente. Además se puede notar que el ciclo de trabajo de las señales ha disminuido a 25% debido a que el interruptor1 está cerrado.

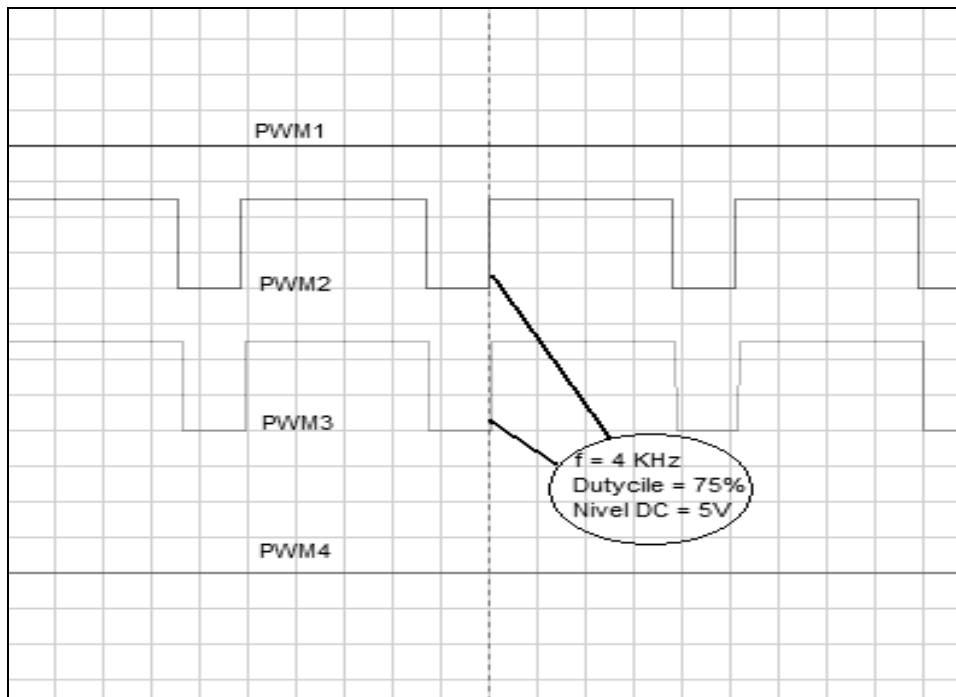
En resumen, la palanca de mando está presionada hacia abajo y hacia la izquierda y que los motores han disminuido su velocidad.



Simulación 4.7: Señales a 25% de ciclo de trabajo, obtenidas usando el *software* PROTEUS.

Como se nota en la simulación 4.8, el canal 2 y el canal 3 muestra las señales de salida de los pines PB2 y PB3, respectivamente. Además se puede notar que el ciclo de trabajo de las señales ha aumentado a 75% debido a que el interruptor2 se cierra.

En resumen, la palanca de mando está presionada hacia abajo y hacia la izquierda y que los motores han aumentado su velocidad.



Simulación 4.8: Señales a 75% de ciclo de trabajo, obtenidas usando el *software* PROTEUS.

