



**Universidad Michoacana de
San Nicolás de Hidalgo**



Facultad de Ingeniería Eléctrica

Control De Espejos Retrovisores

TESIS

Para obtener el título profesional de:
INGENIERO ELECTRICISTA

Presenta:

PABLO SANTOS JOYEÑO

Asesor de Tesis:

DR. GILBERTO GONZÁLEZ AVALOS

Morelia, Mich. Mayo 2021

Agradecimientos

Hacer realidad un sueño se requiere tener las ganas, ser valiente, perseverante, existirán obstáculos que te harán a no seguir luchando, pero ten fe y todo es posible. Tú decides si quieres hacer realidad tu sueño y de cambiar una mejor versión de sí mismo.

-Pablo Santos Joyeño

A Dios porque siempre ha estado conmigo en toda mi trayectoria, y en darme la oportunidad de lograr una meta más.

A mis padres María De la Luz Joyeño Ahuexoteco y Aquileo Santos Carrizal. Por la mejor educación que me inculcaron, por su gran esfuerzo incondicional, en todo el tiempo de mi vida y en el transcurso de mi estudio, conseguían la economía en préstamo para que yo tuviera para mis pasajes, alimentos y estudio.

A mis hermanos y mi hermana, Bernardo Santos Joyeño, Javier Santos Joyeño, Delfino Santos Joyeño, Nazario Santos Joyeño, Jesús Santos Joyeño y Luz María Santos Joyeño, por su confianza y el esfuerzo que realizaron para poder brindarme su apoyo en todo el tiempo, siempre estaban ahí cuando los necesitaba, nunca escuche un no.

A mis maestros que se tomaron su tiempo en brindarme una educación, en los años de mi formación, donde quieran que se encuentren y otros hasta el cielo.

A las instituciones educativas que me brindaron la mejor educación.

A mi amigo Rodrigo Hernández Ramírez y su familia, por el apoyo, consejos importantes que me inculcaba, en guiarme en un laberinto, que cambiaron mi forma de pensar y en mi persona.

A mis tíos Esther Santos Ahuexoteco y Gustavo Jaimes Castrejón por el apoyo incondicional, de ustedes aprendí ser compartido con los demás con lo que tengamos, me brindaron hospedaje, vivienda, alimentos y un valor muy importante la confianza.

A mi familia, amigos que me brindaron su apoyo, moral y económico, hospedaje, comida y asesoramientos en el transcurso de mis estudios.

A Elizabeth Pérez Leos por el apoyo incondicional que me brindo en los últimos años de mi carrera hasta en la titulación y lo mucho que he aprendido de su enseñanza que me ha servido en mi vida personal, laboral y profesional, “apoya sin esperar nada a cambio y aprender a perdonar”. a pesar de lo poco que tenía, se esforzaba en ayudarme.

A mi primo Ismael Hernández por el apoyo en mi llegada a la casa del estudiante y en mi estancia en Morelia Michoacán.

A la casa del estudiante Ernesto Che Guevara por todo el apoyo que tuve en el transcurso de mi carrera, tiene una mala referencia las casas por casusa de malos estudiantes, pero tienen lado bueno, de mi parte lo necesité y lograr esta meta.

A mi amigo Jaime Colin Barajas por el trabajo que me brindo, por el alimento que se quitaba de su taquería para que yo tuviera de comer y no gastara. Es una persona buena gente.

A mi asesor Dr. Gilberto González Avalos por su tiempo y apoyo que me brindo durante el asesoramiento de mi tesis.

Al maestro Aldo Jesús Parente Rodríguez por las asesorías que me brindo en la implementación de mi control de mi tesis.

A mis maestros sinodales por su tiempo en revisar mi trabajo.

Gracias a todos.

Dedicatoria

Este estudio, trabajo y esfuerzo va dedicado con todo mi corazón a mis padres Maria. De la Luz Joyeño Ahuexoteco y Aquileo Santos Carrizal. Este logro es de ellos ya que nunca tuvieron la oportunidad de estudiar como la que me brindaron a mí, siempre se esforzaron para que tuviéramos lo mejor, por darme la mejor educación, mi Mamá que nunca nos dejó ir a la escuela sin desayunar, por ir a dejar el almuerzo en mi etapa de primaria y secundaria. Mi Papá por enseñarme el valor del trabajo, siempre esforzarse para dar buenos frutos.

Este logro se lo dedico con todo mi cariño a mis hermanos y hermana que se han esforzado en su trabajo para poder brindarme el apoyo, ya que ustedes no tuvieron la oportunidad como lo tuve yo para poder seguir con los estudios, gracias a que nunca me abandonaron. Los años que se encontraron en los Estados Unidos valieron la pena. a Bernardo Santos Joyeño por los aprendizajes que me brindo en la niñez, la persona que me enseñó a leer, con el libro juguemos a leer, lo recuerdas, la paciencia que tuvo, el que forraba mis libros, sacrificios que realizo para que nosotros siempre tuviéramos, lo necesario en la escuela. Recuerdas cuando te encontrabas en la frontera y pedias cruzar a estados unidos para apoyarme en terminar mis estudios lo tengo presente me lo comento Filiberto Mendiola.

A sus parejas que apoyaron a mis hermanos, a veces en situaciones de dificultad económico para tener mis gastos universitarios.

A mis sobrinos para poder darles un buen ejemplo de que la educación es importante que todos podemos lograr metas y no nos hace diferentes si venimos de un pueblo todos tenemos las capacidades como cualquier persona. Ser siempre humilde para aprender y en hacer las cosas

Con todo mi cariño a Elizabeth Pérez Leos por el apoyo incondicional que me brindo, para que yo lograra esta culminación en mi licenciatura, y el aprendizaje que me brindo, tus sacrificios valieron la pena.

Contenido

	Página
Agradecimientos-----	II
Dedicatoria-----	V
Contenido-----	VII
Resumen-----	X
Palabras claves-----	X
Abstrac-----	XI
Keywords-----	XI
Lista de figuras-----	XII
Lista de tablas-----	XIV
Glosario de términos-----	XV
1. Capítulo 1 Introducción-----	1
1.1 La importancia del control-----	1
1.2 Objetivo-----	1
1.3 Justificación-----	2
1.4 Metodología-----	3
1.5 Contenido de la tesis-----	3
2. Capítulo 2 Antecedentes de sistemas de control-----	4
2.1 Definición de un sistema de control-----	4
2.1.1 Variables del sistema de control-----	5
2.2 Ventajas de los sistemas de control-----	7
2.3 Principios de los sistemas de control-----	10
2.3.1 Control de nivel de líquido-----	10
2.3.2 Control de presión de vapor temperatura-----	13
2.3.3 Control de velocidad-----	14
2.3.4 Estabilidad-----	16
2.3.5 Periodo preclásico-----	19
2.3.6 Periodo clásico-----	21
2.3.7 Periodo moderno-----	24
2.4 Clasificación de los sistemas de control-----	25
2.4.1 Sistemas en lazo abierto-----	25
2.4.2 Sistemas en lazo cerrado-----	26

2.5	Comparación entre los sistemas de lazo abierto y lazo cerrado	27
3.	Capítulo 3 Análisis de mecanismos actuadores	29
3.1.	Definición de servomotor	29
3.2.	Partes de un servomotor	29
3.3.	Utilización del servomotor	31
3.4.	Funcionamiento	32
3.5.	Ventajas de los servomotores	33
3.6.	Tipos de servomotores	34
3.6.1	Servomotores de corriente continua	34
3.6.2	Servomotores de corriente alterna	36
3.6.3	Servomotor Brushless (AC)	37
3.7.	Servomotor Sg90	42
3.8.	Arduino	44
3.9.	Hardware	45
3.10.	Software	46
3.11.	Ventajas	47
3.12.	Pantalla LCD	48
3.13.	Teclado matricial	49
4.	Capítulo 4 Implementación de un Control de Espejos Retrovisores	54
4.1.	Introducción	54
4.2.	Implementación Arduino UNO	55
4.2.1.	Conexión Pantalla LCD	58
4.2.2.	Conexión Teclado Matricial 4X4	59
4.2.3.	Conexión Micro Servo SG90	61
4.2.4.	Computadora	62
4.2.5.	Fuente externa	63
4.3.	Programación Arduino UNO	64
4.4.	Programación del Control de Espejos Retrovisores	66
4.4.1.	Encabezado	66
4.4.2.	Función Setup ()	68
4.4.3.	Función Loop ()	68
4.4.4.	Función menu control	69
4.4.5.	Función del Control de los Servomotores	72

4.5.	Estructura y Armazón -----	77
4.5.1.	Diseño del Módulo de Control por Computadora -----	77
4.5.2.	Diseño del Espejo Retrovisor por computadora -----	79
4.5.3.	Corte Láser y Material de la Estructura-----	79
4.6.	Ensamble de la Estructura -----	82
4.6.1.	Acoplamiento de Elementos Electrónicos -----	82
4.6.2.	Acoplamiento de Micro Servo -----	83
4.7.	Control Terminado -----	84
4.7.1.	Módulo de Control -----	84
4.8.	Implementación del Control-----	86
4.8.1.	Control del Movimiento Horizontal (Servomotor 1) -----	87
4.8.2.	Control del Movimiento Vertical (servomotor 2) -----	88
Capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones -----		93
5.1.	Conclusiones -----	93
5.2.	Recomendaciones-----	95
Bibliografía-----		96

Resumen

En este trabajo se expone la investigación del diseño y construcción del control de espejos retrovisores a escala con tres grados de libertad. El control está diseñado para dos tipos de movimiento, horizontal y vertical, se realiza con dos servomotores de cd. Se analizan los mecanismos de actuadores, realiza la programación en la computadora en IDE, compilarlo en Arduino y acoplarlo con los componentes electrónicos como son el teclado matricial y pantalla LCD para maniobrarlo se utiliza un control constituido con dichos componentes. Son manejados del teclado ingresando al programa, indicándole el tipo de movimiento que se requiere, se ingresa el ángulo visualizando en la pantalla y girara el servomotor. El material para su construcción fue en MDF (Tablero de Fibra de Densidad Media), se diseñó en un Software por computadora en AutoCAD. Posteriormente se realizó el corte en una máquina de corte láser, tomando el diseño del software. Normalmente son manejados en forma mecánica o manual. Se basa sobre la materia de control analógico en el sistema de lazo abierto. Finalmente se muestran las pruebas realizadas de dicho control. Este control está dirigido para todo público en general, así como también a empresas de automóviles en general, para cubrir las necesidades del conductor así realizar un buen manejo sin accidentes.

Palabras claves

Grados de libertad, Prototipo, Control, Retroalimentación, automatización, Microcontrolador, Pines.

Abstrac

This work exposes research into the design and construction of scale rearview mirror control with three degrees of freedom. The control is designed for two types of horizontal and vertical movement, it will be performed with two cd servo motors. Analyze the actuator mechanisms, perform programming on the computer in IDE, compile it in Arduino and attach it with electronic components such as the matrix keyboard and LCD screen to maneuver it will require a control consisting of those components. They will be handled by entering the program, indicating the type of movement we want, we will type the angle by viewing on the screen and rotate the servo motor. The material for its construction was in MDF (Medium Density Fiber Board), it was designed in a computer software in AutoCAD. Subsequently the cut was made on a laser cutting machine, taking the design of the software. They are usually handled mechanically or manually. I'll rely on the analog control material in the open loop system. Finally, the tests carried out of that control are shown.

This control is aimed at all general publics, as well as car companies in general, to meet the needs of the driver thus perform good handling without accidents.

Keywords

Degrees of freedom, prototype, Control, Feedback, Automatization, Microcontroller, Pin.

Lista de figuras

Página

Figura 2.1 Esquema general de un sistema.	4
Figura 2.2 Diagramas de bloques con variables del sistema de control.	6
Figura 2.3 Tipos de Elevadores	7
Figura 2.4 Robot PackBot	8
Figura 2.5 Comodidad del usuario	9
Figura 2.6 Antena de gran tamaño.	9
Figura 2.7 Reloj de agua de ktesibios 270 A.c.	11
Figura 2.8 Clepsydra alarma de Platón.	11
Figura 2.9 Dispositivo de apertura de puertas.	12
Figura 2.10 Incubadora de Corenius Drebbel	13
Figura 2.11 Regulador de velocidad de James Watt.	15
Figura 2.12 Edward Routh.	17
Figura 2.13 Adolf Hurwitz.	18
Figura 2.14 Liapunov.	18
Figura 2.15 Esquema de un sistema de control de lazo abierto.	25
Figura 2.16 Esquema de un sistema de control de lazo cerrado.	26
Figura 3.1 Partes de un servomotor	30
Figura 3.2 Colores de los cables	31
Figura 3.3 Numero de pulsos que genera el grado correspondiente	32
Figura 3.4 Servomotor de corriente continua	34
Figura 3.5 Servomotor de corriente alterna	36
Figura 3.6 Servomotor Brushless (AC)	37
Figura 3.7 Parte interna de Brushless	38
Figura 3.8 Constitución básica de un motor Brushless	39
Figura 3.9 Servomotor compacto	40
Figura 3.10 Servomotor con encoder	40
Figura 3.11 Servomotor extraplano	40
Figura 3.12 Detalle de la lámina perforada	41
Figura 3.13 Encoder incremental	41
Figura 3.14 Micro Servo Sg90	42
Figura 3.15 Placa Arduino	44
Figura 3.16 Pantalla LCD de 16x2 caracteres	48
Figura 3.17 Teclado matricial 4x4	49
Figura 3.18 Numero de pines del teclado	50
Figura 3.19 Teclado matricial interno sin teclas oprimidas.	51
Figura 3.20 Tecla numero 6 presionada.	52
Figura 3.21 Bit detectado en la fila en alto	53
Figura 4.1 Placa Arduino UNO	55
Figura 4.2 Conexión de la pantalla LCD con el Arduino UNO	58
Figura 4.3 Conexión del teclado matricial con Arduino y la pantalla LCD	60

Figura 4.4 Conexión de los dos Micro Servos SG90 con la placa Arduino, el teclado matricial y la pantalla LCD -----	61
Figura 4.5 Conexión de la computadora con la placa Arduino UNO -----	62
Figura 4.6 Fuente externa de 5 Volts -----	63
Figura 4.7 Pantalla principal del IDE donde se muestra la estructura del programa -----	65
Figura 4.8 Diseño del Módulo parte exterior -----	77
Figura 4.9 Diseño de los Elementos para Soporte -----	78
Figura 4.10 Diseño del Espejo Retrovisor -----	79
Figura 4.11 Pieza Lateral, Diseño y Corte Láser -----	81
Figura 4.12 Pieza parte de Frente, Diseño y Corte Láser -----	81
Figura 4.13 Pieza donde se instala el teclado y pantalla LCD, Diseño y Corte Láser -----	81
Figura 4.14 Tornillo M3 con Tuerca -----	82
Figura 4.15 Micro Servo 9G atornillado a MDF -----	83
Figura 4.16 Modulo de Control Terminado -----	84
Figura 4.17 Vista parte Trasera -----	85
Figura 4.18 Vista parte lateral -----	85
Figura 4.19 Pantalla de Bienvenida -----	86
Figura 4.20 Menú de tres opciones -----	86
Figura 4.21 Mensaje del servo 1 que realizará la acción -----	87
Figura 4.22 Pide a ingresar el ángulo -----	87
Figura 4.23 Seleccionando el Movimiento Vertical -----	88
Figura 4.24 Movimiento del Segundo Servomotor -----	88
Figura 4.25 Pide a Ingresar el ángulo para el movimiento vertical -----	88
Figura 4.26 Posición Horizontal inicial -----	89
Figura 4.27 Posición inicial del espejo -----	89
Figura 4.28 Pantalla de los ángulos ingresados por el primer usuario -----	90
Figura 4.29 Movimiento Horizontal a 20° -----	90
Figura 4.30 Posición del Espejo a 10° -----	90
Figura 4.31 Ángulos Ingresados por el segundo usuario -----	91
Figura 4.32 A la izquierda tenemos la Posición Horizontal a 30° y a la derecha Segunda Posición del Espejo a 15° -----	91
Figura 4.33 Pantalla de los ángulos ingresados por el tercer usuario -----	92
Figura 4.34 Tercer movimiento a 50° -----	92
Figura 4.35 Ultima Posición del Espejo a 12° -----	92

Lista de tablas

Tabla 2.1 Resumen histórico de otros hechos relevantes de los inicios del control. -----	15
Tabla 2.2 Resumen histórico de otros hechos relevantes del periodo preclásico. -----	20
Tabla 2.3 Resumen Histórico de otros hechos relevantes del periodo clásico -----	23
Tabla 3.1 Tabla del fabricante de la duración del pulso-----	32
Tabla 3.2 Información del Micro servo Sg90 -----	43
Tabla 4.1 Lista de componentes electrónicos -----	54

Glosario de términos

PMW	Modulación por Ancho de Pulsos
IDE	Entorno de Desarrollo Integrado
CNC	Control Numérico Computarizado
MDF	Tablero de Fibras de Densidad Media
Medio activo	Medio donde se sitúa mas átomos
CO2	Dióxido de Carbono

Capítulo 1 Introducción

1.1 La importancia del control

La materia de sistemas de control es de suma importancia para todo ingeniero, su utilización ha sido vital en el avance de la ingeniería y la ciencia, permitiendo liberar al hombre de tareas repetitivas y su exposición a ambientes inseguros que pueden ser ejecutadas fácilmente por algún sistema de control automático. En nuestra sociedad moderna, encontramos muchas de las aplicaciones de los sistemas de control, por ejemplo, en el control de vehículos espaciales, en los sistemas de guía de misiles, en las industrias el uso de robots permite la ejecución de tareas monótonas con alta precisión, el cuerpo humano es un complejo sistema de control formado por pequeños subsistemas, tales como la visión que permite el seguimiento de objetos en movimiento.

Muchos han sido los factores que impulsaron los avances en la teoría y la práctica del control automático a lo largo de la historia, tales como: la revolución industrial, la I y la II de la guerra mundial, la conquista del espacio, etc. Sin importar las causas, el hombre ha logrado obtener un desempeño óptimo de los sistemas de control, mejorar la productividad, automatizar muchas operaciones manuales repetitivas y rutinarias. Para lograr comprender estos sistemas y desarrollar otros, es necesario que todos los ingenieros adquieran un conocimiento amplio del área del control autónomo.

1.2 Objetivo

El objetivo de esta tesis es diseñar y construir un control de espejos retrovisores para todo tipo de vehículo, se utiliza el software Arduino y la tarjeta Arduino con componentes electrónicos, el movimiento se realiza con dos servomotores y un teclado matricial para ingresar el ángulo que necesita el usuario, con la finalidad de hacerlo más práctico. Esto basado en un sistema de control en lazo abierto, sobre esto se puede demostrar que se puede innovar un espejo retrovisor.

1.3 Justificación

Muchos conductores se olvidan absolutamente de la importancia del uso del espejo retrovisor, incluso si estos se llegan a romper o son robados, los conductores tardan tiempo o incluso jamás lo vuelven a colocar, ya que hay quienes consideran que no es necesario y se sienten con la experiencia suficiente para no contar de los retrovisores.

Es muy importante que manejes siempre atento a los tres espejos, no son solo un bello accesorio de tu auto, atender los tres espejos es parte de un buen manejo, ya que permite ver quién está detrás de nosotros incluso para hacer alguna maniobra de emergencia.

Para que todavía sea más importante lo mencionado arriba, no es solo un accesorio, lo tengas o no y tu manejo sea estable, correcto y sin errores, tenemos que colocar la posición correcta del ángulo para visualizar nuestro alrededor y no ocasionar algún accidente. Se ha notado que se toma directo del espejo con la mano o con una pequeña palanca, para encontrar la posición adecuada, cuando el vehículo todavía se encuentra detenido no hay complicaciones. Ahora se complica cuando se está manejando en carretera y a veces se pide ayuda alguna persona que lo realice por nosotros la manera de maniobrar.

Entonces se realizará más práctico, simple y sencillo para que al realizar los movimientos no sean tediosos o cuando se vaya conduciendo se sienta seguro. Con tan solo con un teclado se podrá realizarlo.

La investigación está dirigida para el público en general que lo requiera podrá obtenerlo y para las empresas que se dedican a la producción de todo tipo de autos.

1.4 Metodología

En el desarrollo de esta tesis se emplean las siguientes metodologías:

- **Investigación Teórica:** Se inicia con los principios fundamentales del sistema de control, se realiza una investigación sobre la importancia, con una breve reseña sobre los sistemas, enseguida se hará un estudio de los análisis de mecanismos actuadores.
- **Investigación Práctica:** En esta parte se enfoca sobre la implementación de un control de espejos retrovisores donde se construirá un prototipo con componentes electrónicos y un teclado, de esta manera se realiza la innovación del retrovisor para los autos en general.

1.5 Contenido de la tesis

En la presente investigación se estructura en cinco capítulos donde se describen a continuación:

En el capítulo 1, se realiza una introducción sobre este trabajo donde se plantea que se hará y se explica por qué se trabaja en este control donde ayuda a las personas que se le haga más simple y sobre todo en la forma de cómo se va implementando.

En el capítulo 2, se describe los antecedentes históricos de los sistemas de control, sobre los cuales fueron los que iniciaron hasta la fecha actual.

En el capítulo 3, se investiga sobre el análisis de mecanismos de actuadores.

En el capítulo 4, se desarrolla la implementación de un control de espejos retrovisores.

En el capítulo 5, se presentan las conclusiones y recomendaciones del desarrollo de la tesis presentada.

Capítulo 2 Antecedentes de sistemas de control

2.1 Definición de un sistema de control

Las acciones externas a un sistema se pueden dividir en dos grupos, variables de control, que se pueden manipular, y perturbaciones sobre las que no es posible ningún tipo de control. En la siguiente figura 2.1 se ilustra un modo conceptual el funcionamiento de un sistema.

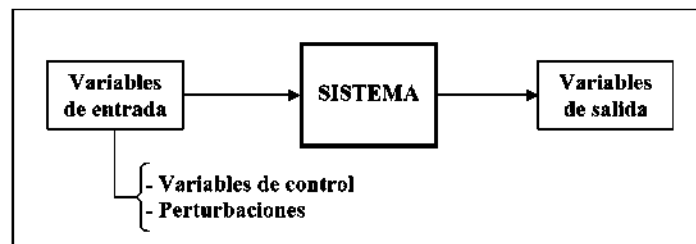


Figura 2.1 Esquema general de un sistema.

