

Diseñar y Construir una Mesa Ergonómica Automatizado para un Joven Estudiante en Condiciones de Discapacidad Física (focomelia) de la Universidad de Pamplona

Efecto” de la Universidad de Pamplona

José Eduardo Bautista Acevedo

Universidad de Pamplona

Director

PhD. Aldo Pardo García

Cotutor

PhD. Surgei B Caicedo Villamizar

La correspondencia relacionada con este proyecto debe ser dirigida a José

Bautista

Universidad de Pamplona, Km 1 Vía Bucaramanga

Programa de Ingeniería Mecatrónica

Pamplona, 2019

Contacto: josebautista@unipamplona.edu.co

Este trabajo es dedicado a mis abuelos Jorge Isaac Bautista Guerrero y Lucila Jelvez de Bautista, por su apoyo incondicional en el transcurso de este trabajo, y a lo largo de mi vida.

A Edgar Bautista Jelvez por su aporte para hacer una realidad este proyecto.

A mis padres, Luis Ernesto Bautista Jelvez y Blanca Socorro Acevedo Villamizar por su acompañamiento.

A Sandy Juleny Ortiz Barroso por hacer parte de la familia universitaria estudiantil cuando estuve en este proceso de formación académica.

A Sulayne Paola Esteban guerrero por su apoyo en las buenas y en las malas.

A mis hermanos que siempre han estado apoyándome moralmente.

Agradecimientos

Agradezco al profesor Aldo Pardo García, por todos sus aportes y ayuda en cada una de las etapas del proyecto haciéndolo posible, también, al profesor Cristhian Iván Riaño y al profesor Luis Neira Roperero a quienes me asesoraron y orientaron desde los inicios hasta el fin del proyecto, igualmente a la profesora Yara Oviedo Durango por suministrar información oportunamente, de igual manera a todo el personal de la universidad que dieron sus aportes al conocimiento en el transcurso de formación académica.

Índice general

Índice general	4
Lista de imágenes	8
Lista de tablas	11
Resumen del proyecto: CONSTRUCCIÓN DE UNA MESA ERGONÓMICA AUTOMATIZADA PARA UN JOVEN ESTUDIANTE EN CONDICIONES DE DISCAPACIDAD DE FÍSICA (FOCOMELIA) DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA12	
Introducción.....	13
1. Planteamiento del problema y justificación.....	15
1.1 Criterio de selección de los componentes.....	17
1.1.1 Por qué un motor pasó a paso	17
1.1.2 Ventajas de los motores pasó a paso:.....	18
1.2 Porque un tornillo sin fin	18
1.2.1 Aplicaciones de los tornillos sinfín.....	18
1.2.2 Características de los tornillos sinfín	19
1.2.3 Sistema de puertas automáticas	19
1.3 Por qué se elige un pedal	¡Error! Marcador no definido.
2. Objetivos.....	20
2.1 Objetivo General.....	20
2.2 Objetivos específicos	20
3. Marco teórico y estado del arte.....	21
3.1 Ergonomía	21
3.1.1 Rol del diseño	21
3.1.2 Concepto de ergonomía aplicada	21
3.2 Automatización.....	22
3.2.1 El futuro de la automatización	22
3.3 Fuente de alimentación ATX.....	24
3.3.1 Configuración interna de la fuente ATX	24

3.3.2	¿Qué función cumple esta tensión +5VSB?.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3.3	Especificaciones de la fuente ATX.....	25
3.4	Motor paso a paso.....	25
3.4.1	Funcionamiento.....	25
3.4.2	Descripción de los motores paso a paso	27
3.4.3	Características comunes de los motores paso a paso:	29
3.4.3.1	Voltaje.....	29
3.4.3.2	Resistencia eléctrica	29
3.4.3.3	Grados por paso.....	29
3.4.4	Clasificación de motor paso a paso.....	30
3.4.4.1	Motores de reluctancia variable	30
3.4.4.2	Motores de imán permanente	35
3.4.4.3	Motores híbridos	36
3.4.4.4	Motores de imanes permanentes “Claw-Poles”	38
3.4.5	Tipos de motores paso a paso	40
3.4.5.1	Motores unipolares	40
3.4.5.2	Motores bipolares	41
3.4.5.3	Unipolar versus Bipolar	43
3.4.6	Características Funcionales.....	43
3.4.6.1	Numero de pasos	43
3.4.6.2	Torque	44
3.4.7	Motor paso a paso nema	46
3.5	Microcontrolador	47
3.5.1	Tipos de microcontroladores.....	47
3.5.2	Microcontroladores Atmel AVR.....	49
3.5.3	Microcontroladores AVR Atmega328 de 8 bits	51
3.5.4	Arduino	53