4.2 Tarjetas

4.2.1 Micocontrolador

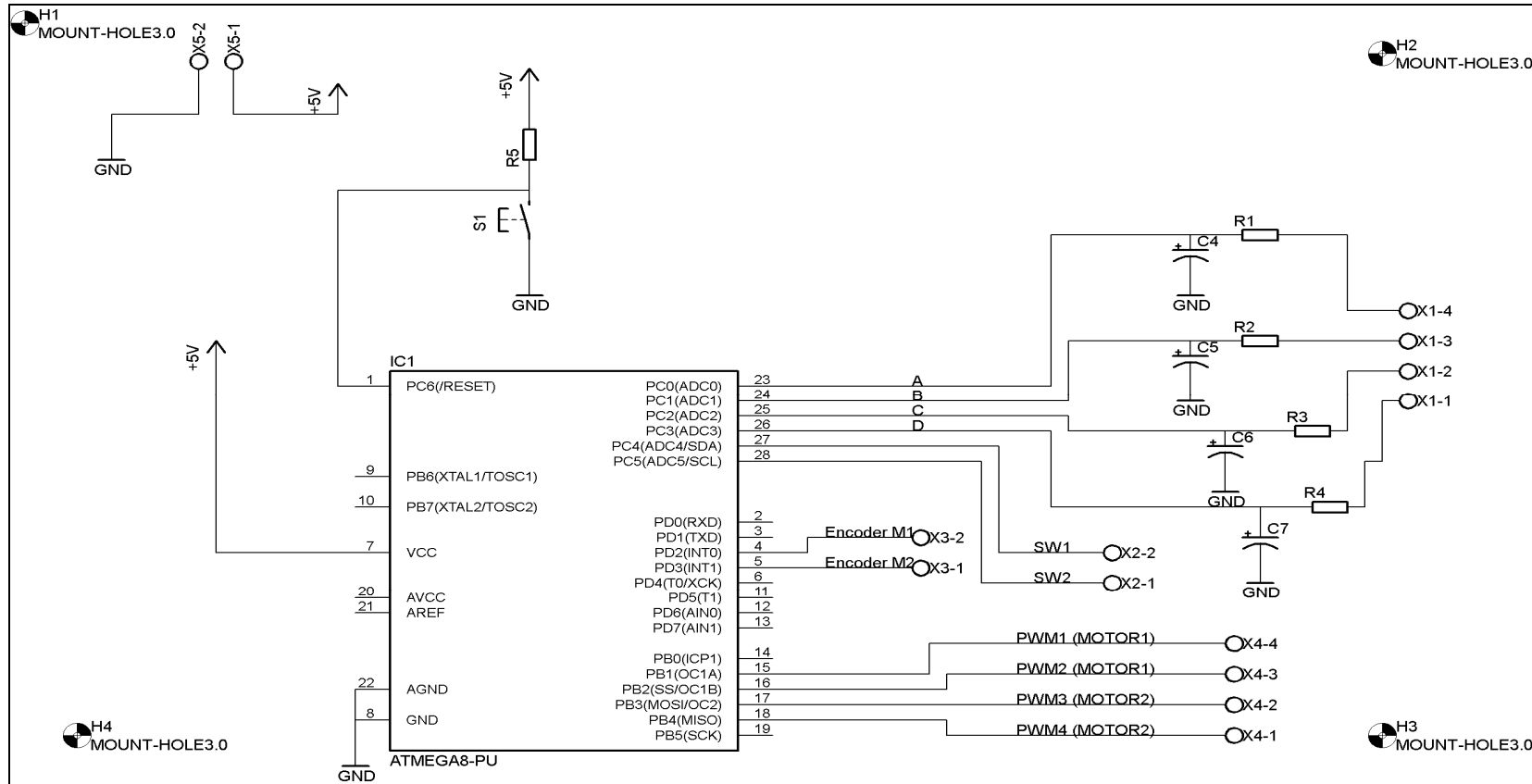


Figura 4.8: Diagrama esquemático de la tarjeta del microcontrolador en el software EAGLE5.3.