Un sistema de control es un tipo de sistema que se caracteriza por la presencia de una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema. La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante las manipulaciones de las variables de control un dominio sobre las variables de salida que modo que estas alcancen un funcionamiento predeterminado.

Además, que está formado por subsistemas y procesos unidos con el fin de controlar las salidas de los procesos.

- Un sistema de control ideal debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos.
 1. Garantizar la estabilidad y particularmente, ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos.
 2. Ser tan eficiente como sea posible, según un criterio preestablecido. Normalmente este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable, evitando comportamientos bruscos e irreales.

3. Ser fácilmente implementar y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador (Brotons, 2004).

2.1.1 Variables del sistema de control

La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla (Menéndez & Mendoza, 2013) la variable de control es la señal que representa el nivel de control requerido del controlador hacia el sistema físico, en el caso de un robot la variable consiste en el voltaje de salida que corresponde al nivel de posición deseado por el controlador.

- a) **La variable manipulada:** Es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Por lo común, la variable controlada es la salida (el resultado) del sistema. Controlar significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar una desviación del valor medido a partir de un valor deseado (Ogata, Ingeniería De Control Moderna, 1998).
- b) **Sensores:** Permiten conocer los valores de las variables
- c) **Controlador:** Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.
- d) **Actuador:** Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control (Brotons, 2004).
- e) **Plantas:** Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de las partes de una máquina que funcionan juntas, el propósito de la cual es ejecutar una operación particular, llamaremos planta a cualquier objeto físico que se va controlar tal como un dispositivo mecánico, un horno de calefacción, un reactor químico o nave espacial.
- f) **Procesos:** El diccionario Merriam-webster define un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden uno al otro en una forma repetitivamente fija que conducen a un resultado determinado.

En la figura 2.2, se muestra las partes de un sistema de control que conlleva dicho sistema y así se analiza cada uno de las variables.

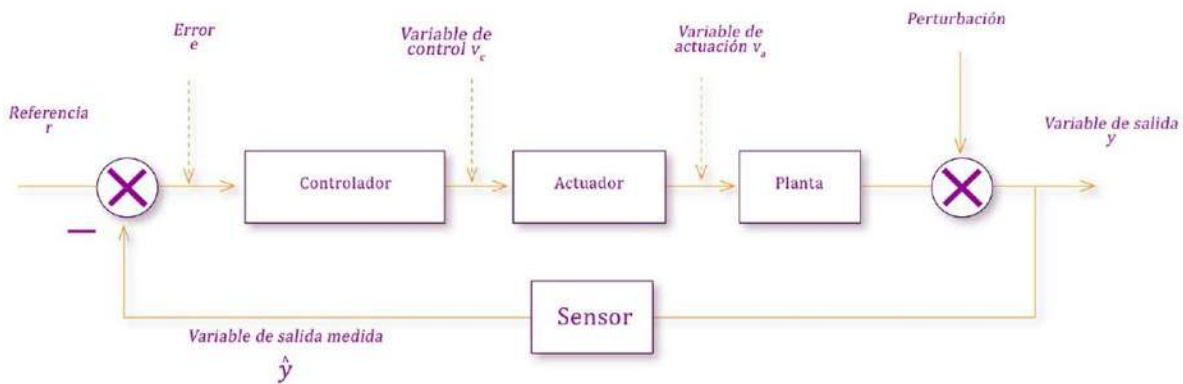


Figura 2.2 Diagramas de bloques con variables del sistema de control.

- g) **Sistemas:** Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado, tampoco puede ser físico se aplica a fenómenos abstractos y dinámicos (Ogata, Ingeniería De Control Moderna, 1998).
- h) **Perturbación:** es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema (Ogata, Ingeniería De Control Moderna, 1998). O también en un sistema de control pueden existir fuerzas externas que afectan el desempeño del sistemas (Menéndez & Mendoza, 2013). Por ejemplo, el robot sufre un golpe ligero con un objeto de la trayectoria, y luego sigue en la trayectoria.
- i) **Referencia:** La referencia o entrada es el objetivo de control a ser obtenido. Esta referencia puede ser estática (es decir, un valor fijo) (Menéndez & Mendoza, 2013)
- j) **Variable de salida:** Como su nombre lo indica esta variable corresponde a la salida del sistema, es decir, la medición que queremos obtener (Menéndez & Mendoza, 2013).

2.2 Ventajas de los sistemas de control

Con sistemas de control es posible mover equipos grandes con una precisión que de otra manera será imposible. Es posible dirigir enormes antenas hacia las regiones más alejadas del universo para captar señales de radio débiles; controlar estas antenas en forma manual no se podría.

Debido a sus sistemas de control, los elevadores de edificios nos llevan con rapidez a nuestro destino, deteniéndose automáticamente en el piso que requerimos. El ser humano no podría producir la energía necesaria para la carga y la velocidad; esta potencia es producida por motores y los sistemas de control regulan la posición y velocidad.

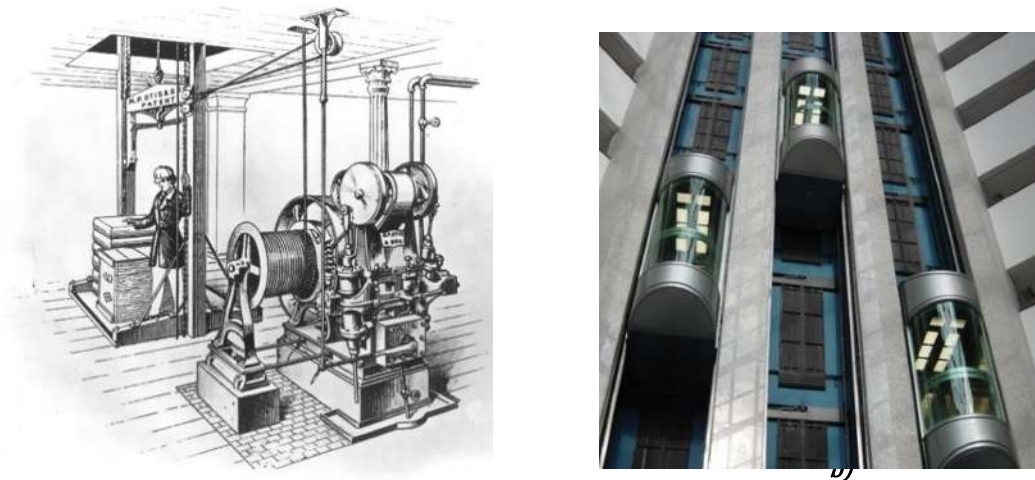


Figura 2.3 Tipos de Elevadores

- a) Los primeros elevadores estuvieron controlados por cuerdas de mano o un elevadorista.
- b) Los modernos elevadores está compuesto por una cabina sujeta por una armadura son totalmente automáticos y utilizan sistemas de control para regular su posición

Se construyen los sistemas de control por cuatro razones básicas:

a) Amplificación de potencia

Por ejemplo, una antena de radar, colocada en su posición por medio de la rotación a baja potencia de una perilla en la entrada, requiere una gran cantidad de potencia para su rotación de salida como se observa en la figura 2.6, Antena de gran tamaño. Un sistema de control puede producir la amplificación o ganancia necesaria de potencia.

b) Control remoto

Los robots diseñados por medio de los principios de los sistemas de control pueden compensar la discapacidad humana. Los sistemas de control también son útiles en lugares remotos o peligrosos. Por ejemplo, se puede usar un brazo de robot a control remoto para recoger material en un ambiente radiactivo. La figura 2.4, PackBot muestra un brazo diseñado para trabajar en lugares peligrosos.



Figura 2.4 Robot PackBot

PackBot fue el primer robot en entrar al edificio del reactor en Fukushima en 2011, poco después del accidente. Se trata de un robot con diversas funcionalidades y con un brazo robótico muy preciso.

c) Comodidad de forma de entrada

También se pueden usar sistemas de control por comodidad para cambiar la forma de la entrada. Por ejemplo, un sistema de control de temperatura, la entrada es una posición en un termostato; la salida, calor. Entonces, una entrada de posición cómoda produce una

salida térmica deseada. Como se observa en la figura 2.5, comodidad del usuario, podemos observar el objetivo del Sistema de control de temperatura.



Figura 2.5 Comodidad del usuario

d) Compensación por perturbaciones

Otra ventaja de un sistema de control, es la capacidad de compensación debido a las perturbaciones. En general, controlamos variables como lo mencionado arriba en los sistemas térmicos; la posición y velocidad en los sistemas mecánicos, y voltaje, corriente o frecuencia en los sistemas eléctricos. El sistema debe ser capaz de dar la salida correcta incluso con una perturbación. Por ejemplo, considere un sistema de antena que apunta en la dirección que se le indica. Si un viento obliga a la antena a moverse de la posición que se le ha indicado, o si internamente entra un ruido, el sistema debe detectar la perturbación y corregir la posición de la antena como se muestra en la figura siguiente. Y esto nunca va modificar al momento de la corrección (Nise, 2002). En la figura 2.6, Antena de gran tamaño, donde podemos observar la potencia que requiere para su rotación. Ya que al realizarlo detecta las perturbaciones al sistema.



Figura 2.6 Antena de gran tamaño.

2.3 Principios de los sistemas de control

Los sistemas de control siempre han existido, son más viejos que la humanidad, en el transcurso de la historia han inventado numerosos sistemas de control para permitir a la humanidad adaptar el medio donde vivía.

2.3.1 Control de nivel de líquido

Ktesibios, en el siglo III antes de Cristo diseña un reloj de agua, conocido también como Clepsydra y también diseña un órgano que funcionaba con agua. Las Clepsydras consistían en un mecanismo cuyo objetivo era que el nivel de un depósito de agua subiera con una velocidad constante. Para lo cual se utiliza un flotador que regulaba la entrada de agua a un depósito auxiliar de manera que el nivel de este se mantenía constante y por lo tanto su caudal de salida al depósito principal. El documento más antiguo encontrado donde se menciona una Clepsydra es el registro de un procedimiento judicial donde se le nombra como una ayuda para asegurar que ambas partes dispongan del mismo tiempo para las alegaciones finales (Zaragoza, 2009).

Los inicios del control se tiene conocimiento de que los sistemas de control automático fueron utilizados hace más de 2000 años, los avances se fueron dando a través del tiempo (Castillo, 2008). La primera motivación para los sistemas retroalimentados en la antigüedad fue la necesidad de medir el tiempo, así hacia el año 270 a. c. los griegos empezaron a construir sistemas retroalimentados el griego *Ktesibios* invento un control de la taza de flujo para regular un reloj de agua.

De hecho, este se reduce a un control de nivel de líquido donde el mecanismo de control usado en la antigüedad es todavía utilizado para controlar el nivel de agua de un inodoro la figura 2.7, se muestra reloj de agua de *Ktesibios* muestra un esquema, donde el flotador está fabricado de tal forma que cuando desciende el nivel, el caudal del depósito aumenta y con ello el nivel sube, disminuyendo por lo tanto el caudal. El líquido que sale del primer depósito es canalizado a un contenedor en donde un dispositivo permite llevar un registro del tiempo.

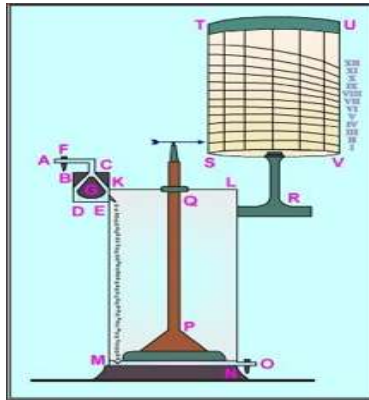


Figura 2.7 Reloj de agua de ktesibios 270 A.c.

La idea de que un reloj de agua pudiera realizar una función automática se le ocurre al gran filósofo *Platón* como lo ilustra en la figura 2.8, Clepsydra alarma de Platón. Los alumnos de la academia fundada por *Platón* en el 378 A.C. tenían ciertas dificultades para levantarse por la mañana, lo cual era fuente de discusiones todos los días. Por lo cual Platón diseña un sistema de alarma basándose en una Clepsydra. En el vaso de la Clepsydra se ubicó un flotador encima del cual se depositan unas bolas. Durante la noche se llenaba el vaso y al amanecer alcanzaba su máximo nivel y las bolas caían sobre un plato de cobre. Es de suponer que ante el ruido de las bolas los "despiertos" de los alumnos terminarían por levantarse (Zaragoza, 2009).

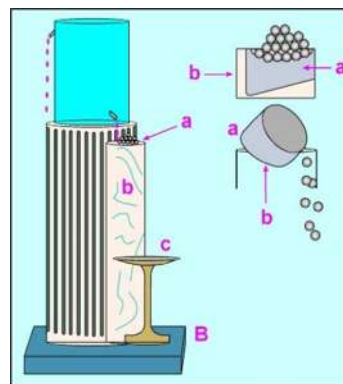


Figura 2.8 Clepsydra alarma de Platón.

Trescientos años más tarde *Heron de Alejandria* describe un dispositivo para la apertura de puertas de un templo. En la figura 2.9, ilustra uno de los primeros sistemas de control en lazo abierto.

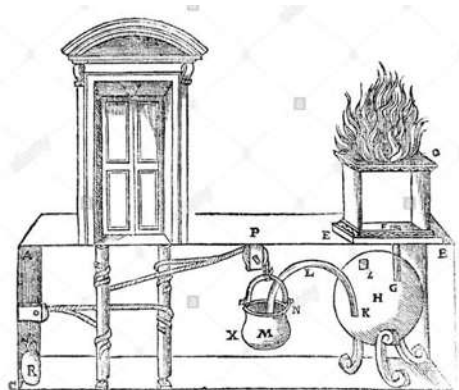


Figura 2.9 Dispositivo de apertura de puertas.

El dispositivo operaba de la siguiente manera, la señal de mando del sistema era el encendido del fuego del altar. El aire caliente, al dilatarse por el fuego, trasladaba el agua del depósito a la cuba. Al incrementarse el peso en la cuba esta descendía y se abría la puerta por medio de una cuerda, esto provocaba que un contrapeso se elevara.

La puerta podía cerrarse apagando o atenuando el fuego, así que esto provocaba que al enfriarse el aire en el contenedor y reducirse su presión, por el efecto sifón el agua de la cuba volvía a su depósito, con ello la cuba disminuía de peso y el contrapeso permitía cerrar la puerta.

Posiblemente el dispositivo actuaba cuando el celebrante y su sequito subían los peldaños del templo y como el sistema de apertura no era conocido por el pueblo se creaba un ambiente de misticismo, demostrando el poder de los dioses del olimpo.

2.3.2 Control de presión de vapor temperatura

La regulación de presión de vapor se inició hacia 1681 con el invento de una válvula de seguridad que construyó *Denis Penin*. El concepto se mejoró al aumentar el peso de la parte superior de la válvula. Si la presión ascendente de la caldera era mayor que el peso, se escapaba vapor y la presión se reducía; si la presión no era mayor que el peso, la válvula no se abría y la presión dentro de la caldera aumentaba. Así el peso en la parte superior de la válvula fijaba la presión interna de la caldera (Nise, 2002).

Otro hecho relevante del periodo (1683 – 1757) fue Rene – *Antoine Ferchault* quien propuso un control automático de temperatura para incubadoras basado en el invento de *Cornelius Drebbel* (1572 – 1663). La figura 2.10, Incubadora de Corenlius Drebbel, Muestra un esquema de dicho invento el horno consta de una caja que contiene el fuego y un tubo en la parte superior, el cual cuenta con un regulador de tiro. Dentro de la cámara de combustión esta la incubadora con doble pared y el hueco entre ellas se llena con agua. El horno cuenta también con un sensor de temperatura en un recipiente de vidrio lleno de alcohol y mercurio, estos se colocan entre las paredes del horno. A medida que el fuego calienta la caja y el agua, el alcohol se dilata y el vástago con flotador se desplaza hacia arriba, bajando el regulador de tiro sobre la boca del tubo.

Cuando la caja este demasiado fría, el alcohol, se contrae y por consecuencia, el regulador de tiro se abre y el fuego se incrementa. La temperatura de operación está determinada por la longitud del vástago con flotador, misma que determina la apertura del vástago de tiro para una dilatación determinada del alcohol. Esta incubadora fue utilizada para empollar huevos de gallina (Castillo, 2008).

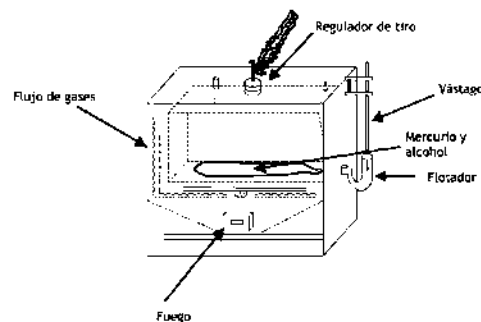


Figura 2.10 Incubadora de Corenlius Drebbel

2.3.3 Control de velocidad

En 1712 un quincallero llamado *Thomas Newcomen* y el ingeniero militar *Thomas Savery* construyeron la primera máquina de vapor atmosférica de pistón. Utilizado un pistón de simple efecto su rendimiento era muy pobre, tan solo el 0.5% de la energía del combustible era utilizado.

La máquina recibió muchas críticas por su elevado consumo de carbón y por el fuerte desgaste de sus componentes. Para hacerla funcionar, se decía, eran necesarios dos minas, una de carbón y otra de hierro. A pesar de ello, en 1760 había más de 100 máquinas trabajando.

El ingeniero *James Watt* introdujo una modificación en la maquina; una cámara aparte, el condensador, encargaba de enfriar el vapor. También introdujo el cilindro de doble efecto, que aceptaba vapor alternativamente a ambos lados del embolo. El resultado fue que se aumentó el rendimiento de la maquina hasta el 4% (Moreno, 1999).

En 1788 *Matthew Boulton* quien utilizaba máquinas de vapor en sus fábricas, describe en una carta a James Watt, la necesidad de un regulador automático, a partir de esto Watt desarrolla el gobernador de velocidad de las máquinas de vapor y perfecciono la obtención de vapor de las calderas, estos dispositivos permitían transformar el movimiento rotatorio en uno de traslación, así como regular automáticamente la velocidad angular de un motor a través de la modulación de la cantidad de vapor admitido (Castillo, 2008).

Este dispositivo presenta algunas desventajas, solo empleaba un control proporcional por lo que no había un control exacto de la velocidad y tenía una sola condición de operación. El regulador de James W. puede considerarse el primer sistema de control retroalimentado y su invención marca el origen de la ingeniería de control y se considera el punto de partida de la revolución industrial.

En la figura 2.11, se muestra Regulador de velocidad de James Watt, el cual opera de la siguiente manera, cuando se incrementa la velocidad los contrapesos metálicos en forma

de esfera se elevan, esto provoca que se alejen del eje y se cierre la válvula y por lo tanto el vapor suministrado se reduzca.

En caso contrario cuando la velocidad baja se aumenta el suministro de vapor ya que en este caso los contrapeso contribuyen a que la válvula este abierta.

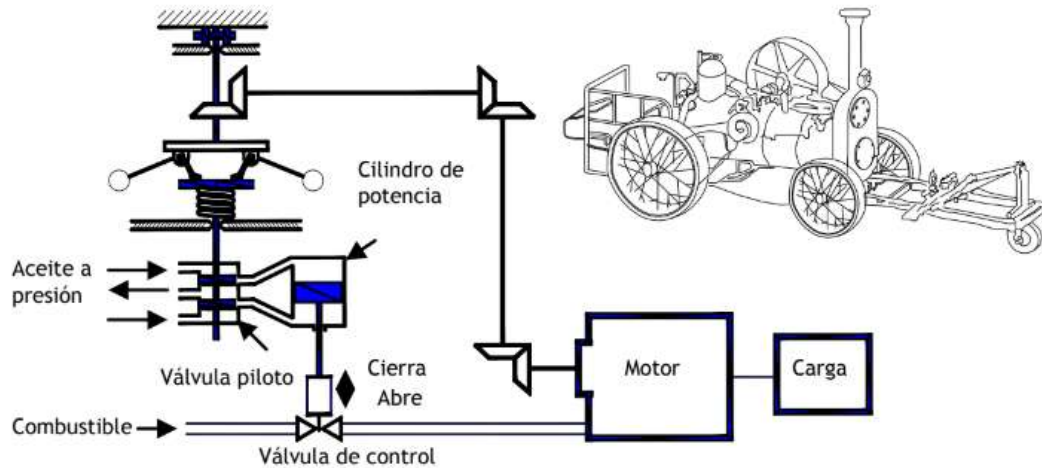


Figura 2.11 Regulador de velocidad de James Watt.

En este periodo todos los esfuerzos se hicieron en base al arte y a la intuición, sin la aplicación de la teoría, por esta razón los progresos fueron lentos. Otras contribuciones importantes en este periodo se resumen en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Resumen histórico de otros hechos relevantes de los inicios del control.

Año	Hecho relevante
1789	Surgen gobernadores típicos patentados por William Siemens, con una sustitución de acción integral por la proporcional, produciendo reguladores con puntos de operación flotantes.
1826-1836	J. V. Poncelet publica artículos en donde se mostraba la dinámica de los reguladores empleando ecuaciones diferenciales, pero encontraron dificultades para determinar las condiciones de estabilidad.
1862	Thomas Pickering y William Harthell inventaron un regulador de alta velocidad físicamente más pequeño que el de James Watt.
1868	James Clerk Maxwell publica el artículo "On Governor", en el cual describe como derivar las ecuaciones diferenciales de varios reguladores. Además, muestra que mediante el análisis de los coeficientes de las ecuaciones diferenciales de segundo, tercero y cuarto orden se puede determinar la estabilidad del sistema.
1874	Edgard J. Routh retoma los trabajos de Maxwell y publica su artículo "Tratado sobre la estabilidad de un estado de movimiento dado", el cual contiene lo que ahora conocemos como el criterio de estabilidad de Routh-Hurwitz.
1895	Adolf Hurwitz resolvía el problema de la estabilidad de sistemas lineales en términos de un conjunto de determinantes.