3.5.4.1	Lenguaje Arduino.....	54
3.5.4.2	Programa Arduino	54
3.6	Controlador para motores de pasos	56
3.6.1	Puente H.....	56
3.6.2	Driver HY-DIV268N-5 ^a para control de motor paso a paso.....	57
3.6.2.1	Control.....	58
3.7	Tornillo sin fin.....	58
4.	Diseño de la mesa ergonómica	62
4.1	Diseño mecánico.....	62
4.1.1	Estructura metálica.....	62
4.1.2	Componentes y accesorios	65
4.1.3	Diseño del mecanismo	66
4.1.3.1	Tornillo sin fin – Tuerca.....	66
4.1.3.2	Mecanismo manivela biela corredera.....	67
4.2	Diseño electrónico	70
4.2.1	Control de lazo abierto.....	70
4.2.2	Selección del motor.....	70
4.2.2.1	Criterio de selección del motor paso a paso	70
4.2.3	Selección del motor paso a paso según el torque requerido	70
4.2.4	Control del motor paso a paso nema 23.....	72
4.2.4.1	Driver HY-DIV268N-5A para control del motor nema 23.....	72
4.2.4.2	Criterio de selección del driver HY-DIV268N-5A	73
4.2.5	Sistema de control del motor paso a paso NEMA 23	73
4.2.5.1	Conexiones electrónicas del driver, microcontrolador y motor	74
4.2.6	Diseño del PCB para el ATmega328P-PU	76
4.2.7	Microcontrolador para la adquisición de datos	77
4.2.7.1	Programación	78

5.	Resultados.....	82
5.1	Construcción de la mesa ergonómica automática.....	82
5.1.1	Estructura mecánica	82
5.1.2	Elaboración del circuito eléctrico	84
5.1.2.1	Grabado del circuito eléctrico	84
5.1.2.2	Montaje de los componentes de circuito eléctrico	85
5.1.2.3	Pedal para la inversión el giro del motor.....	87
5.1.2.4	Los finales de carrera	87
5.1.3	Configuración del motor	88
5.1.3.1	Pasos del motor	88
5.1.3.2	Corriente del motor	89
5.1.4	Pruebas de control de área del trabajo ergonómico de la mesa automática.....	90
5.2	Costo total del proyecto.....	91
	Conclusiones.....	94
	Recomendaciones	95
	Referencias	96

Lista de imágenes

Figura 1. Voltajes y corriente DC de salida de la fuente ATX.....	25
Figura 2. Esquema Básico de funcionamiento de un motor paso a paso.....	27
Figura 3. Embobinado de un motor paso a paso.	28
Figura 4. Sección de un motor paso a paso de reluctancia variable.	31
Figura 5. Líneas de flujo.....	32
Figura 6. Disposición de líneas de flujo al aplicarse un par de extremo.	32
Figura 7. El rotor se desplaza un paso al cambiar la excitación de la Fase I a la Fase II. ...	33
Figura 8. Comparación de las líneas de flujo para dos entrehierros diferentes.	34
Figura 9. Motor paso a paso de imán permanente de cuatro fases.	35
Figura 10. Sección de un motor paso a paso Híbrido.....	36
Figura 11. Estructuración del rotor en un motor híbrido.....	37
Figura 12. (a) Líneas de flujo producidas por el imán permanente del rotor, (b) líneas de flujo producidas por el imán permanente del rotor.	37
Figura 13. Operación de una fase activa de un motor híbrido de dos fases.	38
Figura 14. Sección de un motor de imán permanente "claw-pole".	39
Figura 15. Esquema eléctrico de un motor paso a paso bipolar.	41
Figura 16. Esquema eléctrico del motor paso a paso bipolar.	42
Figura 17. La relación entre torque y la velocidad (paso por segundo).	45
Figura 18. Gama de motores paso a paso NEMA.	46
Figura 19. Tabla de especificaciones de motores paso a paso NEMA.....	46
Figura 20. Representación esquemático de un microcontrolador.....	48
Figura 21. Microcontrolador ATmega320P.	52
Figura 22. Logo Arduino.....	54
Figura 23. Programa en blanco Arduino.	55