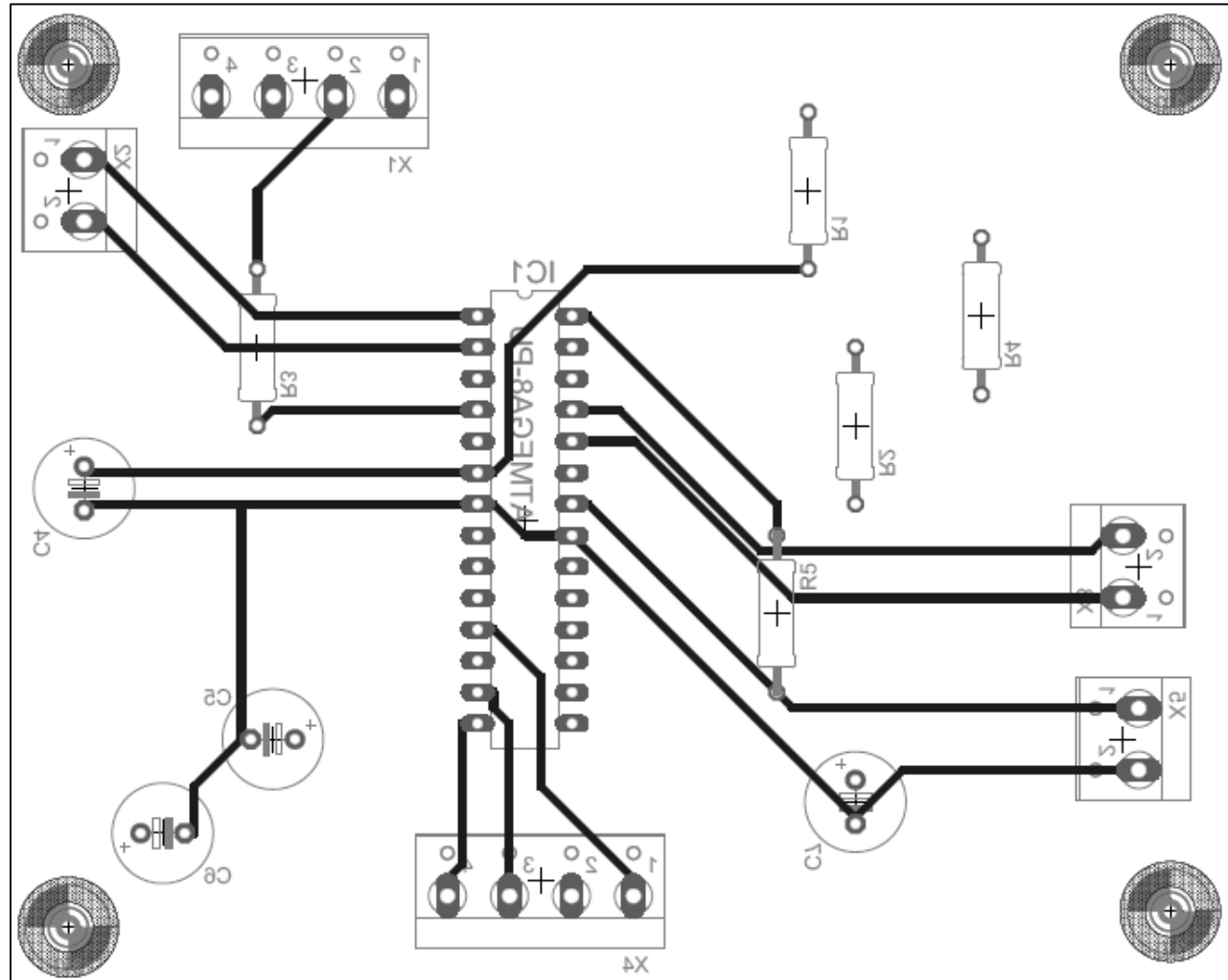


Figura 4.9: Diagrama de pistas, capa superior, *software EAGLE5.3*.