2.3.4 Estabilidad

Definición de estabilidad

La estabilidad es uno de los requisitos más importantes de los sistemas de control, para que un sistema de control sea útil, este debe ser estable (Castillo, 2008). Existen varias definiciones para la estabilidad dependiendo de la clase de sistemas que se estén tratando, en el caso de los sistemas lineales invariantes en el tiempo (SLIT), tenemos los siguientes.

Al mismo tiempo que watt se dedicaba a perfeccionar su regulador de bolas, Laplace y Fourier desarrollaban los métodos de Transformación Matemática, tan utilizados y asumidos en la Ingeniería Eléctrica y por supuesto en la actual Ingeniería de Control (Zaragoza, 2009).

Cauchy (1789 – 1857), con su teoría de la variable compleja, completo las bases matemáticas necesarias para la Ingeniería de control. Pero hasta 75 años después de la muerte de Cauchy, no surgió lo que se podría denominar la Teoría de Control.

Como se ha comentado anteriormente los primeros reguladores de Watt tenían un buen comportamiento debido al gran razonamiento existente entre sus miembros. A mediados del siglo XIX cambian las técnicas de diseño de las máquinas y se mejoran los procesos de fabricación, entonces se empezó a observar que la velocidad de las máquinas variaba cíclicamente con el tiempo, con comportamientos no muy estables. Este problema era bastante grave y atrajo a un gran número de importantes científicos e ingenieros.

Entre los primeros científicos interesados en el tema, se puede señalar a G.B. Airy, el cual en 1840 y 1851 publica sus trabajos relativos a la regulación de velocidad de telescopios. Su interés de debió a la necesidad de mantener el telescopio girando lentamente a una velocidad uniforme durante las observaciones astronómicas. La principal aportación de sus trabajos el estudio de la influencia del amortiguamiento en la estabilidad.

El problema fue resuelto por Maxwell y por el ingeniero ruso Vischnegradsky. Este ingeniero publico sus resultados en 1876 en términos de una regla de diseño que relacionaba los parámetros de ingeniería del sistema con su estabilidad. El análisis de Vischnegradsky demostraba que los cambios de diseño de la máquina que habían tenido

lugar desde la época de Watt, habían disminuido el rozamiento entre sus componentes y esto conllevaba inevitablemente el fenómeno de oscilaciones en la regulación de la velocidad. Vischnegradsky también demostró la incapacidad de un regulador proporcional para establecer un correcto comportamiento de un sistema de tercer orden.

El trabajo que presenta Maxwell en 1868: "On Governors", puede considerarse como el origen de la Teoría de Control. En él presenta su criterio de estabilidad para los sistemas lineales dinámicos e invariantes. En este trabajo Maxwell establece una diferenciación entre regulators ó Moderators conocidos actualmente como reguladores proporcionales y Governors como reguladores con acción integral.

La contribución importante de Maxwell estuvo en demostrar que el comportamiento de un sistema de control automático en la vecindad de una posición de equilibrio se podía aproximar por una ecuación diferencial lineal y por lo tanto la estabilidad se podía así discutir en términos de las raíces de la ecuación algebraica asociada.

Maxwell plantea de esta forma el problema general de estudiar la estabilidad de un sistema dinámico en función de la localización de las raíces de su ecuación característica. Hermite había publicado un trabajo sobre el mismo problema unos años antes pero no era muy conocido.

Routh resuelve este problema en 1877 en su trabajo "A treatise on the stability of a given state of motion", con el que obtiene el premio Adams. En este trabajo presenta por primera vez su conocido criterio de estabilidad.



Figura 2.12 Edward Routh.

Hurwitz en 1885, de una forma independiente y utilizando las técnicas de Cauchy y Hermite resuelve el mismo problema en términos de un conjunto de determinantes. Bompiani demostraría en 1911 la equivalencia de los criterios de Routh y Hurwitz.



Figura 2.13 Adolf Hurwitz.

En 1889, Liapunov presenta sus trabajos sobre estabilidad, los cuales servirán de base a la teoría moderna de control. Es importante resaltar la aportación de Heaviside, aplicando el análisis impulsional en el estudio de los sistemas dinámicos. Heaviside es el primero que aplica el cálculo operacional a un amplio espectro de problemas de Ingeniería Eléctrica.



Figura 2.14 Liapunov.

A finales del siglo XIX se encuentran asentadas las bases necesarias para el desarrollo de Teoría de Control Automático, llevado a cabo durante este siglo XX.

2.3.5 Periodo preclásico

Este periodo se caracteriza por la utilización de la teoría en conjunción con la intuición para el diseño de sistemas de control. A continuación, se presentan los hechos históricos más relevantes de este periodo (Castillo, 2008).

A comienzos del siglo XX, se vio la rápida aplicación de los controladores de retroalimentación para la regulación de voltaje, corriente y frecuencia. Esto también se extendió al control de calderas para la generación de vapor, al control de velocidad en motores eléctricos, así como al control de navegación, aviación y auto-estabilización. En los procesos industriales se aplica la retroalimentación al control de temperatura, presión y fluido. Entre los años 1909 y 1929, las ventas de los controladores empezaron a incrementarse; la cantidad de dispositivos diseñados y manufacturados era grande. Sin embargo, la mayoría eran diseñados sin ningún entendimiento de la dinámica de los sistemas a controlar y de la medición y actuación de los dispositivos utilizados para el control. La mayoría de las aplicaciones fue relacionada con la simple regulación, y en tales casos esta falta de entendimiento no fue un problema serio. Sin embargo, hubo algunos mecanismos complejos que involucraban complicadas leyes de control que se venían desarrollando paralelamente. Un ejemplo son las compañías suministradoras de electricidad que lo relacionaron con la operación económica de las calderas en la generación de vapor. En 1920 varias compañías desarrollaron sistemas completos para el control de las calderas.

Como los dispositivos y sistemas de control comenzaron a ser usados en diferentes áreas de la ingeniería, dos grandes problemas aparecieron.

Había una falta de entendimiento teórico con un lenguaje no común para discutir los problemas.

No había análisis simples ni métodos de diseño.

La única herramienta disponible para el análisis era una ecuación diferencial y la aplicación de la aun no difundida prueba de estabilidad de *Routh-Hurwitz*.

Los ingenieros de control se encontraban confundidos ya que los controladores que funcionaban satisfactoriamente para una aplicación no lo hacían igual para otras.

En la tabla 2.2 se resumen las principales contribuciones de este periodo.

Tabla 2.2 Resumen histórico de otros hechos relevantes del periodo preclásico.

Año	Hecho relevante
1913	Henry Ford mecanizó el ensamble de la producción de automóviles.
1922	Nicholas Minorsky presentó un claro análisis de los sistemas de control de posición y formuló la ley de control que hoy se conoce como control PID y propuso un modelo matemático para describir el control de barcos.
1928	Mason desarrolló un amplificador neumático retroalimentado negativamente; él comenzó experimentando con retroalimentación con parte de la salida del amplificador y produjo un circuito retroalimentado que linealizó la operación de la válvula.
1932	Harry Nyquist propuso una solución al análisis de los sistemas de amplificación retroalimentados basado en la forma de la respuesta de la frecuencia de la ganancia en lazo abierto.
1934	Harold S. Black inventa el amplificador retroalimentado ante la necesidad de fomentar la telefonía a larga distancia compensando las pérdidas en los cables de transmisión.
1934	Harold Locked Hazen publica el artículo "Theory of Servomechanism", en donde se introduce por primera vez el término servomecanismo.

2.3.6 Periodo clásico

Este periodo se tienen desarrollos en el campo teórico y se planea el control automático como ciencia potencial. Entre los hechos más relevantes del periodo clásico podemos mencionar los siguientes.

Durante el periodo 1935-1940, ocurrieron adelantos en comprensión y análisis de sistemas de control, surgiendo varios grupos independientes de trabajo en varios países. El mejor trabajo conocido y el más influyente vino de tres grupos formados en los EE.UU, aunque el desarrollo de la teoría de control en EE.UU, Europa Occidental fue algo diferente al desarrollado en Europa del Este y en Rusia, derivado del trabajo de *Vyschnegndsky* en Rusia y del trabajo de *Barkhausen* en Alemania, seguido por desarrollos de *Cremer*, *Leohard* y *Mikhailov*.

El primer grupo formado por AT&T continuó con su intento por encontrar maneras de extender el ancho de banda de sus sistemas de comunicación, y sobre todo con el fin de obtener buenas características de respuesta a la frecuencia, los ingenieros de Bell Telephone Laboratories trabajaron extensamente en este problema, encontrando las características de ganancia deseadas, sin embargo, el retraso de la fase era demasiado grande.

En 1940 *Hendrik Bode*, quien había estudiado extensamente los métodos de diseño en el dominio de la frecuencia, mostro que ninguna atenuación definida y universal de fase cambia la relación para una estructura física existente, pero en este hay una relación entre una característica de la atenuación dada y la fase mínima, cambio que se puede asociar con el diagrama de bode.

Un segundo grupo importante formado por ingenieros mecánicos y físicos que trabajaron en el proceso industrial, dirigidos por *Ed. S. Smith* de la compañía constructora y fundidora de Hierro comenzaron a desarrollar una terminología en común y los métodos de planeamiento para los sistemas de control a usar, de esta manera se formó el primer cuerpo profesional para tratar específicamente el control automático.

El tercer grupo estaba localizado en el departamento de ingeniería Eléctrica de la MIT y era encabezado por *Harold L. Hazon* y *Gordon S. Brown*, quienes emplearon métodos basados en el dominio del tiempo basados, iniciaron el desarrollo del uso de diagramas de bloques y la utilización del análisis diferencial para simular sistemas de control.

Durante este periodo los fabricantes de piezas neumáticas comenzaron a mejorar y desarrollar sus instrumentos.

Durante la Segunda Guerra Mundial, la práctica y la teoría del control automático recibieron un gran impulso, ya que fue necesario diseñar y construir pilotos automáticos para aviones, sistemas de puestos de tiro, sistemas de control por antenas de radar y otros sistemas militares basados en los métodos de control por retroalimentación. La complejidad y el funcionamiento esperado de estos sistemas militares necesitaron ampliar las técnicas de control disponibles y fomentaron el interés en los sistemas de control y en el desarrollo de nuevos métodos e ideas. Antes de 1940, en la mayoría de los casos, el diseño de los sistemas de control fue un arte que implicaba aproximaciones de prueba y error. Durante la década de 1940, se incrementaron en número y utilidad los métodos matemáticos y analíticos, y la ingeniería de control se convirtió en una disciplina por derecho propio.

En 1942, *J. G. Ziegler* y *N. B. Nichols*, propusieron unas formulas empíricas para sintonizar las ganancias de los controladores PI y PID, basándose en valores del proceso a controlar y que son medidas experimentales, esto ocurrió cuando estaban trabajando para la compañía Taylor Instrument, en donde sacan al mercado el primer controlador PID, Fulcope modelo 100.

Después de la segunda Guerra Mundial, con el mayor uso de la transformada de Laplace y el plano de frecuencia compleja, las técnicas del dominio de la frecuencia continuaron dominando el campo del control.

En 1948, *Walter R. Evans* mientras trabajaba en el campo de guía y control de aviones para la industria de la aviación Americana del Norte, desarrollo el método del lugar de las raíces para determinar la estabilidad de los sistemas lineales de una sola entrada, esto a partir del modelo del sistema descrito por una ecuación diferencial con coeficientes constantes.

Durante la década de 1950, el énfasis en la teoría de la ingeniería de control se centró en el desarrollo y uso de los métodos en el plano s y, particularmente, en el enfoque de los lugares geométricos de las raíces. Además, durante esa época se hizo posible el uso de la computadora analógica y digital como componente de control. Este nuevo elemento de control proporcionó una capacidad para calcular con rapidez y exactitud, que no existía antes para el ingeniero de control. La tabla 2.3 resume otros hechos importantes de esa época.

Tabla 2.3 Resumen Histórico de otros hechos relevantes del periodo clásico

Año	Hecho relevante
1941	El ruso A. N. Kolmogorov desarrolla la teoría de procesos estocásticos estacionarios en tiempo discreto.
1945	H. Bode publica los resultados de su trabajo en su libro "Network analysis and Feedback amplifier Design"
1946	La escuela de Moore de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Pennsylvania desarrolla la ENIAC (Electronic Numerical and Automatic Calculator), primera computadora capaz de integrar un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias.
1947	James, Nichols y Phillips publican el desarrollo completo de técnicas para el diseño de servomecanismos.
1947	Un C-54 atravesó el Atlántico sin que un ser humano tocara los mandos desde el despegue hasta el aterrizaje. El avión fue controlado por el piloto automático propuesto por Sperry.
1938	Hendrik Bode utilizó la magnitud y la fase de las gráficas de respuesta a la frecuencia de una función compleja para investigar la estabilidad en lazo cerrado usando conceptos de margen de fase y margen de ganancia.

2.3.7 Periodo moderno

La dirección que tomo el trabajo durante la postguerra fue influenciada por la percepción y nuevas ideas desarrolladas durante la guerra. La trayectoria del crecimiento estaba determinada en gran medida por dos factores.

- a) El problema planteado por el gobierno para el lanzamiento y guía de misiles, además de la operación de vehículos espaciales.
- b) La llegada de la computadora digital.

El primer problema fue esencialmente el controlar objetos balísticos, y por lo tanto, el detallar modelos físicos construidos en termino de ecuaciones diferenciales, tanto lineales como no lineales. También la medición instrumental y otros componentes de gran exactitud y precisión podrían desarrollarse y utilizarse. Los ingenieros trabajaban en industrias aeroespaciales, siguiendo el ejemplo de *Poincare*, regresando a la formulación de las ecuaciones diferenciales en términos de ecuaciones y de esta manera empezar a acercarse a lo que hoy se conoce como el modelado en espacio de estado. Particularmente, el advenimiento del *Sputnik* y la era espacial, proporcionaron un gran impulso a la ingeniería de control.

Entre 1948 y 1952 *Richard Bellman* trabajo en el departamento de matemáticas de la corporación RAND, donde se dedicó al estudio del problema de aumentar la efectividad de los misiles y que estos provocaran el mayor daño posible. Este trabajo lo llevo a formular “El principio de Optimización” y de la programación dinámica.

En la década de los 70's surge el control adaptable a partir de 1980 conceptos como control robusto, control difuso, control estocástico control por modos deslizantes y otros temas relacionados son ampliamente utilizados en la ingeniería de control.

Actualmente resulta importante destacar que la ingeniería de control debe considerar dos técnicas: La del dominio del tiempo y la del dominio de la frecuencia, para realizar el proceso de análisis y diseño de sistemas de control.

2.4 Clasificación de los sistemas de control

En esta sección analizaremos las dos configuraciones de los sistemas de control, además de ilustrarse estas por medio de algunos ejemplos (Castillo, 2008).

2.4.1 Sistemas en lazo abierto

La Figura 2.15, ilustra un esquema de un sistema de control de lazo abierto, este tipo de sistemas, en donde la salida no tiene efecto sobre la acción de control, es decir, la salida de la planta no se mide ni realimenta, entonces es independiente de las entradas de control. Por lo tanto, este tipo de controladores se emplean sólo si la relación entrada/salida de la planta es conocida y no hay perturbaciones externas o internas. Por esta razón estos sistemas son simples y económicos.

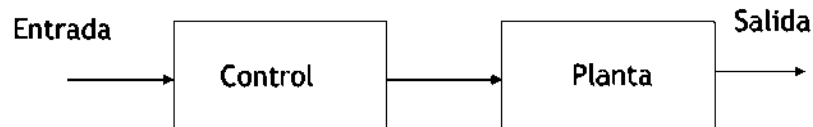


Figura 2.15 Esquema de un sistema de control de lazo abierto.

Ejemplos de sistemas de control de lazo abierto

Un ejemplo práctico es una lavadora de ropa doméstica; el ciclo de remojo, lavado y enjuague en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida que es el grado de limpieza de la ropa.

Otro ejemplo es el alumbrado público pre-programado, en este el objetivo es mantener un nivel de iluminación mínimo en la calle, para lo cual se requiere encender las luminarias a una hora específica y apagarlas en otra.

Así pues, se puede decidir encender el alumbrado a las 6:30 p. m. y apagarlas 6:30 a. m. Un inconveniente de este sistema ocurre cuando se tienen días nublados o bien cuando cambia la estación del año, pues cambia la hora del atardecer y amanecer. Por lo que es necesario modificar el temporizador varias veces al año. Por último, analicemos con más

detalle el caso de otro aparato electrodoméstico de uso común, como lo es un tostador, el cual también opera en lazo abierto. Este dispositivo está fabricado con el propósito de obtener un pan tostado más oscuro cuanto más tiempo sea sometido al calor. Aquí la variable de salida es el color del pan ya tostado y la variable de entrada es el color del pan deseado una vez que se ha tostado. El aparato no tiene la capacidad de medir el color del tostado, opera en base a un tiempo que determina el grado en que se tueste el pan, por lo tanto, no hay una retroalimentación de la salida y el sistema no es capaz de distinguir si el pan a tostar tiene diferente grosor, o bien este hecho de cemento o de otra clase de harina. Por lo cual, no puede corregir perturbaciones externas ni internas.

2.4.2 Sistemas en lazo cerrado

En este tipo de sistema la señal de salida tiene un efecto directo sobre la acción de control, es decir, son sistemas de control realimentado, ya que la salida es comparada con la referencia y la señal de error generada alimenta al controlador el cual aplica una nueva señal a la planta con el fin de reducir el error y lleva la salida del sistema al valor deseado, esto se muestra en la figura 2.16.

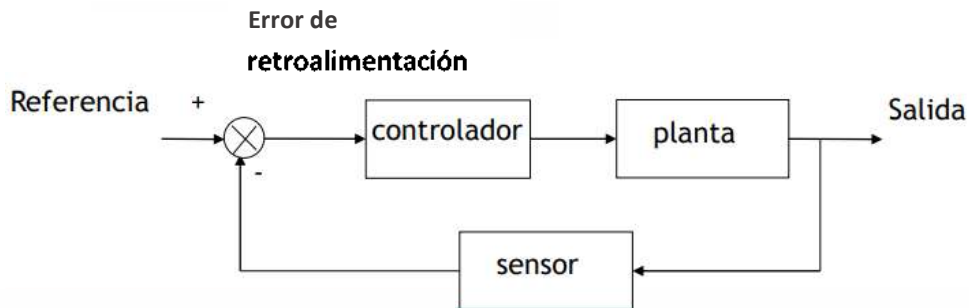


Figura 2.16 Esquema de un sistema de control de lazo cerrado.

2.5 Comparación entre los sistemas de lazo abierto y lazo cerrado

Una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Es así posible usar componentes relativamente poco precisos y baratos para obtener el control adecuado de una planta determinada, mientras que hacer eso es imposible en el caso de un sistema en lazo abierto (Ogata, Ingeniería de Control Moderna, 2010).

Desde el punto de vista de estabilidad, el sistema de control en lazo abierto es más fácil de desarrollar, porque la estabilidad del sistema no es un problema importante. Por otra parte, la estabilidad es un problema en el sistema de control en lazo cerrado, que puede conducir a corregir en exceso errores que producen oscilaciones de amplitud constante o cambiante.

Debe señalarse que, para los sistemas en los que se conocen con anticipación las entradas y en los cuales no hay perturbaciones, es aconsejable emplear un control en lazo abierto. Los sistemas de control en lazo cerrado solo tienen ventajas cuando se presentan perturbaciones y/o variaciones impredecibles en los componentes del sistema. Obsérvese que la potencia nominal de salida determina en forma parcial el coste, peso y tamaño de un sistema de control. El número de componentes usados en un sistema de control en lazo cerrado es mayor que el que se emplea para un sistema de control equivalente en lazo abierto. Por tanto, el sistema de control en lazo cerrado suele tener costes y potencias más grandes. Para disminuir la potencia requerida de un sistema, se emplea un control en lazo abierto siempre que pueda aplicarse. Por lo general, una combinación adecuada de controles en lazo abierto y en lazo cerrado es menos costosa y ofrecerá un comportamiento satisfactorio del sistema global.

La mayoría de los análisis y diseños de sistemas de control presentados en este libro son sistemas de control en lazo cerrado. En ciertas circunstancias (por ejemplo, si no hay perturbaciones o la salida es difícil de medir) pueden ser deseables los sistemas de control

en lazo abierto. Por tanto, es conveniente resumir las desventajas y desventajas de utilizar sistemas de control en lazo abierto.

Las ventajas fundamentales de los sistemas de control en lazo abierto son las siguientes.

- Construcción simple y facilidad de mantenimiento.
- Menos costosos que el correspondiente sistema en lazo cerrado.
- No hay problemas de estabilidad.
- Convenientes cuando la salida es difícil de medir o cuando medir la salida de manera precisa no es económicamente viable. (por ejemplo, en el caso de la lavadora, sería bastante costoso proporcionar un dispositivo para medir la calidad de la salida de la lavadora, es decir, la limpieza de la ropa lavada.)

Las desventajas fundamentales de los sistemas de control en lazo abierto son las siguientes:

- Las perturbaciones y los cambios en la calibración originan errores, y la salida puede ser diferente de lo que se desea.
- Para mantener la calidad requerida en la salida, es necesaria la recalibración de vez en cuando.

Capítulo 3 Análisis de mecanismos actuadores

3.1. Definición de servomotor

Un servomotor o servo es un dispositivo electromecánico conformado por un motor eléctrico, un juego de engranes y una tarjeta de control, todo constituido dentro de una carcasa de plástico (Mecatronica, 2018).

- Se puede definir en pocas palabras como un motor especial con elementos de control de posición (Menna, 2018).

3.2. Partes de un servomotor

Se muestra en la figura 3.1, partes de un servomotor donde a continuación se describen cada una de ellas.

a. Motor de corriente continua (DC)

Es el componente motriz del servo que le proporciona movimiento. Al aplicarse potencial a ambos terminales el motor gira en uno de los sentidos a máxima velocidad si el voltaje que se aplica es inverso.

b. Engranajes reductores

El conjunto de engranes sirve para disminuir la velocidad elevada del giro del motor, y así aumentar la capacidad de torque o par motor.

c. Sensor de desplazamiento

Es un potenciómetro que va en el eje de salida del servomotor y se utiliza para saber cuál es la posición angular del motor.

d. Tarjeta de control o circuito de control

Este circuito es el encargado del control de la posición del motor. Recibe los pulsos de entrada y ubica al motor en su nueva posición dependiendo de los pulsos recibidos. Tiene además de los circuitos de control un potenciómetro conectado al eje central del motor.