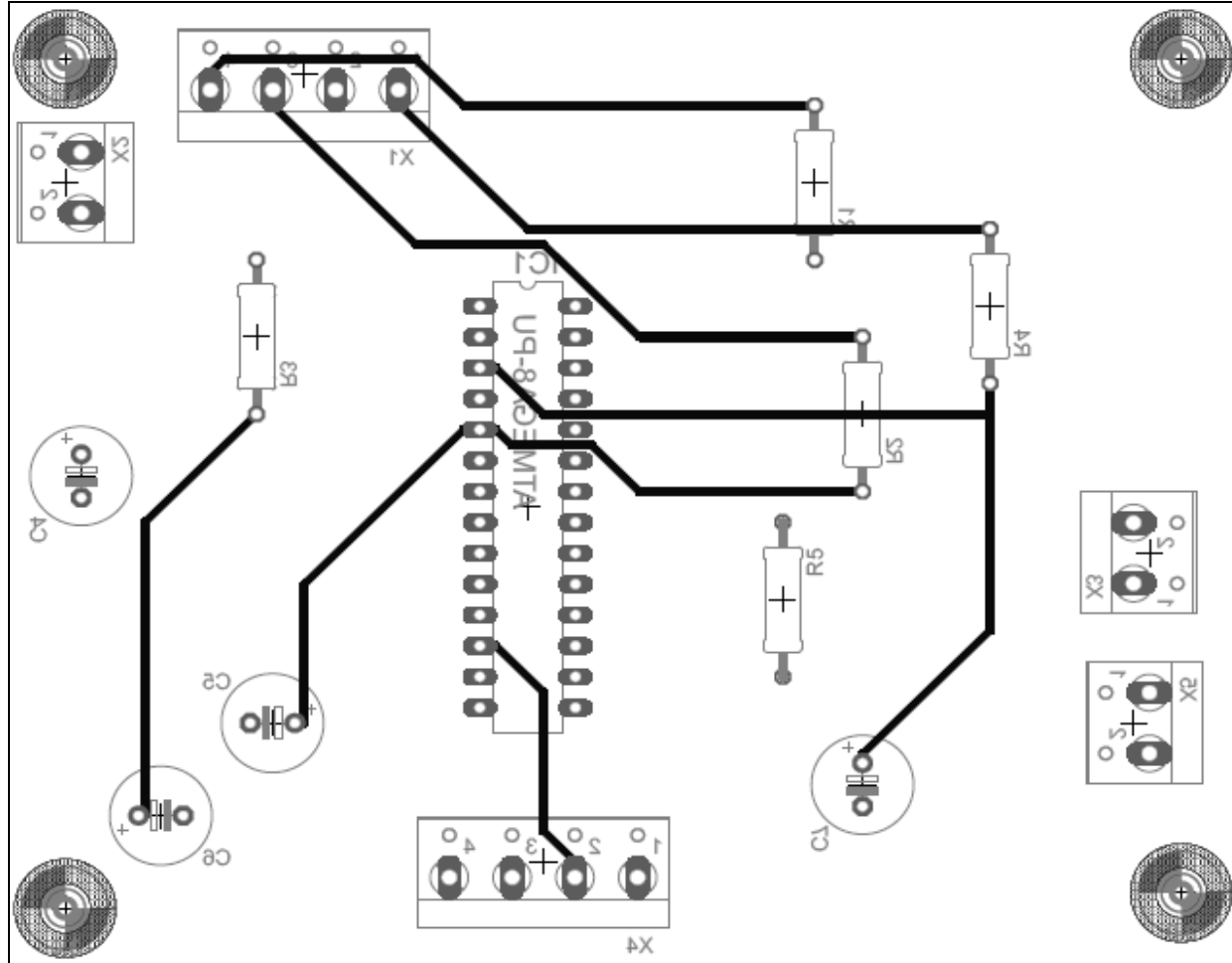


Figura 4.10: Diagrama de pistas, capa inferior, *software EAGLE5.3*.