Este potenciómetro permite a la circuitería de control supervisar el ángulo actual del servo motor.

Si el eje está en el ángulo correcto, entonces el motor está apagado. Si el circuito chequea que el ángulo no es correcto, el motor volverá a la dirección correcta, hasta llegar al ángulo que es correcto. El eje del servo es capaz de llegar alrededor de los 180 grados. Normalmente en ángulos llega a los 210 grados, pero varía según el fabricante.

Un servo normal se usa para controlar un movimiento angular de entre 0 y 180 grados.

Un servo normal no es mecánicamente capaz de retomar a su lugar, si hay un mayor peso que el sugerido por las especificaciones del fabricante (Menna, 2018).

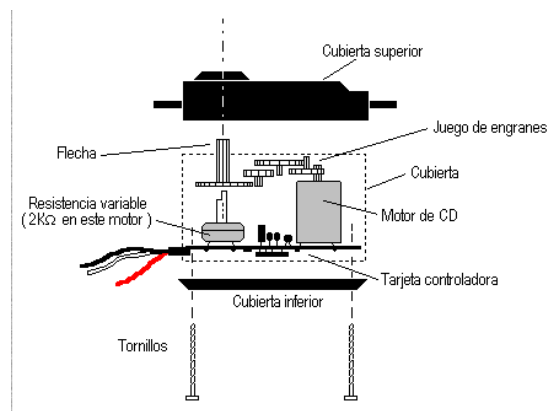


Figura 3.1 Partes de un servomotor

Los servomotores tienen tres terminales:

Terminal positivo: recibe la alimentación del motor entre 4 a 8 volts.

Terminal negativo: recibe tierra del motor 0 volts.

Entrada de señal: recibe la señal de control del motor.

Los colores del cable de cada terminal varían con cada fabricante el cable del terminal positivo siempre es rojo; el terminal de negativo puede ser marrón o negro; y el del terminal de entrada de señal suele ser de color blanco, naranja o amarillo.

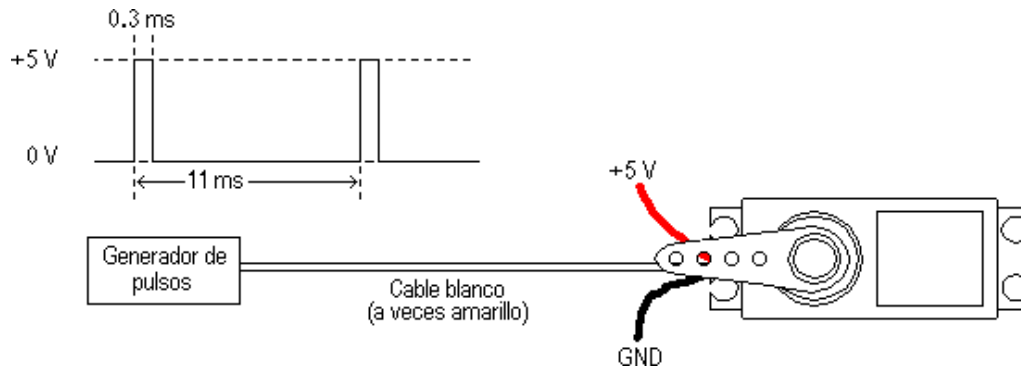


Figura 3.2 Colores de los cables

El eje está acoplado a una caja con engranajes parecida a una transmisión. El objetivo de esta es potenciar el torque del motor y lograr mantener una posición fija cuando sea necesario. Igual que sucede con los automóviles, mientras menor sea la velocidad, menor será el torque. El circuito eléctrico se encarga de controlar el movimiento y posición del motor.

El engranaje que se presenta en el servomotor hace que, al mover el eje del motor, se produzca una inercia superior a la que se da en un motor común y corriente. Por lo tanto, el servomotor no es simplemente un motor, sino más bien un conjunto de partes que forman un sistema y que incluye un motor.

3.3. Utilización del servomotor

El servomotor puede ser controlado en lo que a posición se refiere. En un rango de operación de unos 180°, es capaz de ubicarse en diferentes posiciones. También se modifica para lograr un giro libre que alcance los 360°. Los servomotores se utilizan comúnmente en automática, modelismo.

El motor empleado en un servo es de corriente continua o DC. Esta clase de motor funciona con un mecanismo que gira sin detenerse hasta que el suministro de corriente se detiene. Por sí solos los motores DC no se usan en robótica, pues en estas aplicaciones se necesita mantener posiciones fijas y movimientos precisos. En este caso se usan los servos o motor paso a paso que sí pueden mantener un movimiento controlado y ofrecen un torque o par de torsión mayor.

3.4. Funcionamiento

Un servomotor funciona a través de la modulación del ancho de pulso o PWM. Todos estos motores tienen tres cables, dos sirven de alimentación Vcc y Gnd. El tercero aplica al tren de pulsos de control, este hace que el circuito de control diferencial del interior coloque al servo en la posición requerida (Mecatronica, 2018).

La frecuencia utilizada para enviar la secuencia de pulsos al servomotor es de 50 Hz, lo que significa que cada ciclo tiene una duración de 20 milisegundos. Estas duraciones de cada pulso se interpretan como comandos de posicionamiento del motor, mientras que los espacios entre cada pulso se desprecian.

En general, un pulso entre 0.5 – 1.0 ms corresponde a 0°, un pulso de 1.5 ms corresponde a 90° y un pulso entre 2.0 – 2.5 ms corresponde a 180°.

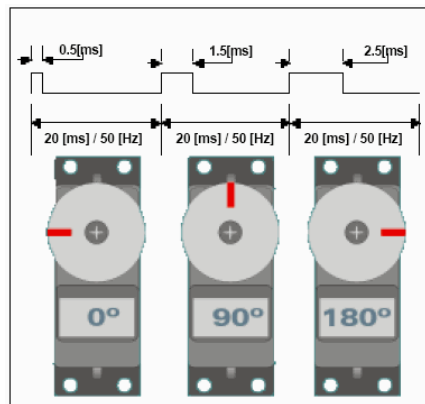


Figura 3.3 Numero de pulsos que genera el grado correspondiente

Debido a la variedad de marcas de servomotores existen pequeñas diferencias entre la duración de los ciclos, colores para identificar los cables entre otras, por ello en la Tabla de especifican algunas de las características técnicas de varias marcas en el mercado.

Tabla 3.1 Tabla del fabricante de la duración del pulso

Fabricante	Duración del pulso [ms]			Frec. [Hz]	Color de los cables		
	Mínima (0°)	Neutral (90°)	Máxima (180°)		Positivo	Negativo	Control
Futaba	0.9	1.5	2.1	50	Rojo	Negro	Blanco
Hitech	0.9	1.5	2.1	50	Rojo	Negro	Amarillo
Graupner/Jr	0.8	1.5	2.2	50	Rojo	Marrón	Naranja
Multiplex	1.05	1.6	2.15	40	Rojo	Negro	Amarillo
Robbe	0.65	1.3	1.95	50	Rojo	Negro	Blanco
Simprop	1.2	1.7	2.2	50	Rojo	Azul	Negro

3.5. Ventajas de los servomotores

Entre los principales beneficios de los servomotores encontramos:

Ahorro de tiempo en fase de elaboración de proyectos, pudiendo realizar modificaciones sin costes adicionales.

- a) Máxima precisión.
- b) Elevada torsión.
- c) Tamaño y coste de mantenimiento reducidos.
- d) Carga ligera.
- e) Curva de velocidad lineal, aspecto que reduce el esfuerzo computacional.

Uso de motores paso a paso y servomotores

A continuación, se detalla cuando o en qué situaciones es conveniente utilizar un motor paso a paso o un servomotor:

- A. En accionamientos para movimientos rápidos y controlados: aquí los servomotores ofrecen un par motor constante al aumentar la velocidad.
- B. En accionamientos continuos: es el caso de aplicaciones que requieren de largos periodos de trabajo donde se producen muchas paradas y arranques. Los motores paso a paso ofrecen una mayor precisión en estos ambientes de trabajo.
- C. En accionamientos precisos: en sectores como la automatización industrial y o la robótica necesitamos movimientos exactos. Para ello los servomotores se apoyan en un sistema PLC que determina los grados exactos del movimiento y su repetitividad (Reductores, s.f.).

3.6. Tipos de servomotores

3.6.1 Servomotores de corriente continua

Los más comunes y asequibles, pero no por ello los más utilizados en todos los campos. Su funcionamiento deriva de utilizar un motor de corriente continua de pequeño tamaño como se ilustra en la figura 3.4. Este servomotor se controla por modulación por ancho de pulso (PWM) (Maquiclick, s.f.).



Figura 3.4 Servomotor de corriente continua

Características

- a. Conserva la fuerza, velocidad y baja inercia que caracteriza a los motores de corriente continua.
- b. Tiene dos devanados independientes.
 - b.1 Devanado de campo colocado en el estator de la maquia.
 - b.2 Devanado de armadura colocado en el rotor de la máquina.
- c. Los devanados se conectan a fuentes independientes.
- d. Tiene escobillas y conmutador.
- e. El par del motor no es contante.
- f. Efecto de amortiguamiento integrado, lo cual le permite a velocidades altas una tendencia a un frenado automático.
- g. Requiere diariamente de mantenimiento.

Funcionamiento

La tensión del devanado armadura es V_a y del devanado de campo es V_f , la velocidad de estado estable puede ser controlada por cualquiera de los dos voltajes o dejando fijo a uno y modificando al otro por lo tanto se establecerá una relación que permitirá que el rotor se desplace a máxima velocidad o mínima velocidad.

3.6.2 Servomotores de corriente alterna

La pieza central, el motor, es de CA. Se les puede utilizar con corrientes más potentes y que su utilidad cambie por la de mover grandes fuerzas. Es esencialmente un motor de ca de fase dividida, con la diferencia que las barras conductoras son más delgadas en el rotor de jaula de ardilla (Maquiclick, s.f.).



Figura 3.5 Servomotor de corriente alterna

Características

- a. Los devanados son conocidos como devanado principal y de control.
- b. El devanado principal se llama devanados (fase) fijo, se conecta una fuente de corriente alterna fija, en algunas ocasiones se coloca un condensador en serie con el devanado y la fuente y con ello se logra mantener un desfase.
- c. En el devanado de control se coloca un voltaje que generalmente es tomado de un amplificador, el voltaje del amplificador es el voltaje de error, que depende de la distancia del objeto y de su posición deseada.
- d. Rotor de jaula de Ardilla, debido a sus barras conductoras tan delgadas hace que la relación par-velocidad del motor le permita que sea usado en aplicaciones de sistemas de seguimiento.
- e. No tiene escobilla lo cual hace que no requiere de mantenimiento continuo.
- f. No tiene aislamiento alrededor de los conductores de armadura.
- g. El diámetro del rotor es más pequeño. (comparado con el de corriente continua) lo cual reduce la inercia del motor.
- h. No puede funcionar con una sola fase.

Funcionamiento

La tensión del devanado fijo es V_s y del devanado de control es V_e , si la posición real y posición deseada es grande, V_e y V_c será grande y la corriente del devanado de control será grande, esto ocasiona que el servomotor funcione a alta velocidad. A medida que disminuya la diferencia entre la posición real y la posición deseada el V_e disminuye, por lo tanto, V_c disminuye reduciendo el voltaje del devanado de control haciendo que el motor funcione a menor velocidad. Cuando $V_e = V_c = 0$ el servo se detiene alcanzando el punto del objeto.

3.6.3 Servomotor Brushless (AC)

Como lo dice Esencialmente un motor brushless a imán permanente es una maquina síncrona con la frecuencia de alimentación, capaz de desarrollar altos torques hasta 3 a 4 veces su torque nominal, en forma transitoria para oponerse a todo esfuerzo que trate de sacarla de sincronismo. La denominación brushless deviene del hecho de que no posee escobillas y es una forma de diferenciarlo de sus predecesores los servomotores a imán permanente alimentados con corriente continua. Como se ilustra en la figura 3.6, Servomotor Brushless (AC) (Emerson, 2011).



Figura 3.6 Servomotor Brushless (AC)

En comparación con motores asíncronos a jaula de ardilla la inercia de un servomotor brushless es sustancialmente menor. Ambas características: sobre torques importantes e inercias reducidas son características apreciadas y útiles para el control del movimiento

pues permiten rápidas aceleraciones y deceleraciones, así como control preciso de posición en altas velocidades.

Los servomotores más utilizados en la industria actualmente, son los motores de corriente alterna sin escobillas tipo Brushless. Básicamente están formados por un estator segmentado en el que el espacio relleno de cobre es casi el doble que, en los motores tradicionales, esto permite desarrollar una mayor potencia con un menor volumen.

Constructivamente el servomotor brushless posee un estator parecido al de un motor de jaula, con un núcleo laminado y un bobinado trifásico uniformemente distribuido.

El rotor está constituido por un grupo de imanes permanentes fijados en el eje de rotación. La forma de los rotores a imanes varía de acuerdo al diseño y puede clasificarse en cilindros o de polos salientes.

La fijación de los imanes al rotor ha sido uno de los puntos críticos en la construcción de estos motores debido a las altas fuerzas centrífugas a las que se encuentran sometidos durante los procesos de aceleración y frenado. Actualmente se combinan fijaciones mecánicas de diferentes tipos.

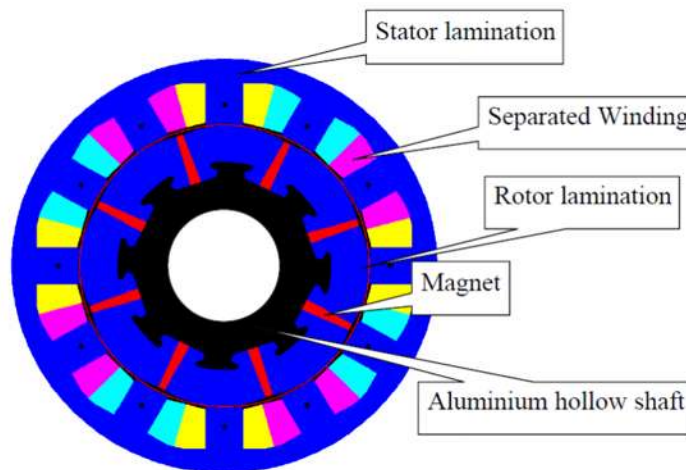


Figura 3.7 Parte interna de Brushless

Para compensar la mayor cantidad de hilo en las ranuras y su mayor generación de calor, el espacio libre del bobinado se rellena con resina conductora de calor.

El rotor incorpora una serie de imanes permanentes construidos con Nedimio – Hierro – Boro que proporcionan mayor densidad de flujo, para mejor rendimiento y obtención de mejor par en menor tamaño.

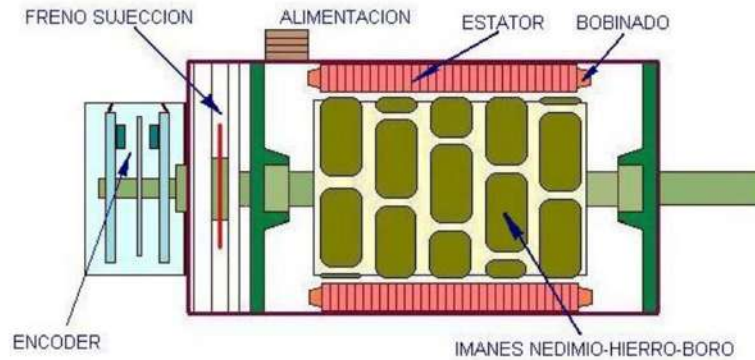


Figura 3.8 Constitución básica de un motor Brushless

El tiempo de posicionamiento se reduce gracias a la reducción de la inercia del rotor lo que permite alcanzar altas velocidades en tiempos reducidos y, por otra parte, la posibilidad de hacer girar un motor con una velocidad nominal de 3000 rpm a una velocidad de rotación máxima de 4500 rpm.

Características

- a. Prestaciones y par elevado
- b. Fiabilidad de funcionamiento
- c. Bajo mantenimiento
- d. Gran exactitud en el control de velocidad y posición
- e. Capacidad de velocidades muy altas
- f. Perdidas en el rotor muy bajas
- g. Rotor con poca inercia
- h. Construcción cerrada, útil para trabajar en ambientes sucios
- i. Amplia gama de potencias de 100 w a 300 Kw

Las principales ventajas del motor Brushless vienen dadas por las posibilidades que ofrece de controlar su velocidad y posicionamiento, incluyendo unas respuestas muy rápidas a las señales de arranque, paro y variaciones sobre la marcha.

La posibilidad de construcción de servomotores de distintas formas (compactos, planos, rotor hueco, etc.) permite la adaptación de los mismos a diversas aplicaciones industriales.

Los servomotores de estructura compacta, incorporan dentro de la misma un encoder absoluto el cual suministra información del estado del proceso al controlador (servodriver). Los que trabajan en posición vertical, incorporan un freno mecánico el cual bloquea el eje en caso de falta de tensión para así evitar posibles caídas de piezas en caso de avería.



Figura 3.9 Servomotor compacto



Figura 3.10 Servomotor con encoder



Figura 3.11 Servomotor extraplano

En el interior del servomotor se incluye un elemento para el control del mismo, es un captor angular de posición que suele ser un resolver o bien, el aparato más utilizado en la actualidad, el encoder. Puede ser incrementado o absoluto. El encoder está formado por un circuito electrónico, en el que un diodo laser emite un haz de luz, el cual es interrumpido por las ranuras de una lámina metálica, dando lugar a una señal intermitente cuenta el número de ranuras. Dentro de un mismo encoder puede haber varios diodos laser que dan lugar a combinaciones de 0/1 y se puede utilizar código por revolución. Cada señal, mediante el cable conector correspondiente, llega al elemento de control para su procesamiento.



Figura 3.13 Encoder incremental



Figura 3.12 Detalle de la lámina perforada

Transmisión de movimiento

Un motor Brushless se puede utilizar para transmisión de movimiento lineal (aplicaciones de posicionamiento) o rotativo (aplicaciones de control de caudal). La mayor aplicación en la industria de máquina herramienta y de montaje es como transmisor de movimiento lineal.

3.7. Servomotor Sg90

En esta implementación de control se utiliza este modelo de servomotor es el Micro servo Tower Pro Sg90 9g. Es un servo miniatura de reducidas dimensiones, bajo consumo, económico. Las características son ideales para prácticas educativas de electrónica y robótica (Herrero, 2021).

Es ideal para las primeras experiencias de aprendizaje y prácticas con servo, ya que sus requerimientos de energía son bastantes bajos y se permite alimentarlo con la misma fuente de alimentación que el circuito de control, es decir, si se conecta con un Arduino, se puede alimentar durante las primeras pruebas desde el puerto USB del pc o Laptop sin problema (Bolaños, 2018).



Figura 3.14 Micro Servo Sg90

Se recomienda alimentar el Arduino con una fuente de alimentación externa de más de 700 mA para evitar problemas de corriente.

Estos motores funcionan con una señal PWM, con un pulso de trabajo entre 1 ms y 2 ms y con un periodo de 20 ms (50 Hz), este dato nos indica la velocidad máxima a la que podemos mover el servomotor con Arduino (Hernandez, 2002).

Tabla 3.2 Información del Micro servo Sg90

Características del Micro servo Sg90	
Voltaje de operación	4.8 (~5 V)
Velocidad de Operacion	0.1 s/60°
Consumo de corriente	550 mA
Torque detenido	1.8 kgf.cm
Banda muerta	10 μ s
Capacidad de rotación	180° aprox. (90° en cada dirección)
Peso ligero	9 g
Dimensiones	Largo 22.2 mm Ancho 11.8 mm Alto 31 mm
Largo del cable	25 cm
Plástica de nylon	
Incluye 3 brazos o cuernos y su tornillo de sujeción, 2 tornillos para montaje	

3.8. Arduino

Es una plataforma de código abierto de prototipos electrónicos que se basa en hardware y software flexibles y fáciles de usar que ponen al alcance de cualquier persona la construcción de circuitos electrónicos/ robots (Muñoz, 2019).

El proyecto inicio en el año 2005 inventado por el entonces estudiante del instituto IVRAE en ivrea Italia, *Massimo Banzì*, quien en un principio pensaba en hacer Arduino por una necesidad de aprendizaje para los estudiantes de computación y electrónica del mismo instituto, ya que en ese entonces, adquirir una placa de microcontroladores era bastante caro, cuyo costo era de 100 dólares, el nombre del proyecto viene del nombre del Bar di Re Arduino (Bar del Rey Arduino) (Zambetti, n.d.).

En la figura 3.15, se describe las partes del Arduino uno por el cual está constituido.

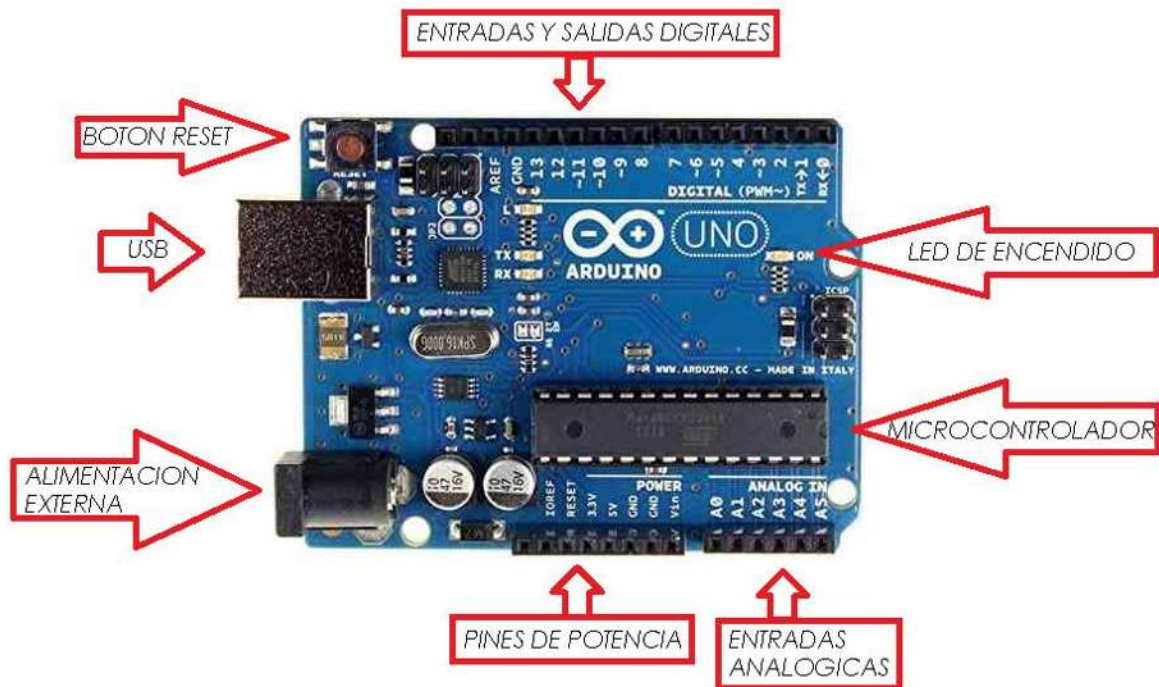


Figura 3.15 Placa Arduino

3.9. Hardware

El hardware libre son los dispositivos cuyas especificaciones y diagramas son de acceso público, de manera que cualquiera puede replicarlos. Esto quiere decir que Arduino ofrece las bases para que cualquier otra persona o empresa pueda crear sus propias placas.

Arduino es una placa basada en un microcontrolador ATMEGA. Los microcontroladores son circuitos integrados en los que se pueden grabar instrucciones, las cuales las escribes con el lenguaje de programación que puedes utilizar en el entorno Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado). Estas instrucciones permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la placa.

El microcontrolador de Arduino posee lo que se llama una interfaz de entrada, que es una conexión en la que podemos conectar en la placa diferentes tipos de periféricos, el tipo de periféricos que puedes utilizar para enviar datos al microcontrolador depende en gran medida de que uso le estén pensando dar. Pueden ser cámaras para obtener imágenes, teclados para introducir dato o diferentes tipos de sensores.

También cuenta con una interfaz de salida que es la que se encarga de llevar la información que se ha procesado en el Arduino a otros periféricos. Estos periféricos pueden ser pantallas o altavoces en los que reproducir los datos procesados, pero también pueden ser otras placas o controladores (Fernandez, 2020).

Además, Arduino cuenta con la ventaja de tener entre sus elementos principales puertos seriales de entrada/salida, lo que le permite conectarse por medio de un cable USB a una computadora para poder trabajar con ella desde el nivel software, ya que es dónde se le darán las “órdenes” que ejecutarán cada uno de los componentes conectados a la placa, e incluso para operar como un dispositivo más. Para su operación, Arduino necesita de una fuente de alimentación externa por lo que también se encuentra incorporada una entrada para dicha fuente externa (Rodriguez, Septiembre 2018),.

Las características generales de todas las placas Arduino son las siguientes:

- ♦ Microprocesador Atmega328.
- ♦ 32kbytes de memoria Flash.
- ♦ 1kbyte de memoria RAM.
- ♦ 16 MHz.
- ♦ 13 pines para entradas/salidas digitales (programables).
- ♦ 6 pines para entradas analógicas.
- ♦ 6 pines para salidas analógicas (salidas PWM).
- ♦ 14 pines digitales de entrada/salida.
- ♦ Corriente de salida de los pines de 40mA.

3.10. Software

Arduino, no solo son componentes eléctricos ni una placa de circuitos, también es una plataforma que combina esto con un lenguaje de programación que sirve para controlar los distintos sensores que se encuentran conectados a la placa, por medios de instrucciones y parámetros que nosotros establecemos al conectar la placa a un ordenador.

Este lenguaje que opera dentro de Arduino se llama `wiring`, basado en la plataforma `processing` y primordialmente en el lenguaje de programación `c/c++`, que se ha vuelto popular a tal grado de ser el más preferido para enseñar programación a alumnos de nivel superior que estudian computación y robótica, gracias que es muy fácil de aprender y brinda soporte.

Para poder trabajar desde el nivel programación del procesador debe descargarse el software que incluye las librerías necesarias para utilizar el lenguaje de manera completa. Al ser una herramienta que incorpora un tanto manejo de hardware y software es decir circuitos eléctricos y lenguaje de programación, se requiere un nivel de conocimiento básico en estas dos ramas para operarla (Arduino: Tecnología para todos, 2020).

3.11. Ventajas

Arduino ofrece ventajas como:

- a) **Económico:** Las placas Arduino son relativamente baratas comparadas con otras plataformas con microcontroladores.
- b) **Multiplataforma:** El software de Arduino se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux. La mayoría de los sistemas con microcontroladores están limitados a Windows.
- c) **Entorno de Programación simple:** El entorno de programación de Arduino es fácil de usar para principiantes, pero suficientemente flexible para que usuarios avanzados puedan aprovecharlo también.
- d) **Código Abierto y Software Extensible:** El software de Arduino está publicado como herramientas de código abierto, disponible para extensión por programadores experimentados. El lenguaje puede ser expandido mediante librerías C++, y la gente que quiera entender los detalles técnicos pueden hacer el salto desde Arduino a la programación en lenguaje AVR-C, en el cual está basado. De forma similar, se puede añadir código AVR-C directamente en los programas Arduino si se requiere.
- e) **Hardware Extensible:** Arduino está basado en microcontroladores Atmega8 y Atmega168 de Atmel. Los planos para los módulos están publicados bajo licencia Creative Commons, por lo que los diseñadores experimentados de circuitos pueden hacer su propia versión del módulo, extendiéndolo y mejorándolo. (Rodríguez, Septiembre 2018)

3.12. Pantalla LCD

Una pantalla de LCD por sus siglas en inglés (liquid crystal display: pantalla de cristal líquido). Es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. Utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.

Estas pantallas se componen de miles de pequeños cristales líquidos, que no son sólidos ni líquidos en realidad, sino un estado intermedio (Ecured, 2020).

La primera pantalla de LCD fue producida en Estados Unidos en el año 1972 a cargo de Peter T. Brody. En una pantalla de este tipo, cada píxel está formado por una capa de moléculas ubicadas entre dos electrodos y dos filtros de polarización. El cristal líquido permite que la luz pase de una polarización al otro.

El LCD se utiliza principalmente en monitores de computación de escritorio o portátiles, móviles, GPS, pantallas o displays de artefactos electrodomésticos o pequeños dispositivos que requieren un bajo consumo de energía (Bembibre, 2008).

En esta implementación del control se utilizó una pantalla básica de 16x2, es decir 16 caracteres por dos líneas como se muestra en la figura siguiente.



Figura 3.16 Pantalla LCD de 16x2 caracteres

3.13. Teclado matricial

Un teclado matricial es un dispositivo que agrupa varios pulsadores y permite controlarlos empleando un número de conductores inferior al que necesitaríamos al usarlos de forma individual. En este caso para un procesador como Arduino.

Estos dispositivos agrupan los pulsadores en filas y columnas formando una matriz, disposición que da lugar a su nombre. Es frecuente una disposición rectangular pura de NxM columnas en la figura 3.21, se muestra el teclado matricial 4x4, que se utiliza para esta implementación.

Los teclados matriciales son frecuentes en electrónica e informática. De hecho, los teclados de ordenador normales son teclados matriciales, siendo un buen ejemplo de teclado matricial con disposición no rectangular.



Figura 3.17 Teclado matricial 4x4

El metodo que proponemos permite conectar a nuestro microcontrolador PIC 16 teclas usando solamente 8 pines, en la figura 3.22, se muestra el número de pines del teclado (Llamas, 2016).



Figura 3.18 Numero de pines del teclado

El principio de funcionamiento es sencillo, el programa configura el puerto B del microcontrolador de la siguiente forma: RB4 a RB7, funcionan como salidas y la otra mitad de RB0 a RB3 como entradas. Las filas del teclado se conectan a los bits más significativos que funcionan como salidas, mientras que las columnas se conectan a los bits menos significativos del puerto que funcionan como entradas con resistencias pull-down. Cualquier tecla que se oprima en una columna causara que una de los bits menos significativos del puerto (RB0 – RB3) cambie de un estado lógico bajo a un estado alto. En la siguiente figura 3.23 se muestra las conexiones del teclado al puerto B del microcontrolador.

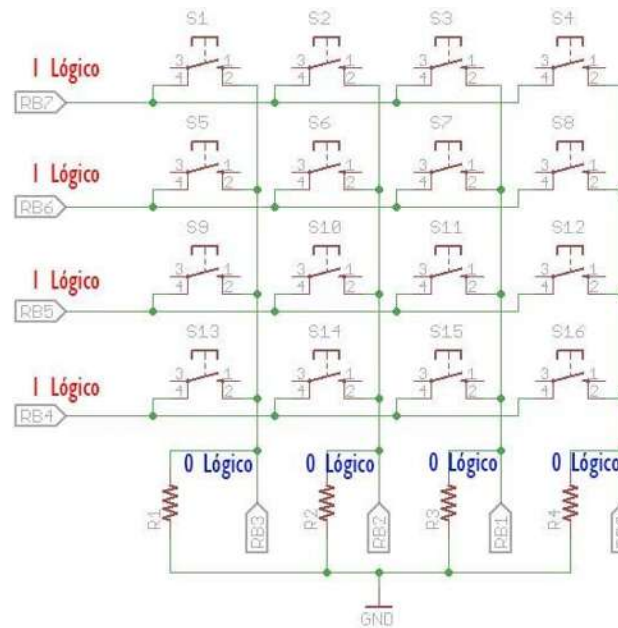


Figura 3.19 Teclado matricial interno sin teclas oprimidas.

Que pasa cuando se oprime una tecla en un teclado matricial, la corriente puede fluir a través en un teclado matricial, la corriente puede fluir a través de switch y el voltaje de los pines conectados a las filas del teclado a 5 volt o en nivel alto. Al oprimir el botón 6 provocamos un cambio en el PIN RB2 que ahora recibe un 1 o estado alto.

Sabemos entonces que se ha pulsado un botón en la segunda columna y se muestra con un nivel lógico alto aparece en los bits menos significativos. En la siguiente figura se muestra cuando se presiona una tecla.

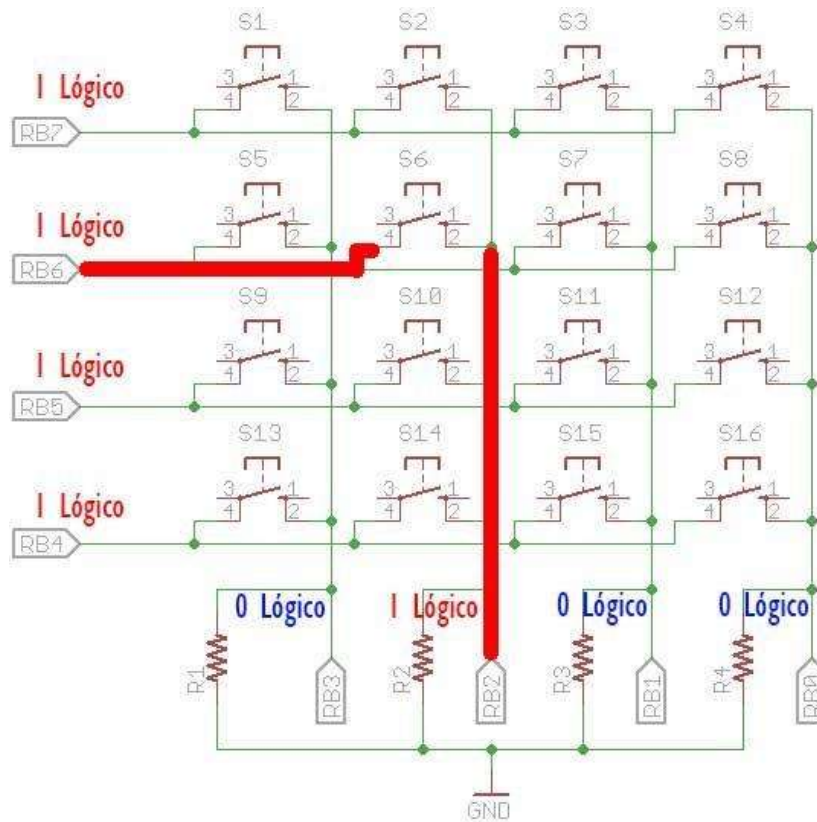


Figura 3.20 Tecla numero 6 presionada.

De esta manera el microcontrolador sabe que se ha oprimido una tecla al detectar un cambio de nivel en los bits menos significativos. Hasta el momento se sabe que se ha oprimido una tecla en alguna columna dependiendo del bit activo RB3 a RB0. No sabemos en cual fila. Para resolverlo hay realizar un proceso de escaneo del teclado. En este proceso colocaremos en secuencia un 1 lógico (estado alto) en los 4 bits más significativos del puerto y leeremos el estado de los 4 bits menos significativos. En la figura 3.25 se muestra el proceso de escaneo (Ruben, 2013).

ESTADO ALTO EN RB6 Y LEER RB0-RB3 DETECTA QUE S6 ESTA CERRADO

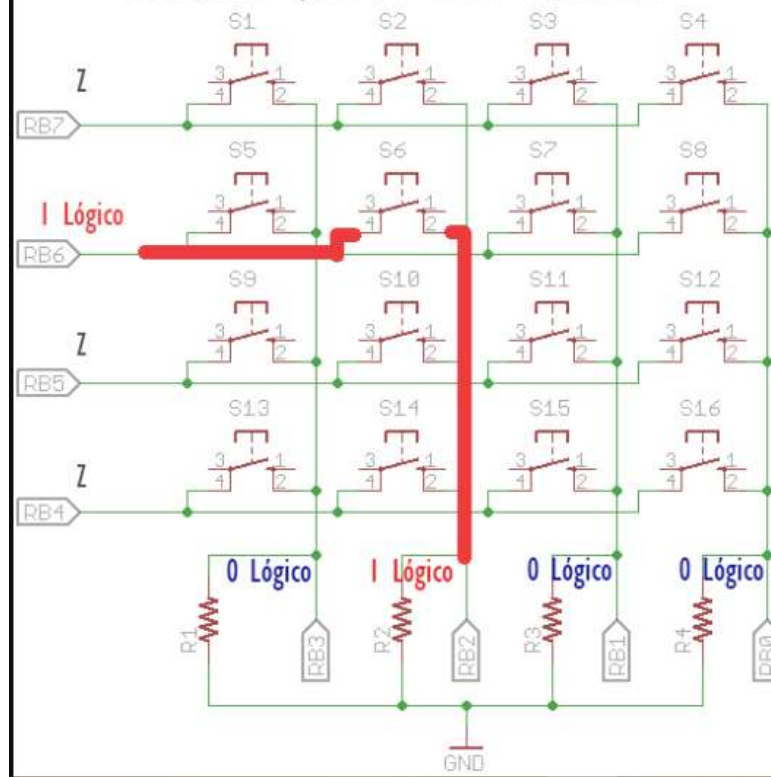


Figura 3.21 Bit detectado en la fila en alto

Capítulo 4 Implementación de un Control de Espejos Retrovisores

4.1. Introducción

En los capítulos previos, se realizó la investigación teórica desde los tipos de sistemas antiguos hasta modernos, además estudio de los tipos de actuadores que utilizare en el siguiente control. El software de Arduino se puede manipular a lo que necesitemos, la programación es similar a la programación en C, donde la programación nos impartieron en la Universidad en la materia de programación de computadoras.

En este capítulo se explica los elementos electrónicos su funcionamiento en el control, se ensamblarán dichos elementos, ya que el voltaje que provee la placa Arduino no es suficiente para alimentar los dos servomotores, aparte de los componentes de la pantalla LCD, y el teclado matricial. En este caso se alimentará con una fuente externa. Se realizará el análisis de cada entrada para una buena estructura.

En la siguiente tabla se muestra el material a utilizar.

Tabla 4.1 Lista de componentes electrónicos

ELEMENTOS
Arduino
Teclado Matricial 4x4
Pantalla LCD 16x2
Micro Servo Tower Pro SG90
Tornillos M3
Pijas
Pegamento
Madera MDF
Cables de Conexión

4.2. Implementación Arduino UNO

Arduino UNO es una placa de varias placas que maneja Arduino, gracias a él se pueden conseguir resultados de forma rápida y sencilla poniendo al alcance de todo el mundo, la realización de proyectos de robótica mediante la utilización de prototipos.

La placa se puede ensamblar a mano o se pueden comprar directamente pre-ensambladas. Cada una de las placas lleva un microcontrolador en el que se encarga el programa software que es necesario para desarrollar y darle vida a dicha placa. En la figura 4.1, se muestra la placa Arduino UNO y describiremos en lo siguiente.



Figura 4.1 Placa Arduino UNO

Arduino UNO consta de:

Pines digitales

los pines son las conexiones entradas/salidas digitales de los dispositivos conectados, cuenta de 14 pines. 6 pueden se utilizan como salidas PWM. Y 6 pines pueden ser utilizadas como entradas analógicas que tienen el símbolo “~”

Una señal digital solo puede tener dos estados:

- A. 0 (LOW, bajo, false): Indica 0 volts de tensión enviados desde la placa.
- B. 1 (HIGH, alto, true): Indica 5 volts de tensión enviados desde la placa.

Tener en cuenta que los 5 V, no siempre son 5 V. ni los 0 siempre son 0.

Pines analógicos

Pueden medir un rango de valores de voltaje, a diferencia de los pines digitales. Los analógicos pueden leer valores intermedios entre 0V y 5v.

Pines de alimentación

Permiten alimentar componentes externos concretamente uno con 5 volts y otro con 3.3 volts.

Microcontrolador de comunicaciones

Se encarga de gestionar las comunicaciones con todo lo que se conecta a la placa.

Microcontrolador de Programación

Este componente es el cerebro de la misma es donde la placa almacena el programa que tiene que ejecutar y el que lo ejecuta.

Se programa utilizando el IDE (Entorno, de Desarrollo Integrado) y es gratuito.

Botón Reset.

El botón permite reiniciar el programa que se ha cargado en el microcontrolador interrumpiendo la ejecución actual, no borra el programa solo lo reinicia.

Puerto USB

Es el puerto mediante el cual nos comunicamos con la placa de Arduino y su función es:

- a) Alimentación
- b) Cargar los programas en el microcontrolador
- c) Envía información desde la placa al ordenador

Conector de alimentación

Arduino dispone de un puerto de alimentación externo que nos permita hacer funcionar la placa sin utilizar el ordenador. Esta se recomienda alimentar entre 7 V y 12 V.

Cristal de 16 Mhz.

4.2.1. Conexión Pantalla LCD

La pantalla LCD que se utiliza para esta implementación consta de 16 pines de los cuales solo se utilizan 12. De los 12 pines 6 se conectan directamente a la placa Arduino UNO, tres se conectan a tierra, una a 5 V, una terminal a la resistencia de 220 Ω y la última terminal se conecta al pin central del potenciómetro. En la figura 4.2, se muestra la Conexión de la pantalla LCD con el Arduino UNO.

Las conexiones de los pines de la placa con la pantalla se realizan al momento de la programación indicando las terminales conectadas. La resistencia de 220 Ω se utiliza para la protección para el LED que brinda la luz a la pantalla LCD. El potenciómetro su función es para modificar el contraste.

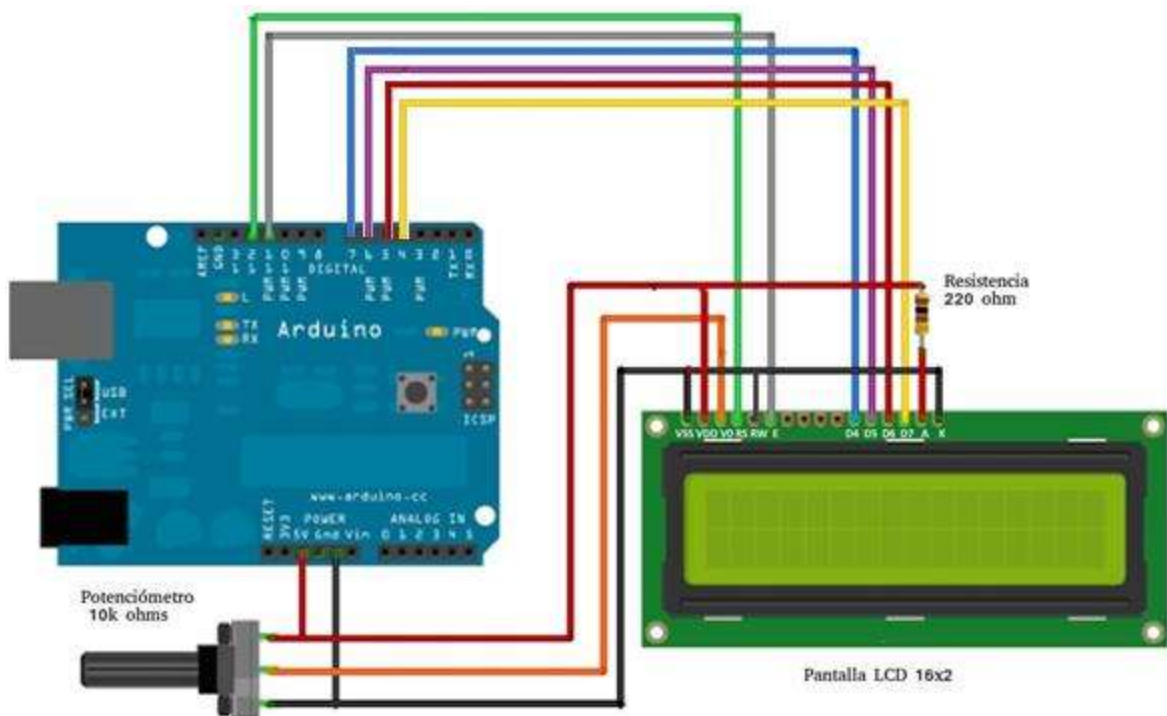


Figura 4.2 Conexión de la pantalla LCD con el Arduino UNO

4.2.2. Conexión Teclado Matricial 4X4

En la implementación se utiliza un teclado mencionado arriba de 16 teclas, donde 10 teclas son numéricas del “0 al 9”, contiene además 4 teclas de función de “F1” a “F4”, y dos teclas de caracteres “START” y la de “STOP”.