4.2.2 Tarjetas del Puente H

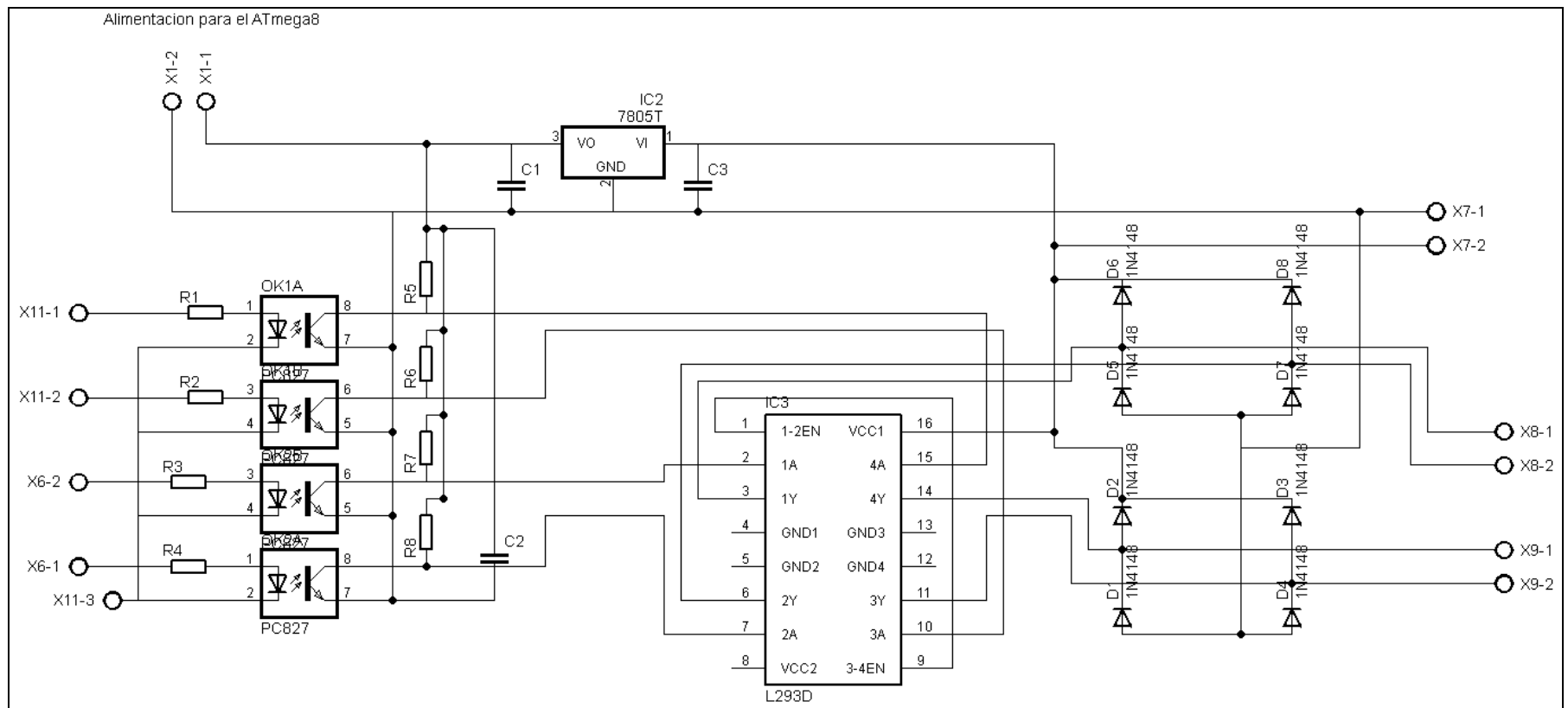


Figura 4.8: Diagrama esquemático de la tarjeta del Puente H en el software EAGLE5.3.

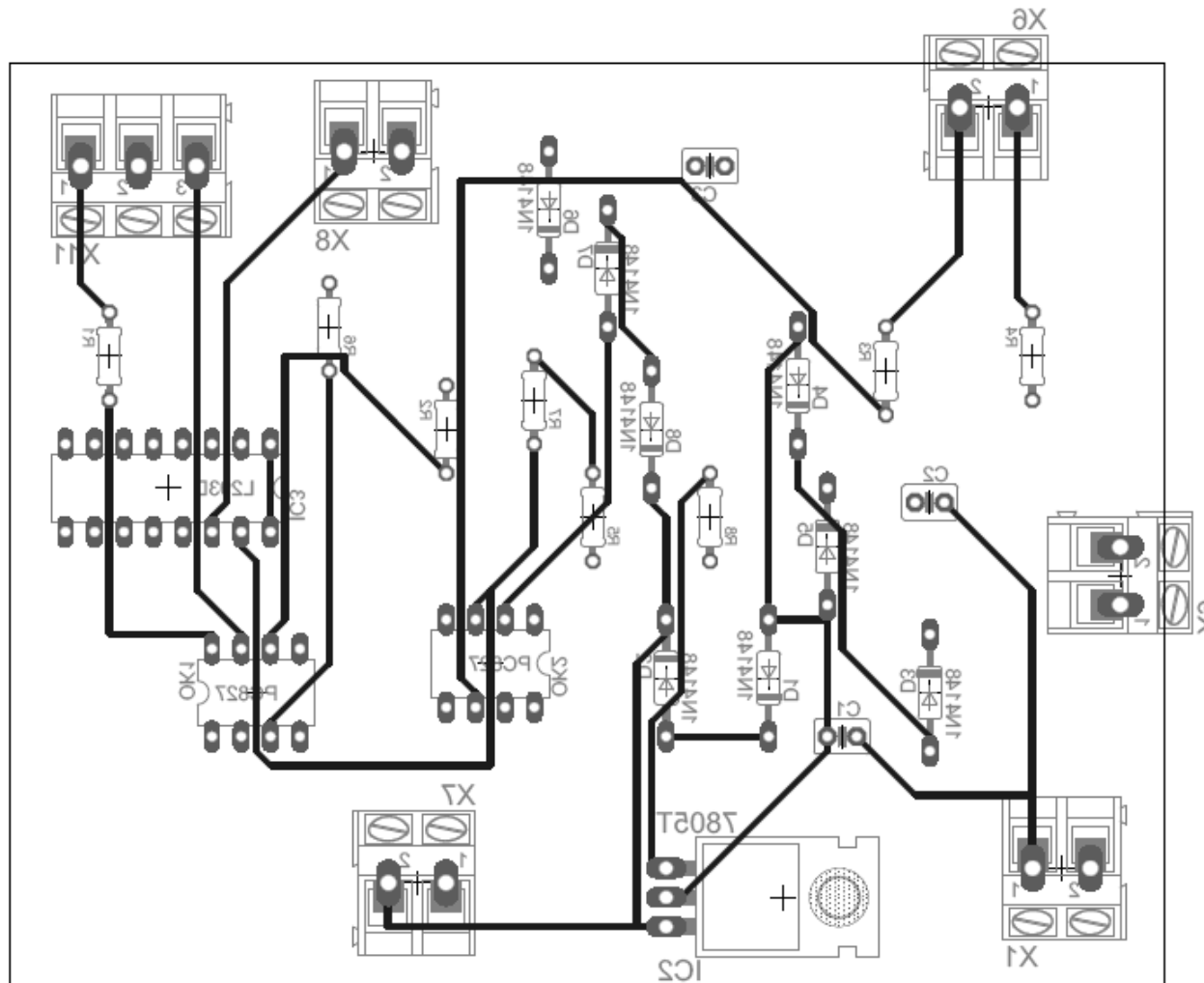


Figura 4.10: Diagrama de pistas Puente H, capa superior, software EAGLE5.3.