Función de las teclas es la siguiente:

- I. Las teclas numéricas se utilizan para digitar los ángulos que requerimos para girar el servomotor.
- II. La tecla “START” se le asigno dos funciones la primera es para dar inicio el programa, es decir realizar la actividad de la implementación. Y la segunda es para aceptar el ángulo cuando ya se haya ingreso.
- III. La tecla “STOP” también se le asigno dos funciones la primera es para realizar un cambio de movimiento es decir si se encuentra girando el movimiento tipo horizontal al presionar STOP nos envía al menú para comenzar con movimiento vertical. Y la segunda opción es para salir del programa.
- IV. La tecla “F1” su función es acceder al movimiento horizontal que puede decirse al servomotor 1.
- V. La tecla “F2” esta realiza entrar al movimiento vertical es decir al servomotor 2.
- VI. Las teclas “F3 y F4” no realizan ninguna función.

En la figura 4.3 se observa cómo se encuentra la conexión del teclado matricial y la distribución de los pines que se conectan se realiza en el programa de Arduino.

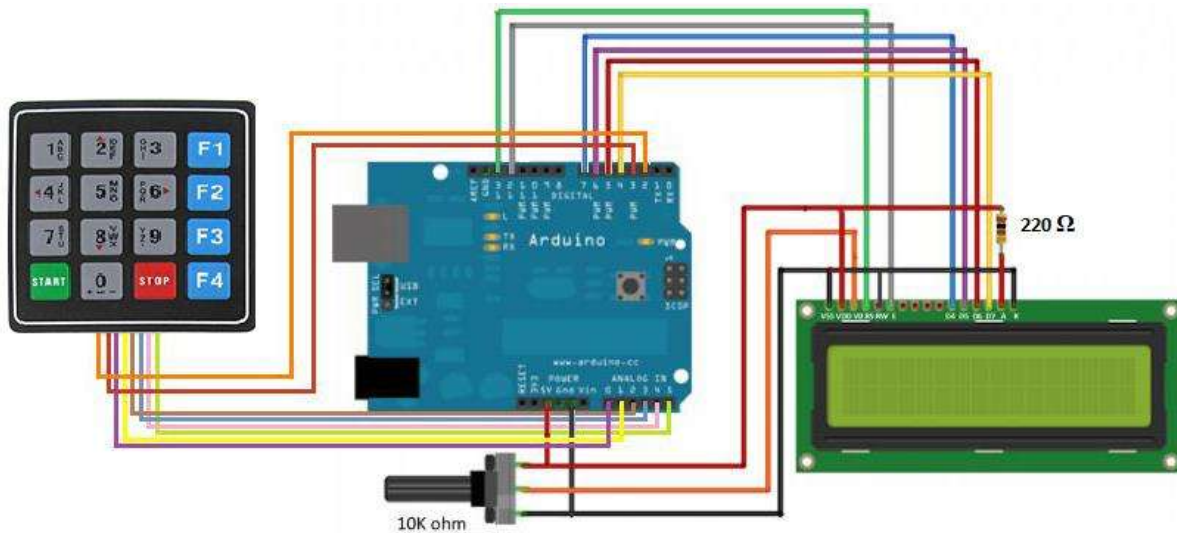


Figura 4.3 Conexión del teclado matricial con Arduino y la pantalla LCD

4.2.3. Conexión Micro Servo SG90

En este apartado se describe la alimentación de los Micro servos y su conexión.

Arduino UNO proporciona 5 Volts, pero en este caso se utiliza varios componentes en el prototipo, entonces no es suficiente energía para alimentar los servos. Para este caso solo se conecta a la placa que proporciona la señal de control y en los pines para la conexión se menciona en el programa, para alimentar los servomotores se utiliza una fuente externa que se menciona en el apartado 4.2.5 Fuente externa.

En la figura 4.4, se muestra la Conexión de los dos Micro Servos SG90 con la placa Arduino, el teclado matricial y la pantalla LCD para el Control de Espejos Retrovisores.

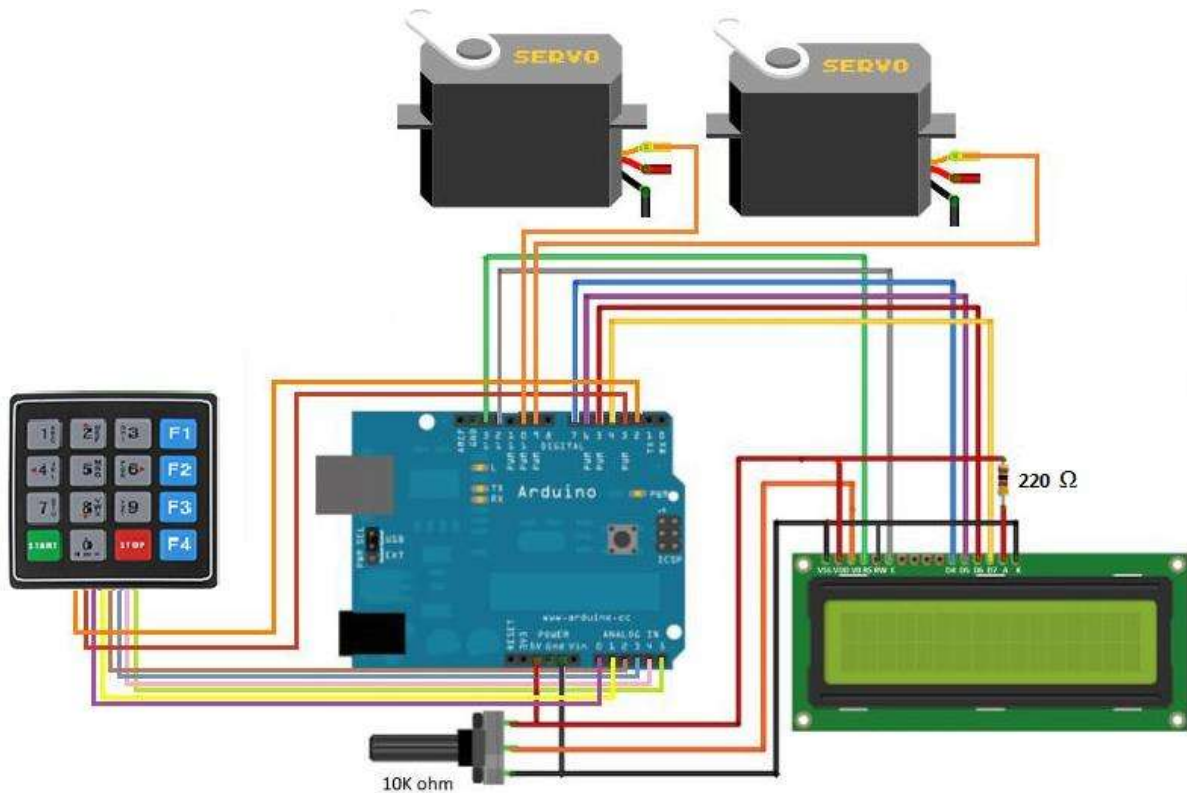


Figura 4.4 Conexión de los dos Micro Servos SG90 con la placa Arduino, el teclado matricial y la pantalla LCD

4.2.4. Computadora

Es una maquina electrónica que recibe, procesa y devuelve datos, se compone de 2 subsistemas Software y Hardware. Su función de este equipo es esencial aquí es donde se desarrolla la programación es decir donde se crea el programa. El programa se construye en el entorno IDE (Entorno de Desarrollo Integrado).

Una función que realiza la computadora es alimentar 5 Volts mediante el cable USB, que conecta a la placa.

Existen dos formas diferentes de utilizar el entorno de desarrollo, la primera puede utilizarse en un navegador web, y el segundo instalarlo en tu ordenador, puede ser utilizado en el sistema operativo que ocupes como MacOS, Windows, y Linux. En la figura 4.5, se observa el tipo de conexión que se realiza con Arduino.

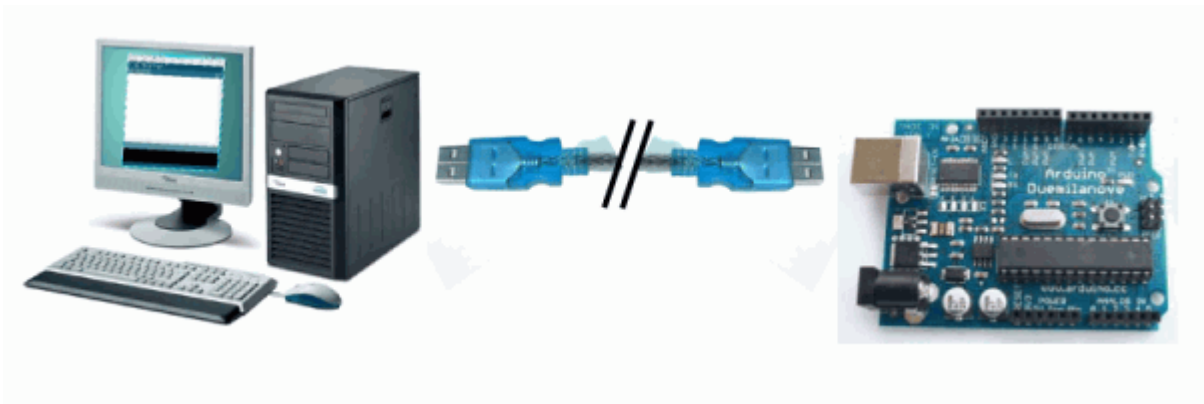


Figura 4.5 Conexión de la computadora con la placa Arduino UNO

4.2.5. Fuente externa

Debido a la placa que no alimenta lo suficiente a todos los elementos es necesario la fuente externa, como se mostró en el esquema de conexión con los servomotores se conectan la fase y neutro independiente. Su voltaje de operación del Micro servo es de 4.8 V a 5 V con un consumo de 0.5 amperios.

La fuente alimenta de 4.5 V a 5 V con una corriente de 0.5 Amperios. Para esta implementación se utiliza una fuente para ambos servos. En la figura siguiente se muestra el tipo de fuente que se utiliza.



Figura 4.6 Fuente externa de 5 Volts

4.3. Programación Arduino UNO

La programación de Arduino es la programación de un microcontrolador. Consiste en traducir a líneas de código las tareas automatizadas que queremos hacer leyendo de los sensores y en función de las condiciones del entorno programar la interacción mediante unos actuadores.

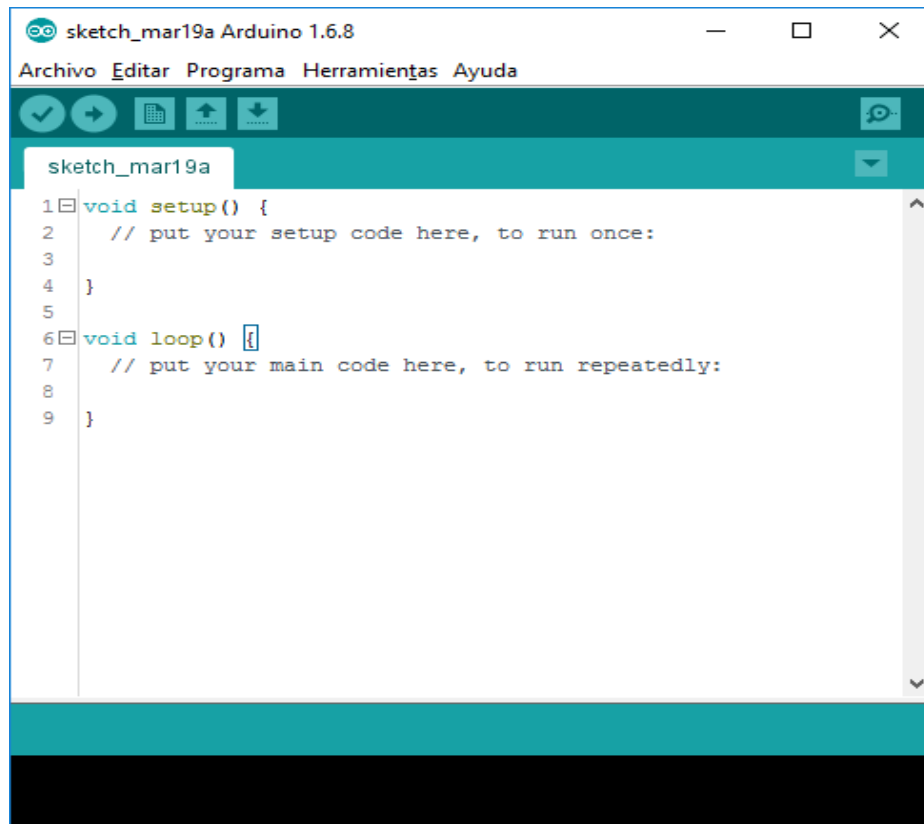
Arduino proporciona un entorno de programación sencillo y potente para programar, pero además incluye las herramientas necesarias para compilar el programa. El IDE nos ofrece un sistema de gestión de librerías. IDE es un software sencillo y suficiente para programar.

Estructura de un Sketch

Un programa de Arduino se denomina Sketch o proyecto. La estructura básica de un Sketch es simple se compone de al menos dos elementos estos son obligatorios y encierran bloques que contienen declaraciones e instrucciones (Crespo, 2019).

La pantalla principal está compuesta por:

- a. **Menú principal** esta parte contiene todas las funciones y herramientas de la que está compuesta el entorno IDE. Permite el acceso y configuración de elementos ajenos.
- b. **Barra de acceso rápido:** está constituida en el menú la operación “Verificar” donde permite comprobar el código que este correcto, “subir” su función es cargar el código o copiar a la placa Arduino UNO. También “Nuevo” para crear un nuevo proyecto. “Abrir” permite buscar un proyecto en nuestro ordenador y abrirlo. “Salvar” guarda el proyecto.” Monitor serie” es una consola para intercambiar mensajes entre la placa y el ordenador en este caso no se utilizará porque utilizaremos la pantalla LCD.

The image shows the main window of the Arduino IDE. The title bar reads "sketch_mar19a Arduino 1.6.8". Below the title bar is a menu bar with "Archivo", "Editar", "Programa", "Herramientas", and "Ayuda". A toolbar with icons for check, run, upload, download, and help is located below the menu bar. The main editor area shows a sketch named "sketch_mar19a" with the following code:

```
1 void setup() {  
2   // put your setup code here, to run once:  
3  
4 }  
5  
6 void loop() {  
7   // put your main code here, to run repeatedly:  
8  
9 }
```

Figura 4.7 Pantalla principal del IDE donde se muestra la estructura del programa

En la primera sección **setup()**, es donde se define la configuración del programa, es donde se codifican todas las sentencias, inicialización de los puertos de la placa y otros parámetros que dependerán de cada programa que se desarrolle, esta parte solo se ejecuta una sola vez.

En la segunda sección **loop()**, es donde se codifica el programa que se ejecutara de forma cíclica en Arduino, está compuesta por todas las sentencias que compone el programa donde ejecuta cada actividad de los elementos que está compuesta la implementación.

4.4. Programación del Control de Espejos Retrovisores

En este subtema se describe cada desarrollo de la estructura del programa y su funcionamiento.

4.4.1. Encabezado

En este apartado es donde inicia el programa, se comienza con las librerías con las que se trabaja y las que tiene Arduino agregadas. En este caso la librería de la pantalla LCD, “**LiquidCrystal.h**”, la librería del teclado matricial “**Keypad.h**”, y por último la del servomotor “**servo.h**”.

```
//-----INICIA PROGRAMA-----  
//LIBRERIAS  
#include <LiquidCrystal.h>  
#include <Keypad.h>  
#include <Servo.h>
```

En lo siguiente se declara las variables de los servomotores es decir asignarle un nombre diferente para cada uno.

```
//SERVOMOTORES:  
Servo servomotor1;  
Servo servomotor2;
```

Se diseña un carácter personalizado para agregar el símbolo de grados en este caso lo llamamos circulo “°”.

```
//DEFINICION DEL NUEVO CARACTER  
byte circulo[8] = { B01111, B01001, B01001, B01111, B00000, B00000, B00000, B00000 };
```

Después se distribuye las conexiones de los pines de la placa Arduino UNO con la pantalla LCD.

```
//PANTALLA LCD:
LiquidCrystal lcd(13, 12, 7, 6, 5, 4); //PIN LCD(RS,E,D4,D5,D6,D7)
/*CONEXIÓN LCD POR PINES:
1---GND
2---5V
3---POTENCIOMETRO
5---GND
15--5V
16--GND */
```

Para este caso el teclado matricial es diferente con el que se va utilizar solo lo configuramos a nuestra necesidad, indicando el número de filas y números de columnas. Para el programa configuramos un teclado con teclas **A, B, C y D**, ya que en este apartado no se pueden agregar dos dígitos con **FX**, solo se permite un dígito. Entonces decimos **F1=A, F2=B, F3=C, F4=D, E=START y S=STOP**. Esto se realizó para poder trabajar con el teclado físico que describimos anterior.

```
//TECLADO MATRICIAL:
const byte filas = 4;
const byte columnas = 4;
char teclas[filas][columnas] ={

    {'1', '2', '3', 'A'}, // A = F1
    {'4', '5', '6', 'B'}, // B = F2
    {'7', '8', '9', 'C'}, // C = F3
    {'E', '0', 'S', 'D'} // D = F3
}; // E = START, Y S = STOP

byte pinsFilas[filas] = {3, 2, A0, A1};
byte pinsColumnas[columnas] = {A2, A3, A4, A5};
Keypad teclado = Keypad( makeKeymap(teclas), pinsFilas, pinsColumnas, filas, columnas);
```

4.4.2. Función Setup ()

Como se mencionó en el apartado 4.3 es donde se inicializan los puertos de la placa y solo se ejecutan una vez. Utilizando la función `lcd.begin(16,2)`, para inicializar la lcd 16X2, con el mismo nombre con el que fue creado. Inicializamos el carácter personalizado llamado círculo para mostrar el signo del ángulo, asignamos pines para cada motor y girarlos a 0° estos van conectados en pines PWM, por la señal que utilizaran los servomotores.

```
//*****Funcion Setup*****  
void setup() {  
  lcd.begin(16,2);  
  lcd.createChar(1,circulo); //registro el nuevo caracter  
  //Asignar pin a los servomotor  
  servomotor1.attach(9);  
  servomotor1.write(0);  
  servomotor2.attach(10);  
  servomotor2.write(0);  
}
```

4.4.3. Función Loop ()

El programa se ejecutará de forma cíclica el control en Arduino UNO, realizará cada actividad de todos los elementos. Cuando se compila en la computadora para empezar con el programa.

```
//*****Funcion Loop para realizar el control*****  
void loop() {  
  char tecla_pulsada = teclado.getKey();  
  
  lcd.setCursor(5,0);lcd.print("WELCOME ");  
  lcd.setCursor(2,1);lcd.print("PRESS: START");  
  
  if (tecla_pulsada == 'E'){  
    menu_control();  
  }  
}
```

En la pantalla LCD mostrara un mensaje de bienvenida. Inicializa el programa pidiendo que se pulse una tecla y cuando se haya pulsado, se guardara en una variable llamada tecla pulsada.

4.4.4. Función menu control

Solo cuando se presione “**START**” entrara a la función menú del programa. Inicializa con una variable contador “**cont**” con un valor -1, acompañado de un mensaje en la LCD donde indica que acción quieres realizar **F1:H** es igual a movimiento horizontal, **F2:V** es igual a movimiento vertical o “**STOP**” para salir del programa.

```
//*****FUNCION DEL MENU CONTROL*****  
void menu_control() {  
    int cont = -1;  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(4,0); lcd.print("POSITION:");  
    lcd.setCursor(1,1); lcd.print("F1:H F2:V STOP");
```

En el ciclo “**do while**” permite ejecutar todo el bloque distribuido en la estructura “**do**” y no salir de este bloque hasta que se cumpla la condición de la sentencia **while** es decir cuando se presione la tecla “**STOP**” y el “**cont**” tenga el valor de “-2”. En lo siguiente pide que selecciones una tecla, que se guardara en la variable llave, en cualquier caso que se haya seleccionó la opción el programa cambia el valor de “**cont**” un numero entero.

```
do{  
    char llave = teclado.getKey();  
    if (llave == 'A')    {  
        cont = 0;  
    }  
    else if (llave == 'B'){  
        cont = 1;  
    }  
    else if (llave == 'S'){  
        cont = 2;  
    }  
}
```

Realizada dicha acción ingresa a la sentencia **SWITCH**, dependiendo el valor de “**cont**” ingresara un caso.

```
switch (cont){
  case 0:
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(5,0);lcd.print("TURN");
    lcd.setCursor(2,1);lcd.print("SERVOMOTOR 1");
    delay(2000);
    servomotor_1();
    cont = -1;
    break;
```

En caso que se presione **F1**, accederá al “**caso 0**”, donde su función será limpiar la pantalla LCD, y mostrara un mensaje que indicara que girara el **servomotor 1** es decir realizara el movimiento horizontal, el mensaje durara dos segundos y se borrara. El siguiente paso se ingresa la función del **servomotor_1**. La variable **cont** toma valor inicial.

```
case 1:
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(5,0);lcd.print("TURN");
  lcd.setCursor(2,1);lcd.print("SERVOMOTOR 2");
  delay(2000);
  servomotor_2();
  cont = -1;
  break;
```

En caso que se presione **F2**, accederá al “**caso 1**”, donde su función será limpiar la pantalla LCD, y mostrara un mensaje que indicara que girara el **servomotor 2** es decir realizara el movimiento vertical. E ingresa a la función **servomotor _2**. La variable **cont** toma valor inicial.

```

    case 2:
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(5,0); lcd.print("EXIT");
    lcd.setCursor(4,1); lcd.print("THANKS");
    delay(2000);
    lcd.clear();
    cont = -2;
    break;
};
}
while (cont != -2);
}
//=====TERMINA FUNCION MENU CONTROL=====

```

En caso que se presione **F3**, accederá al “**caso 2**”, donde su función será limpiar la pantalla LCD, y mostrara un mensaje que indicara **salir del programa**. La variable “**cont**” toma valor inicial de “**-2**” es decir es cuando se cumple “**while**” para salir.

4.4.5. Función del Control de los Servomotores

La programación de este apartado es similar para ambos servomotores lo único que cambia es el nombre asignado de la función para cada uno, y el tipo de posición que se realizara. El objetivo de esta función es ingresar el ángulo que va necesitar el usuario para girar el Micro servo. Donde lo siguiente se explica el proceso cuando se seleccione el servomotor 1.

Ingresa “**caso 0**” para este movimiento, se comienza con las variables indicadas, en la pantalla LCD limpia y muestra un mensaje del tipo de movimiento y pide digitar el ángulo.

```
//=====FUNCION DEL SERVOMOTOR 1=====
//FUNCION SERVOMOTOR 1:
void servomotor_1() {
    int opc = -1;
    int ang;
    int n = 0;
    int aux = 0;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(3,0); lcd.print("HORIZONTAL");
    lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Angle:");

    do{
    char key = teclado.getKey();
    if (key == 'A' || key == 'B' || key == 'C' || key == 'D'){
        opc = 0; }
    else if (key == 'E'){
        opc = 1; }
    else if (key == '0' || key == '1' || key == '2' || key == '3' || key == '4' ||
        key == '5' || key == '6' || key == '7' || key == '8' || key == '9') {
        opc = 2; }
    else if (key == 'S'){
        opc = 3 ; }
    }
    while (opc < 0);
}
```

En la estructura “**do**” pide digitar una tecla, que será guardada en la variable “**key**”, si la tecla presionada corresponde a la tecla **A=F1**, **B=F2**, **C=F3**, o **D=F4**, la variable “**opc**” toma un valor entero de **cero**. Si la tecla que pulso “**E=START**”, tomara el valor de **uno**, si la tecla presionada es entre “**0 a 9**” el valor de “**opc**” será **dos**, y si la tecla presionada es “**S=STOP**”, valor de “**opc**” será **tres**.

Cualquier tecla presionada “**opc**” tendrá un valor y nos guiará a la sentencia **SWITCH**.

```

switch (opc) {
  case 0:
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(3,0); lcd.print("HORIZONTAL");
    lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Angle:");
    lcd.setCursor(7,1); lcd.print("ERROR");
    delay(500);
    n = 0;
    opc = -1;
    break;

```

Si se presionó alguna tecla de funciones la “opc” es **cero** entonces realizará el “**caso 0**” limpiará la pantalla LCD mostrando el mensaje el tipo de movimiento, el ángulo y en este caso nos dirá que es “**ERROR**”.

```

  case 1:
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(3,0); lcd.print("HORIZONTAL");
    lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Angle:");
    lcd.setCursor(7,1);
    lcd.print(ang);
    lcd.write(1);

    if (ang<=0 || ang >=180){
      lcd.setCursor(7,1);lcd.print("INVALID");
      delay(500);
      opc = -1;
      n=0;
    }
    else {
      servomotor1.write(ang);
      delay(500);
      opc = -1;
      n = 0;
    }
    break;

```

Si se presionó “**START**”, la “opc” es **uno** realizará el “**caso 1**” limpiará la pantalla LCD mostrando el mensaje el tipo de movimiento, el ángulo y en este caso nos dirá que es “**INVALIDO**” porque cumplió con la condición se encuentra fuera del rango del ángulo. Además, se determinó un rango permitido entre 0° a 180° y si el ángulo ingresado no se encuentra dentro de esta condición nos mostrara el mensaje “**INVALIDO**”.

Otra función que realiza “**START**” permite la entrada del ángulo es decir su función “**ACEPTAR**”. Y así con la sentencia `servomotor1.write(ang)`, mostrando el ángulo

ingresado en la pantalla LCD seguido del símbolo de grados. Posterior la variable “opc” regresa a su valor inicial, la variable “n” sigue con el valor de cero.

```
case 2:
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(3,0); lcd.print("HORIZONTAL");
  lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Angle:");
  //programa angulos
  n++;
  if(n == 1){
    aux = (key - '0') * 100;
    ang = aux/100;
    lcd.setCursor(7,1); lcd.print(ang);
  }
  else if(n == 2){
    key = (key - '0') * 10;
    aux= aux + key;
    ang = aux/10;
    lcd.setCursor(7,1); lcd.print(ang);
  }
  else if(n == 3){
    aux = aux + (key - '0');
    ang = aux;
    lcd.setCursor(7,1); lcd.print(ang);
    n = 0;
  }

  opc = -1;
  break;
```

Este apartado se encuentra el cálculo de los ángulos, en caso que se haya presionado una tecla numérica el valor de “opc” tiene el valor de 2, accedemos al “caso 2”, limpia la pantalla, muestra un mensaje del tipo de movimiento y pide el ángulo. El valor “n” va aumentando conforme ingresemos el número de dígitos. Para este caso el programa se construyó solo para ingresar un máximo de tres dígitos ya que los ángulos se encontrarán dentro del rango permitido entre 0° a 180° grados. La variable “ang” es donde se asignará el ángulo requerido para girar el servomotor.

Esta primera condición es cuando se digita entre **"0 a 9"** o cuando se necesita solo un número, cuando **"n==1"**, al teclear el primer dígito accede a realizar una diferencia en código **ASCII**, esta es para convertirlo en valor **entero** refiriéndose a la tecla pulsada, siguiente se multiplica por **cien** para formar **centenas** y se guardara en la variable **"aux"** y esta variable va ser igual a **tres dígitos**. El **"aux"** se divide entre **100** da un resultado a **un dígito** es decir al número teclado. Finalmente se guardará a la variable **"ang"** el valor del primer dígito en otro caso se puede tomar como el primer dígito cuando se utilice más de uno para dicho ángulo. Se mostrará en la pantalla LCD

En la segunda condición si solo se requiere dos dígitos del **"10 al 99"**, al ser presionada una segunda tecla más, **"n==2"**, dicha tecla pulsada asignada el valor a **"key"** realiza el mismo proceso para convertirlo a entero seguido se multiplica por **10** su valor será en **decenas**, se vuelve guardar a la variable **"key"**. Posterior se suma la variable **"aux"** más **"key"** es decir sumatoria de las **centenas más decenas** el resultado es un numero de **tres dígitos**, se asignará en la variable **"aux"**. Y por último dividimos **"aux"** entre **10** para que el valor sea **dos dígitos** para el ángulo que se guardara en **"ang"**. Para el control del servomotor Este valor será mostrado en la pantalla LCD después de la palabra **Angle**.

Para el último caso si se requiere un ángulo entre **"100 a 180"**, es decir cuando se pulsa el tercer dígito, y **"n==1"**, ingresa a la tercera condición. El proceso realiza la diferencia en **ASCII** y convierte en **un entero** la tecla pulsada, se suma con la variable **"aux"** recordando que anteriormente dicha variable es de tres dígitos y para este caso se requiere para formar el **ángulo**. El mismo valor de la variable se asigna para **"ang"**, y girar el ángulo. Que se muestra en la pantalla el resultado, la variable **"n"** toma el valor inicial de **cero** por que ya se completó el número máximo de tres dígitos. Cuando ya se haya realizado esta sentencia el valor de **"opc"** regresa al valor inicial **-1**.

```
case 3:
    opc = -3;
    menu_control();
    break;

}
}
while(opc !=-3);
}
//=====TERMINA FUNCION DEL SERVOMOTOR 1=====
```

En este último apartado solo cuando se haya presionado la tecla **“STOP”**, la variable **“opc”** toma el valor entero de **3** y entra al **“caso 3”**. Regresa al **“menú del control”**. Para cambiar la opción del movimiento o salir del programa.

4.5. Estructura y Armazón

Un Armazón es una pieza o conjunto de piezas unidas que forman una estructura o sostén a algo (Española, 2021). Para crear el Armazón tanto el módulo de control de cada corte, se realiza la técnica de corte laser para crear cada pieza que formara la estructura, el material se utilizara madera MDF, el corte son rápidos y bordes rectos.

Al tratarse de máquinas CNC (Control Numérico Computarizado) ambas tecnologías funcionan siguiendo un patrón de coordenadas que la maquina traduce a partir del diseño realizado por computadora el cual se puede realizar en diversos programas como Illustrator, Corel Draw, AutoCAD. Entre otros programas orientados al diseño 2D Y 3D.

4.5.1. Diseño del Módulo de Control por Computadora

Para que la máquina de corte pueda realizar su trabajo es necesario indicarle la trayectoria que debe recorrer al mismo tiempo que va cortando el material. El modulo consta de 6 piezas que se ensamblan para formar toda la estructura, en la siguiente figura se muestra el diseño del módulo parte exterior, las medidas están en centímetros, que tiene cada pieza.

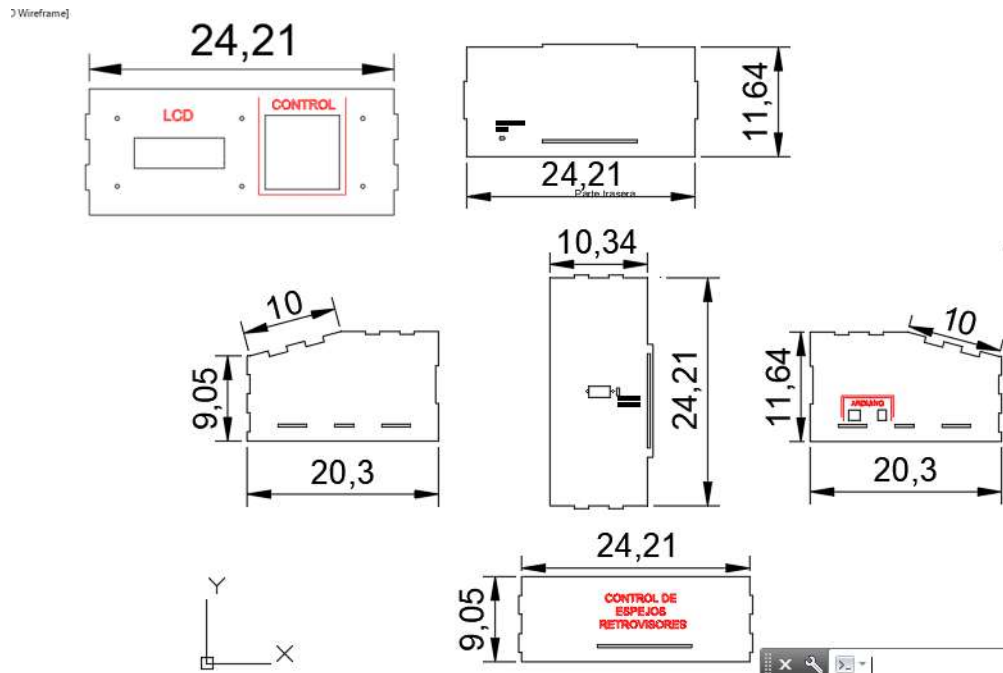


Figura 4.8 Diseño del Módulo parte exterior

En la figura 4.8, es una captura de pantalla del diseño en AutoCAD, se muestran las piezas que van en el módulo, partes laterales, ambas tienen tres orificios donde se ensamblarán un soporte, una de ellas lleva un marco que dice ARDUINO, parte de frente con el nombre de mi tema, parte trasera donde se encontrará la entrada de alimentación de los servos, además en la parte diagonal se ensamblará la pieza donde se encontrará el teclado numérico y la pantalla LCD y por último parte frontal donde llevará un Micro servo y estará el espejo. La descripción de color rojo la máquina láser traduce como un grabado es decir será una marca en el material.

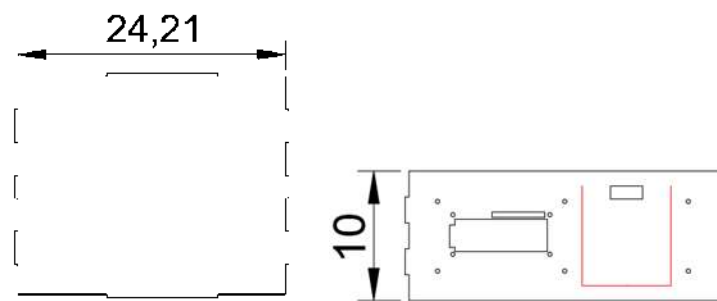


Figura 4.9 Diseño de los Elementos para Soporte

En la figura 4.9, se muestra el diseño de los elementos para soporte que tendrá el módulo en la izquierda se muestra la base donde estará el Arduino, la baquelita, un protoboar y los cables. A la derecha la pieza que sostendrá la pantalla LCD, el teclado matricial esta se atornillará con la otra pieza que se encuentra arriba.

4.5.2. Diseño del Espejo Retrovisor por computadora

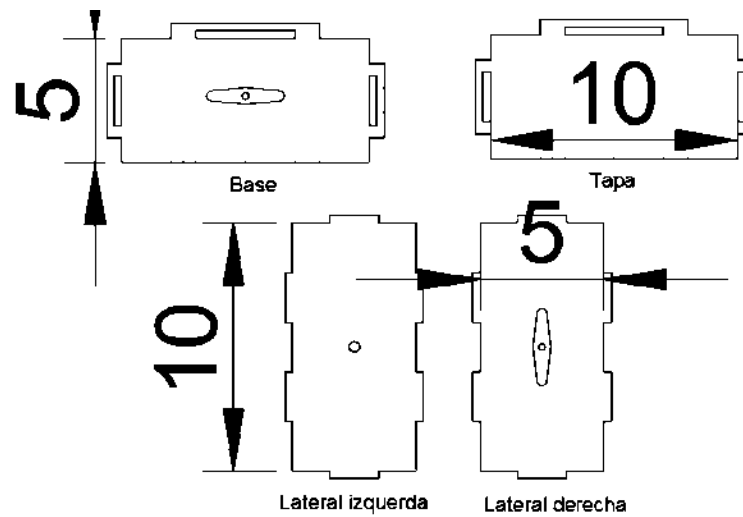


Figura 4.10 Diseño del Espejo Retrovisor

En figura 4.10, se muestra el diseño del espejo retrovisor, las piezas que esto lo conforma en la base va ensamblada con un Micro servo y este al módulo, se muestra el diseño donde va atornillado la base con el servo, la tapa del diseño, las partes laterales la derecha va atornillada el segundo servo y la tapa izquierda lleva un orificio para sostener el espejo.

4.5.3. Corte Láser y Material de la Estructura

Para entender el funcionamiento de una máquina de corte láser es necesario definir que es un láser. Un láser es un dispositivo diseñado para concentrar un haz de luz en un punto específico, se compone de un par de espejos, de un medio activo que permita amplificar la luz y de un haz de luz o corriente eléctrica que dará la energía al medio activo.

El nombre de este dispositivo es Amplificación de luz por emisión Estimulada y hoy en día tiene muchas aplicaciones industriales, médicas y en telecomunicaciones.

El láser se encuentra por lo regular en la parte posterior de las máquinas de corte y emite un haz de luz hacia una serie de espejos que se encargan de reflejar el haz hasta la cabeza del láser donde se direccionara la luz hacia abajo. Antes de que la luz salga de la máquina,

pasa por un medio activo que se encarga de amplificar el haz. En máquinas de CO₂, el dióxido de carbono es el medio que desempeña esta tarea.

Una máquina de este tipo permite hacer diseños complejos alcanzando una alta precisión, esto se debe a que el láser tiene la capacidad de moverse siguiendo cualquier trayectoria a una velocidad alta. Además, según la potencia de corte del equipo se pueden cortar materiales diversos de mediana densidad.

Los equipos actuales tienen un funcionamiento automatizado gracias al CNC (Control Numérico Computarizado) que permite, además de mantener una distancia constante entre la superficie del material y el emisor de luz, programar comandos que controla la velocidad y el diseño a seguir según las necesidades de cada corte y material.

La máquina láser, puede cortar madera, acrílico, MDF, papel, cartón, algunos tipos de plásticos e incluso pueden cortar material como el aluminio.

Para la utilización del Armazón del prototipo del control se utilizó madera MDF que es un material bastante fácil de adquirir, tiene la suficiente firmeza para soportar los elementos electrónicos y es económico.

Las siglas MDF significa Tablero de Fibras de Densidad Media, del inglés Medium Density Fibreboard. Este material es fabricado a partir de fibras de madera en polvo que consta un 85% y resinas sintéticas comprimidas. Durante el proceso de la fabricación se pueden agregar diversos productos químicos que le dan otras características como repeler el agua o evitar hongos y moho.

El material es una madera maciza, cómoda de trabajar y tiene un acabado liso se puede manejar como madera utilizando las herramientas comunes.

En lo siguiente se presentan las comparaciones donde a la izquierda se muestra el diseño computarizado y la derecha la pieza cortada con dicha máquina.

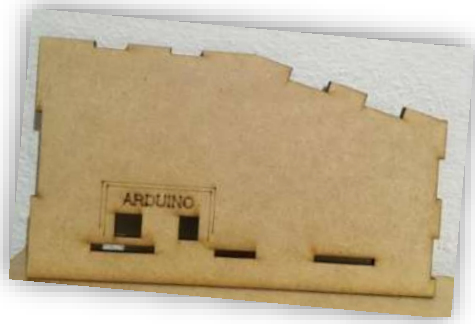
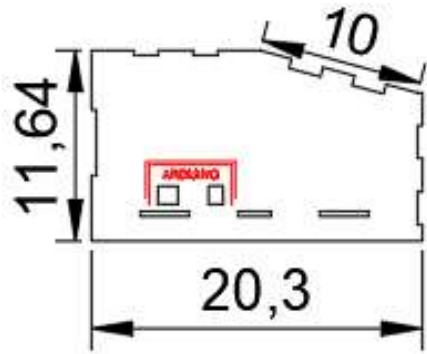


Figura 4.11 Pieza Lateral, Diseño y Corte Láser

En la figura 4.11, corresponde a la pieza lateral, diseño y corte láser, del módulo de control. Esta pieza es donde tiene las ranuras para la base, los puertos de la placa Arduino.



Figura 4.12 Pieza parte de Frente, Diseño y Corte Láser

En la figura 4.12, se grabó el tema, tiene una ranura donde ensambla la base, y los bordes donde ensambla con las otras piezas.

Wireframe]

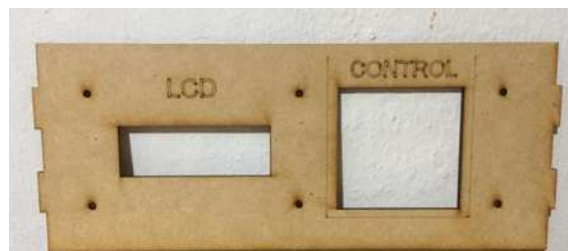
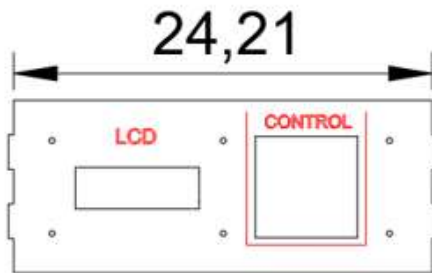


Figura 4.13 Pieza donde se instala el teclado y pantalla LCD, Diseño y Corte Láser

En la figura 4.13, se muestra la pieza donde se instala el teclado y pantalla LCD, Diseño y Corte Láser, el corte fue justo para que solo embonara la pantalla y el teclado, los orificios pequeños son la parte donde van los tornillos.

4.6. Ensamble de la Estructura

La estructura como se mencionó anteriormente se realizó con MDF, ahora ensamblamos las piezas, para esto es necesario el uso de un pegamento para brindar fuerza y estabilidad las piezas así se compone el prototipo.

4.6.1. Acoplamiento de Elementos Electrónicos

Los elementos electrónicos como son la pantalla LCD, la placa Arduino, los servomotores, tienen perforaciones en circunferencias, estas son para un montaje adecuado, estas perforaciones tienen una medida estandarizada de 3 mm de diámetro para sujetar los componentes. Se utilizaron tornillos M3 con tuerca para el acoplamiento de dichos elementos. El teclado matricial no tiene orificios este componente trae consigo un pegamento que se adhiere en la parte de la madera donde se fijara. En la siguiente figura 4.14, tornillo M3 con tuerca se utilizó para ensamblar.

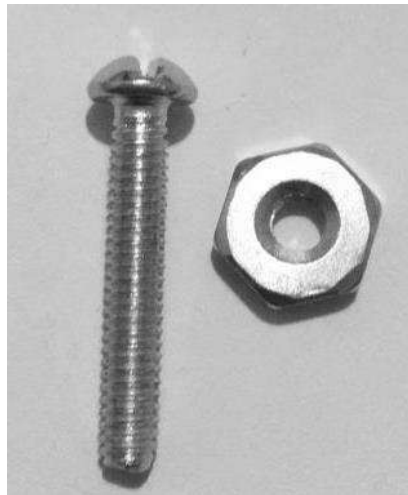


Figura 4.14 Tornillo M3 con Tuerca

4.6.2. Acoplamiento de Micro Servo

Los Micro servos traen consigo accesorios que facilitaran la colocación del servo en la estructura que se diseñó, contiene unos tornillos pequeños para su montaje del servo, y para fijar la pieza de plástico con MDF que será la que girara.



Figura 4.15 Micro Servo 9G atornillado a MDF

En la figura 4.15, se muestra el Micro Servo 9G atornillado a MDF, como esta acoplado en la estructura el servo con MDF.

4.7. Control Terminado

Después de que se ensambló cada pieza cortada y componentes electrónicos conectados el resultado es el Control de Espejos Retrovisores a escala. A continuación se describen los elementos de lo componen para operarlo.

4.7.1. Módulo de Control

El módulo de control es la parte más compleja de todo el prototipo es donde se ingresan y se observan los valores que moverán el Espejo Retrovisor es decir girarán los servomotores. En la siguiente se observan varias perspectivas y se analizarán cada uno de ellas.



Figura 4.16 Modulo de Control Terminado

En la figura 4.16, se muestra el módulo de control terminado, donde se encuentra instalado la pantalla LCD, el Teclado Matricial y el Espejo Retrovisor, la pantalla esta esta sobre puesta en dos piezas y son ensambladas con cuatro tornillos, así como el teclado también. El espejo esta sobre un servo.