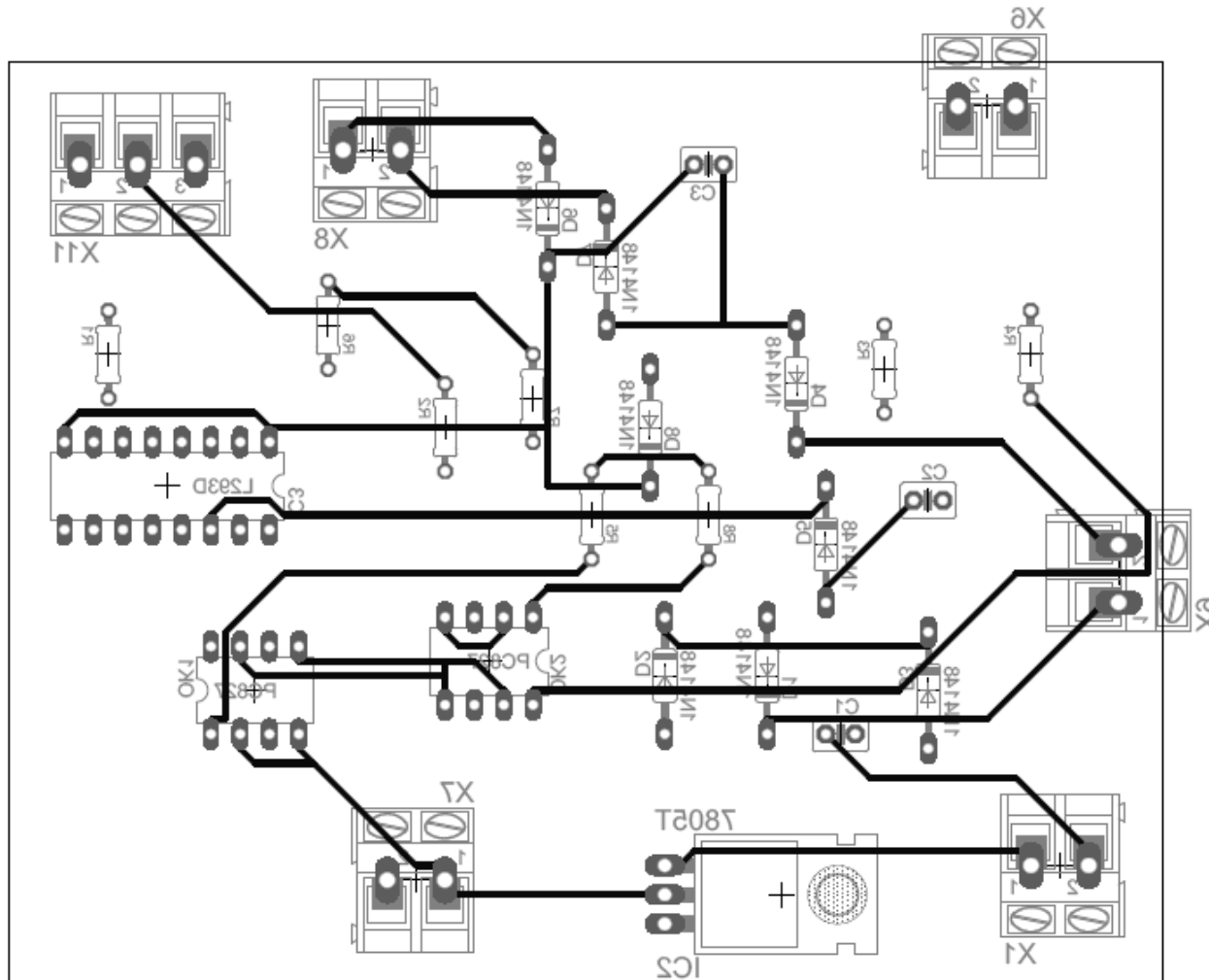


Figura 4.10: Diagrama de pistas Puente H, capa inferior, *software EAGLE5.3*.

4.3 Presupuesto

Para la implementación del presente diseño se ha elaborado un presupuesto estimado, que evidencia la utilidad de la tesis, ya que a un costo aproximado, es bajo comparado con los costos que son necesarios para implementar simuladores electrónicos o importar simuladores que provean el mismo o menores beneficios que el presente trabajo.