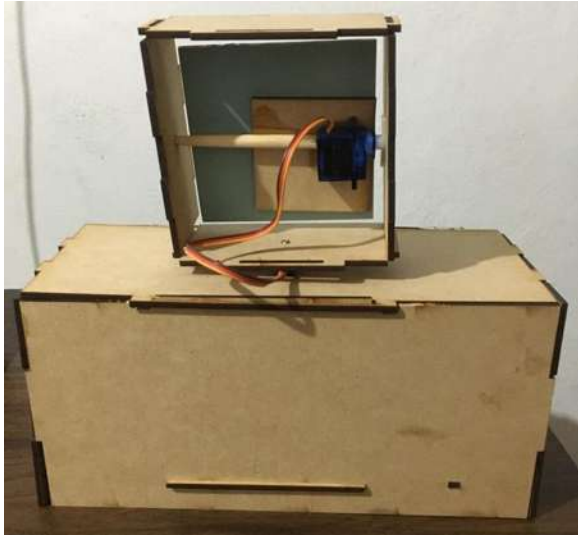


Figura 4.17 Vista parte Trasera



Figura 4.18 Vista parte lateral

En la figura 4.17, muestra la vista parte trasera, la conexión y la estructura del Retrovisor, el servo va atornillado a la MDF, también tiene pegamento para que una pequeña tabla se sobreponga y sobre ella con pegamento el espejo, debajo del espejo hay una abertura para la salida de los cables del servo, se muestra un palo de madera pegado al servo para sostener al momento del giro. Este servo girará vertical solo se moverá el espejo. Debajo de la estructura se encuentra el otro servo y este girará todo la estructura y su movimiento será horizontal. También se muestra parte inferior la alimentación de los servos es donde conecta la fuente externa.

En la figura 4.18, se muestra vista parte lateral, la otra parte lateral donde se observa la instalación de la placa Arduino, con los puertos de USB y la alimentación de la placa.

4.8. Implementación del Control

En este apartado se realiza las pruebas de ángulos para tres usuarios, esto para comprobar el prototipo, así para encontrar la posición adecuada para cada uno y tener una mejor visualización, cada usuario tomo un lugar diferente. Para ello se tiene dos tipos de movimiento, horizontal y vertical. Una vez energizado el modulo en la pantalla describe al operador un mensaje de bienvenida y le indica que tecla debe presionar para dar comienzo al control. En la figura 4.19, se ilustra la pantalla de bienvenida, el primer mensaje al momento de compilar el programa o si ya está instalado será al energizarlo.



Figura 4.19 Pantalla de Bienvenida

Una vez presionada la tecla STAR ingresa a la acción quiera realizar la pantalla muestra un menú de tres opciones dos son las posiciones de los movimientos que girara el motor horizontal y vertical y la última opción es salir del programa. En la siguiente figura 4.20, se observa la pantalla donde indica las opciones a realizar.



Figura 4.20 Menú de tres opciones

4.8.1. Control del Movimiento Horizontal (Servomotor 1)

En el primer movimiento es decir el servomotor 1 es el movimiento será horizontal. La opción seleccionada en el menú es F1:H. nos mostrara un mensaje indicando cual servo girara.



Figura 4.21 Mensaje del servo 1 que realizará la acción

En la figura 4.21, muestra un mensaje del servo 1 que realiza la acción, dura dos segundos. Para posterior nos muestra el siguiente mensaje el tipo de movimiento y pide el ángulo el cual ingresará el usuario. En la siguiente figura 4.22 muestra el mensaje donde pide a ingresar el ángulo.



Figura 4.22 Pide a ingresar el ángulo

4.8.2. Control del Movimiento Vertical (servomotor 2)

Para ingresar al movimiento vertical en el control se presiona una sola vez la tecla STOP cambiaremos de servomotor. Es decir, se girará el servomotor 2. La opción seleccionada en el menú es F2:V. nos mostrara un mensaje indicando cual servo girara.



Figura 4.23 Seleccionando el Movimiento Vertical

En la siguiente figura 4.24, muestra el movimiento del segundo servomotor, dura dos segundos indicando que la acción del siguiente servomotor 2.



Figura 4.24 Movimiento del Segundo Servomotor

Después de los dos segundos muestra el siguiente mensaje el tipo de movimiento y pide el ángulo el cual ingresará el usuario.



Figura 4.25 Pide a Ingresar el ángulo para el movimiento vertical

En las siguientes figuras se muestran las posiciones originales como se les asigno en la programación. Posterior se tiene la comprobación de la primera prueba, del primer usuario ingresa dos ángulos uno para el movimiento horizontal y el otro vertical.

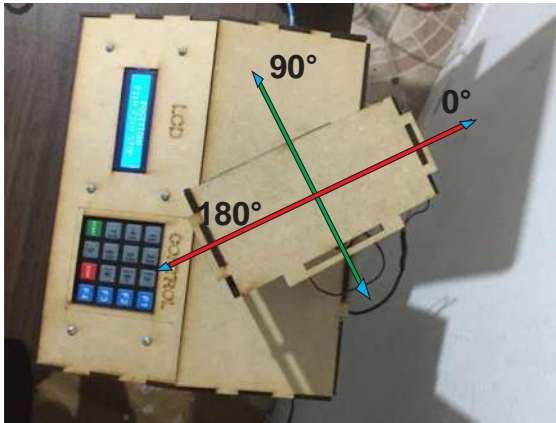


Figura 4.26 Posición Horizontal inicial

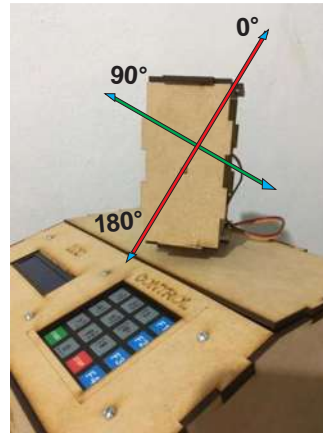


Figura 4.27 Posición inicial del espejo

4.8.2.1. Prueba de ángulos para primer usuario

En la figura 4.26, se muestra la posición horizontal, la pantalla de cada giro que realizara el tipo movimiento. Cambiará la posición al momento que ingrese dichos ángulos.



Figura 4.28 Pantalla de los ángulos ingresados por el primer usuario

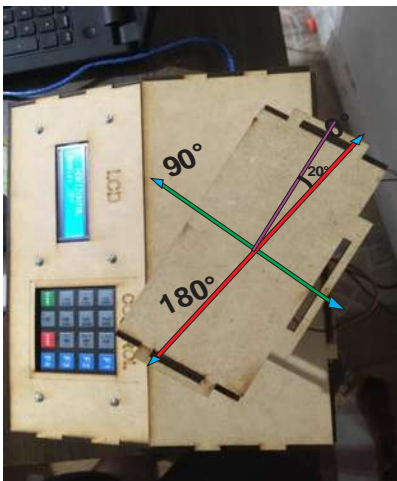


Figura 4.29 Movimiento Horizontal a 20°

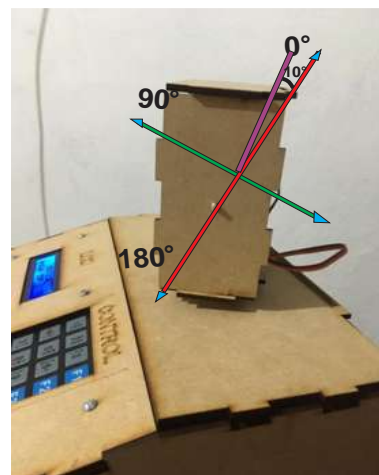


Figura 4.30 Posición del Espejo a 10°

En la primera prueba se observa que los movimientos fueron mínimos, cumpliendo la necesidad del usuario. En la figura 4.29, se observa el primer movimiento horizontal, la posición que tomo el movimiento horizontal se visualiza con las líneas de referencia el giro que realizo, así también en la figura 4.30, se observa la primera posición del espejo, se mostró con las líneas de referencia donde muestra el giro que realizo el espejo.

4.8.2.2. Prueba de ángulos segundo usuario



Figura 4.31 Ángulos Ingresados por el segundo usuario

En la figura 4.31, se observa los ángulos ingresados por el segundo usuario, las pantallas son los dos tipos de movimiento con su respectivo ángulo, que realizara cada servo. En las siguientes figuras se comprueba que el retrovisor el giro fue más notorio.

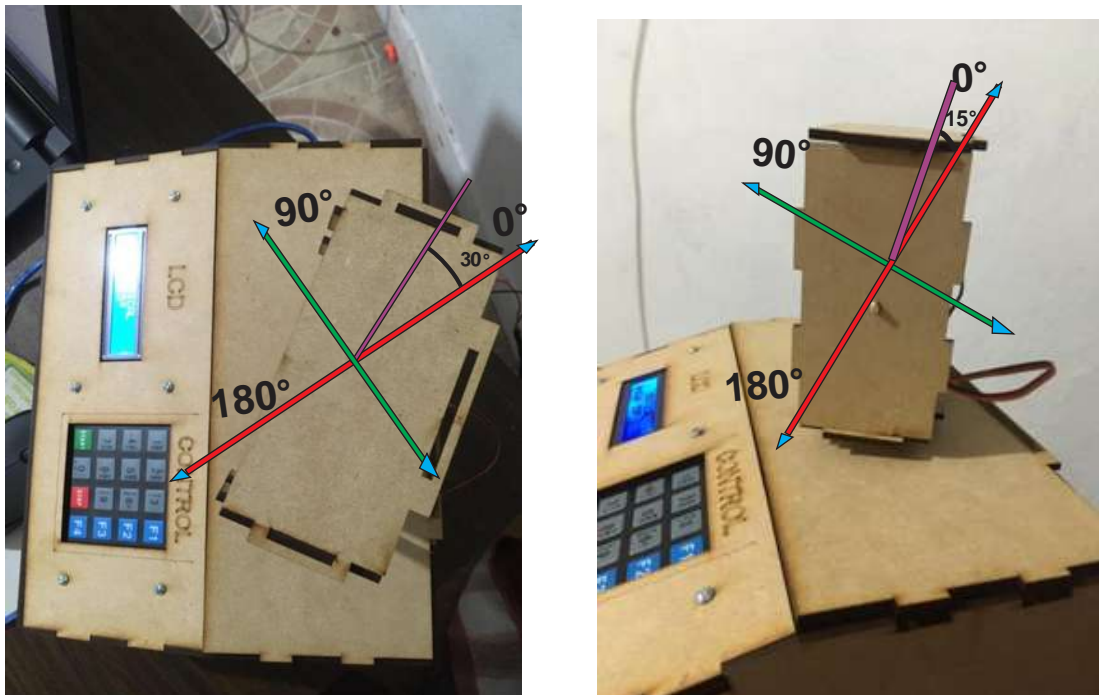


Figura 4.32 A la izquierda tenemos la Posición Horizontal a 30° y a la derecha Segunda Posición del Espejo a 15°

4.8.2.3. Prueba de ángulos tercer usuario



Figura 4.33 Pantalla de los ángulos ingresados por el tercer usuario

Finalmente se tiene la tercera prueba, el usuario se colocó frente al módulo para encontrar la posición adecuada, en la figura 4.34 el giro del movimiento se observa con un ángulo mayor que las primeras pruebas, excepto el giro vertical siempre ha sido mínimo este giro normalmente depende de la estatura del usuario. Los ángulos dependen del lugar que se encuentre el conductor.

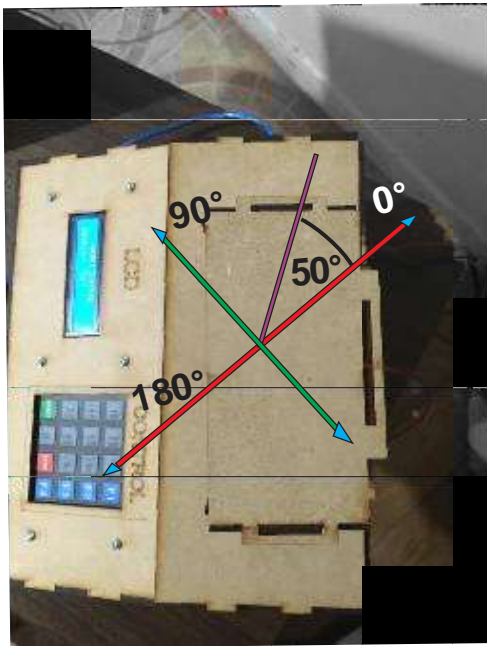


Figura 4.35 Tercer movimiento a 50°

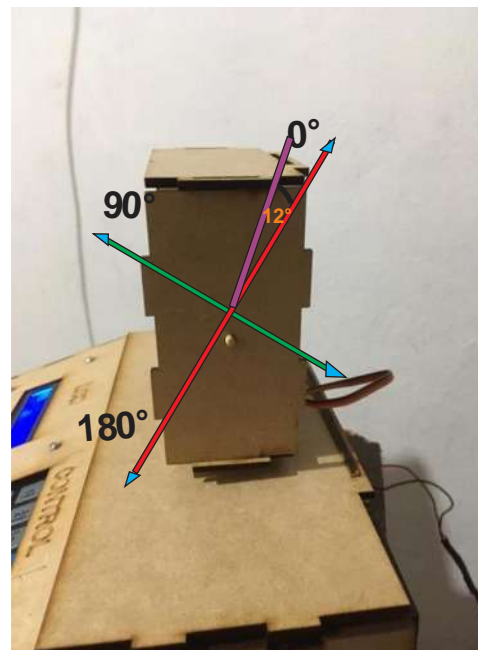


Figura 4.34 Ultima Posición del Espejo a 12°

Capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

En este trabajo se diseñó y construyó un control de espejos retrovisores para todo tipo de vehículo, se utilizó el software Arduino y la tarjeta Arduino UNO con componentes electrónicos, el movimiento se realizó con servomotores y un teclado matricial se ingresó el ángulo que necesito el usuario, con la finalidad de hacerlo más práctico. Esto basado en un sistema de control en lazo abierto. El prototipo terminado se implementó correctamente sobre esto puede demostrar que se puede innovar un espejo retrovisor.

El control cuenta con una fuente externa para alimentar los dos servomotores, dicha fuente son las comunes que utilizan los celulares que brinda un voltaje suficiente para los servos. Los componentes fueron un tamaño favorable para la construcción y se ajustaron al diseño. El material de la estructura utilizado fue fácil para trabajarlo para ensamblar y acoplar los componentes electrónicos.

La parte más importante del diseño y construcción del control fue la placa Arduino UNO, porque a través de ella se controla el teclado matricial, pantalla LCD y los servomotores. Es fácil de adquirirlo en cualquier tienda de electrónica además es económico a comparada con otros Arduino. Las placas se acoplan a las necesidades que requiere el usuario y de su tipo de proyecto. El Software es libre, y se puede descargar directamente de la página oficial de Arduino, la plataforma donde se realiza la programación es gratuito. Cuenta con una diversidad de librerías para trabajar con otros elementos electrónicos.

El uso de Arduino es porque facilita la utilización de la electrónica, es más compacto, en cambio si no se utiliza se realizará con circuitos independientes para cada componente y sería robusto donde además se tendría dificultades con las conexiones. Una desventaja sería más costoso comparado con la placa.

Lo que más me ayudo para el diseño del prototipo, fue el software AutoCAD. Porque es fácil y cómodo de diseñar cualquier tipo de trabajo o proyecto, se puede trabajar a cualquier escala. Para obtener el Software puede depender del usuario por ejemplo tiene

un costo en la suscripción es de \$1690 pesos anual o \$210 pesos mensual. Si es estudiante se registra en la página oficial Autodesk y descargarlo gratuito. A veces la universidad paga anualmente la licencia y para sus alumnos de ingeniería como fue el mi caso.

Otro punto muy importante que me ayudo para este prototipo es a ver obtenido los conocimientos de electrónica analógica, programación de computadoras. Porque en electrónica aprendimos a usar y realizar las conexiones de componentes electrónicos ya que utilizamos un gran número de componentes, así como sus características, su función y sus aplicaciones. En cuestión de programación nos impartieron las bases de programación en C ya que en toda la programación es similar solo cambian el nombre de las palabras, pero llega a ser la misma función.

La parte con dificultad del control fue en la programación del teclado porque todo va ligado y consecutivo con los elementos electrónicos al momento de ingresar los datos. El teclado contiene 16 teclas y se le asignan ciertas funciones a cada tecla, se realiza con condiciones y ciclos, por ejemplo, para comenzar el programa se debe presionar la tecla STAR, para realizar un giro se utilizan dos teclas funcionales para ingresar el ángulo están el teclado numérico y para salir se presiona STOP. Lo más difícil fue programar el cálculo de los ángulos porque el usuario podría necesitar un ángulo de un dígito o hasta tres dígitos. Se trabajó con unidades, decenas y centenas para ir obteniendo el valor que requiere el usuario.

5.2. Recomendaciones

Para diseñar un prototipo se puede utilizar cualquier software orientados al diseño 2D y 3D. Por ejemplo, en AutoCAD no se requiere conocimientos amplios al tema, solo tomar en cuenta las medidas con las que se vaya a trabajar para que las pizas ensamblen correctamente. La máquina de corte láser ofrece ventajas para el corte de piezas para una adecuada construcción de cualquier diseño.

En la conexión de la pantalla LCD se utilizó un potenciómetro rotatorio de 10 K Ω la recomendación es tener cuidado al momento de soldarlo ya que puede dañar el valor de la resistencia variable por el calentamiento o verificar la soldadura en mi caso que vez que hubiera una continuidad lo aislaba.

En la estructura del prototipo debe considerar el peso de los componentes para poder elegir el tipo de material adecuado, como se mencionó anteriormente en esta estructura se utilizó MDF ya que el material depende donde se vaya implementar el uso. Para ensamblar las piezas se utiliza pegamento y tornillos M3.

Bibliografía

- Arduino: *Tecnología para todos*. (2020). Recuperado el Viernes de Noviembre de 2020, de Software: <https://arduinodhtics.weebly.com/iquestqueacute-es.html>
- Bembibre, V. (Diciembre de 2008). *Definición ABC*. Obtenido de Definición de Pantalla LCD: <https://www.definicionabc.com/tecnologia/pantalla-lcd.php>
- Bolaños. (12 de Abril de 2018). *Programar posiciones en un Micro Servo Tower Pro SG90 9G*. Obtenido de <http://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/servomotores.pdf>
- Brotos, A. (2004). *Sistemas de control*. Obtenido de UPCommons: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Castillo, I. I. (2008). *Ingeniería de Sistemas de control continuo*. Morelia Mich.
- Crespo, E. (9 de Diciembre de 2019). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de Programacion Arduino: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/01/23/programacion-arduino-5/>
- Ecured. (2020). *LCD (pantalla de cristal liquido)*. Obtenido de [https://www.ecured.cu/LCD_\(pantalla_de_cristal_l%C3%ADquido\)#Breve_historia](https://www.ecured.cu/LCD_(pantalla_de_cristal_l%C3%ADquido)#Breve_historia)
- Emerson. (Octubre de 2011). *SERVO BRUSHLESS Y SUS COMPONENTES BASICOS*. Obtenido de <http://automatizacion-industrial.es/descargas/SERVO%20BRUSHLESS%20Y%20SUS%20COMPONENTES%20BASICOS.pdf>
- Española, R. A. (2021). *Dle*. Obtenido de RAE. es: <https://dle.rae.es/armaz%C3%B3n>
- Fernandez, Y. (3 de Agosto de 2020). *Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno*. Obtenido de <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- Hernandez, L. d. (11 de Julio de 2002). *Programar facil*. Obtenido de Servomotor con Arduino Tutorial de programación paso a paso.
- Herrero, I. B. (2021). *IBEROBOTICS*. Obtenido de Micro Servo Sg90: <https://www.iberobotics.com/producto/micro-servo-towerpro-sg90-1-8kg9g0-12seg/>
- Llamas, L. (2 de Octubre de 2016). *Ingeniería, informática y diseño*. Obtenido de Usar un teclado matricial con Arduino: <https://www.luisllamas.es/arduino-teclado-matricial/>
- Maquiclick. (s.f.). *Fabricantes maquinaria industrial*. Obtenido de <https://www.fabricantes-maquinaria-industrial.es/tipos-de-servomotores/>
- Mecafenix, F. (20 de Abril de 2017). *Ingeniería Mecafenix*. Obtenido de <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-paso-a-paso/>

- Mecatronica. (2018). *Servomotor*. Obtenido de Motores:
<https://www.mecatronicalatam.com/motores/servomotor>
- Mecatronica, B. (8 de Julio de 2016). *07 Motores Paso a Paso - Introducción, Funcionamiento y Tipos*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=fawhMWtzTI4>
- Menéndez, R. M., & Mendoza, R. a. (2013). *Sistemas De Control Moderno*. Monterrey, Mexico: Digital.
- Menna. (Miercoles de Octubre de 2018). *Como funciona*. Obtenido de Un servomotor: <https://comofunciona.co/un-servomotor/>
- Moreno, R. P. (Diciembre de 1999). <http://automata.cps.unizar.es/>. Obtenido de <http://automata.cps.unizar.es/regulacionautomatica/historia.PDF>
- Muñoz, A. M. (2019). Aprende Arduino en un fin de semana. En T. o. Software.
- Nise, N. S. (2002). *Sistemas De Control Para Ingenieria*. Mexico D.F: Compañía Editorial Continental.
- Ogata, K. (1998). *Ingenieria De Control Moderna*. Edo. de Mexico: Pearson.
- Ogata, K. (2010). *Ingenieria de Control Moderna*. Madrid España: Pearson Educacion S.A.
- Reductores, C. L. (s.f.). *Motor paso a paso: cuándo y por qué utilizarlo*. Obtenido de <https://clr.es/blog/es/motor-paso-a-paso-cuando-utilizarlo/>
- Rodriguez, A. J. (Septiembre 2018). Diseño y Construcción de Robots Manipuladores Reconfigurables. Morelia.
- Ruben. (26 de Julio de 2013). *Geek Factory*. Obtenido de Teclado Matricial con PIC : <https://www.geekfactory.mx/tutoriales/tutoriales-pic/teclado-matricial-con-pic/>
- Zambetti, N. (s.f.). *Fundacion Aquae*. Obtenido de ¿Sabes qué es un Arduino y para qué sirve?: <https://www.fundacionaquae.org/sabes-arduino-sirve/>
- Zaragoza, E. U. (2009). <http://automata.cps.unizar.es/Historia/Webs/IntroduccionI.htm>. Obtenido de http://automata.cps.unizar.es/Historia/Webs/primeros_ejemplos_historicos_de_.htm: http://automata.cps.unizar.es/Historia/Webs/primeros_ejemplos_historicos_de_.htm