Además, cabe indicar que la mayor parte de los componentes que se usaría en la implementación del diseño se pueden encontrar en el mercado local. Sin embargo al no encontrar en Perú representantes de empresas comercializadoras de componentes como los motores y *encoders*, estos se tendrían que importar.

El presupuesto se muestra en la Tablas 4.4 y en la Tabla 4.5 que se muestra a continuación:

Tabla 4.4: Lista de costos para los componentes del diseño.

Elemento	Modelo / Marca / Otros	**Precio S/.	Empresa	Contacto
Camara Web	MIC W312 Micronics Avanti e instalador.	50.00	CORPORACION INFOTEC SRL	Tel: 623-1113 11 Nextel: 818*4636
Motores / Encoders	DME34SA / Óptico 02 und.	200.00	Japan Servo	www.nidec-servo.com/en/
Caja reductora	GEARBOX 36G	80.00	Japan Servo	www.nidec-servo.com/en/
Chasis	Control / tarjetas	50.00		
Chasis	Cámara Web	50.00		
Micro interruptores	03 und.	6.00	P&S	Tel: 427-0271
Cables	Conexión entre los chasis y tarjetas.	5.00	P&S	Tel: 427-0271

Mircocontrolador	ATmega8	12.00	Importaciones Singapur	Tel: 426-1556
Puente H	L293	9.00	P&S	Tel: 427-0271
Batería	OPalux de 12 v	36.50	P&S	Tel: 427-0271
Regulador de voltaje	KA7805 <i>FAIRCHILD</i>	4.50	P&S	Tel: 427-0271
Optoacopladores	PC827 <i>Sharp /2 und.</i>	7.00	P&S	Tel: 427-0271
Condensadores, Resistencias, cables.	Ceramicos, de ¼ W, para los chasis	20.00	P&S	Tel: 427-0271
Baquelita	Para los circuitos impresos.	80.00	José Bazan	Tel/Fax: 257-2965 jobareci@hotmail.com

Tabla 4.5: Lista de costos extras para el diseño.

TEMA	Observación	Costos en S/.
Trabajo de ingeniería para el diseño.	Se estima el trabajo de 400 horas por S/. 20.00 por hora.	8,000.00
Técnico Electrónica.	Para la implementación del diseño (Duración un mes).	1,500.00
Técnico Mecánico.	Para la implementación del diseño (Duración un mes).	1,500.00

Como resultado de los costos de los componentes y los extras, se obtiene un total de: **S/.10,610.00**

CONCLUSIONES

-El microcontrolador pudo ser utilizado, en el presente diseño, como elemento principal de control para los movimientos de los motores, los cuales a su vez mueven a la cámara *Web*, tal como se corrobora con las simulaciones mostradas.

-Los *encoders* cumplieron con el trabajo de obtener la posición de la cámara *Web*, por lo que serán uno de los elementos principales para obtener la posición y precisión en un cañón a escala real.

-El presente diseño sirve como patrón para el control de los movimientos de los cañones antiaéreos terrestres que la Fuerza Aérea del Perú decida adquirir, realizando las consideraciones necesarias. Con esto la Fuerza Aérea del Perú podrá contar con armas que estén a la vanguardia con la tecnología actual, solidificando así la defensa de nuestra nación.

RECOMENDACIONES

Se recomienda:

1. Para que el presente diseño se pueda implementar a escala real, se deben tener en cuenta algunos cambios necesarios para poder manipular el cañón antiaéreo:

-Los motores tienen que capaces de poder mover, tanto vertical como horizontalmente, al cañón, por lo que su potencia nominal aumentará considerablemente.

-Para dicho motores es necesario contar con una etapa de potencia, puente H, que pueda soportar corrientes elevadas, para los movimientos de los motores; para esta etapa se puede utilizar Mosfets de potencia como por ejemplo:

CODIGO	CANAL	CORRIENTE I_D (A)	TENSION V_{DS} (V)	POTENCIA P_d (W)	RESISTENCIA $R_{DS(on)}$ (ohms)	ENCAPSULADO
IRF3205	N	110	55	200	0.008	TO-220
IRF1405	N	169	55	330	0.005	TO-220

Tabla: Características de los Mosfets IRF3205 y IRF1405

FUENTE: Hojas de datos del IRF3205 y IRF1405

2. Poner *Sockets* a los integrados y tarjetas electrónicas.
3. Los repuestos de los integrados deben ser de la misma marca y características, empleadas en el presente proyecto. Además, el cambio de dichos repuestos tiene que ser realizado por personal técnico calificado.

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] BISHOP, Chirs
2002 The Encyclopedia of Weapons of World War II: The Comprehensive Guide to Over 1,500 Weapons Systems, Including Tanks, Small Arms, Warplanes, Artillery, Ships and Submarines. Ilustrada. Estados Unidos: Sterling Publishing Company. Consulta: 10 de septiembre de 2008.
<<http://books.google.com.pe/books?id=JZ9cSQNeK9cC&pg=PA152&dq=ffla+8.8> >
- [2] BOYLESTAND, Nashelsky y Louis Nashelsky
2003 Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. Octava edición. México: Pearson Educación.
- [3] CARRANZA NORIEGA, Raymundo
2001 Automatización: tópicos de instrumentación y control. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Dirección Académica de Investigación.
- [4] CHAPMAN, Stephen J.
2005 *Máquinas eléctricas*. Cuarta edición. México D. F.: McGraw-Hill Interamericana
- [5] DAVIS S., Nyce
2004 *Linear position sensors: theory and application*. Ilustrada. United state: Wiley-IEEE.
- [6] Fuerza Aérea del Perú
2008 Fuerza Aérea del Perú.
<<http://www.fap.mil.pe/>>
- [7] KACHROO, Pushkin y Ferat Sahin
2007 *Practical and experimental robotics*. Ilustrada. Nueva York: CRC Press. Consulta: 10 de junio de 2009.
<<http://books.google.com.pe/books?id=vw7nL7PRj1oC&pg=PA198&dq=SERVOMOTOR>>

- [8]
2001 LOVINE, Jhon
Robots, androids, and animatrons: 12 incredible projects you can build.
Segunda edición Ilustrada. United State: McGraw-Hill Professional.
- [9]
2008 CUCHO MENDOZA, Zenón Andrés
Manual de laboratorio de sistemas digitales. Material de enseñanza. Lima:
Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e
Ingeniería. Sección de Electricidad y Electrónica.
- [10]
2007 MOHAN, Ned; Tore M. Undeland y Robbins, William P. Robbins
Power electronics: converters, applications, and design. Cuarta Edición.
Nueva York: Wiley-India.
- [11]
2008 NIDEC SERVO CORPORATION
Compact DC Motors. Material de enseñanza. Tokio: Kanda Mitoshiro-cho.
Consulta: 15 de septiembre de 2008.
<http://catalog.nidec-Servo.com/digital/english/general/pdf/b_dme_ftrs.pdf>
- [12]
2000 SIGLE ELECTRONICA S.A.
Encoders incrementales. Material de enseñanza. Italia: ELTRA. Consulta:
27 de Octubre de 2008.
<http://www.eltra.it/web/cats/13>
- [13]
2000 SIGLE ELECTRONICA S.A.
Encoders Absolutos. Material de enseñanza. Italia: ELTRA. Consulta: 27
de Octubre de 2008.
<http://www.eltra.it/web/cats/34>
- [14]
2006 SPENCER CHURCHILL, Winston Leonard
La Segunda Guerra Mundial / Winston S. Churchill. Segunda edición.
Madrid: La Esfera de los Libros.
- [15]
1998 VALENTINE, Richard
Motor Control Electronics Handbook. Ilustrada. Estados Unidos. McGraw-
Hill Professional.

[16]
2007

VALDÉS PÉREZ, Fernando E. y Ramon PALLÁS ARENY
Microcontroladores: Fundamentos y aplicaciones con Pic. España:
Marcombo S.A.



ANEXOS:

- I. Hojas técnicas del L293 de TEXAS INSTRUMENTS.
- II. Hojas técnicas del L298 de STMICROELECTRONICS.
- III. Hojas técnicas del motor DME34 de SERVO JAPAN.
- IV. Sensores de Revolución o *encoders* de SERVO JAPAN.
- V. Hojas técnicas del PC817 de SHARP.
- VI. Hojas técnicas del KA7805 de FAIRCHILD.
- VII. Cajas Reductoras de SERVO JAPAN.
- VIII. Manual del microcontrolador ATmega8 de ATMEL.
- IX. Hojas de datos del IRF1405 de International Rectifier.
- X. Hojas de datos del IRF3205 de International Rectifier.
- XI. Programa de control del cañón en código Assembler, con extensión .HEX.
- XII. Programa de control del cañón en código Assembler, con extensión .PRJ.