Figura 24. Puente H.....	57
Figura 25. Configuración del interruptor de control de corriente y las subdivisión de los paso.....	58
Figura 26. Geometría de un tornillo sin fin.....	59
Figura 27. Estructura metálica lateral de la mesa ergonómica automática en Solidword...	63
Figura 28. Soporte lateral de la mesa ergonómica en Solidwork.....	63
Figura 29. Soporte central de la mesa ergonómica en Solidwork.....	64
Figura 30. Soporte del espaldar de la mesa ergonómica automática en Solidword.....	64
Figura 31. Estructura metálica completa de la mesa ergonómica automática donde se debe soportar cada uno de los componentes en Solidwork .	65
Figura 32. Gaveta en Solidwork.....	65
Figura 33.. Espaldar en Solidwork.....	66
Figura 34. Mecanismo tornillo sin fin en Solidwork.....	66
Figura 35. Mecanismo manivela biela corredera en Solidwork.....	67
Figura 36. Pedal que controla el giro del motor en Solidwork.....	68
Figura 37. Ensamble completo del puesto ergonómico en Solidword.....	68
Figura 38. Ángulo mínimo de elevación del tablero.....	69
Figura 39. Ángulo máximo de elevación.....	69
Figura 40. Circuito de control en lazo abierto.....	70
Figura 41. Características de los motores nema.....	71
Figura 42. motor paso a paso nema 23.....	72
Figura 43. Driver HY-DIV268N.5A.....	72
Figura 44. Conexiones del microcontrolador y driver.....	74
Figura 45. Esquema electrónico del control de motor en lazo abierto.....	75
Figura 46. Esquema electrónico del ATmega328P.....	76

Figura 47. Circuito en PCB esquema real.	76
Figura 48. Circuito en PCB vacío.....	77
Figura 49. Construcción de la estructura metálica de la mesa ergonómica.....	82
Figura 50. Construcción de la gaveta con sistema de rodamientos.	82
Figura 51. Construcción del soporte y mecanismo del tornillo sin fin.....	83
Figura 52. Construcción del soporte del tablero.....	83
Figura 53. Roachines delanteros de la mesa ergonómica automatizada.....	84
Figura 54. Circuito en protoboard.	84
Figura 55. Circuito eléctrico en PCB.	85
Figura 56. Montaje de los componentes del circuito electrónico en PCB.....	86
Figura 57. Circuito en caja con las conexiones eléctricas.	86
Figura 58. El pedal que controla el giro del motor.....	87
Figura 59. Finales de carrera en el tope mínimo y máximo del motor.....	87
Figura 60. Configuración del driver HY-DIV268N-5A.....	88
Figura 61. Relación de torque vs velocidad.	89
Figura 62. Configuración de corriente de driver.	90
Figura 63. Pruebas de las partes mecánicas de la mesa de trabajo automatizado.	91

Lista de tablas

Tabla 1. Costo total del proyecto..... 91

Resumen del proyecto: CONSTRUCCIÓN DE UNA MESA ERGONÓMICA AUTOMATIZADA PARA UN JOVEN ESTUDIANTE EN CONDICIONES DE DISCAPACIDAD DE FÍSICA (FOCOMELIA) DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

El desarrollo de este proyecto, se presenta el diseño y la construcción de una mesa ergonómico automatizado funcional para un joven estudiante de la “Universidad de Pamplona”, en la ejecución de este trabajo se tiene en cuenta en donde el joven recibe las clases y lleva a cabo sus trabajos de arte visuales como son la elaboración de planos, dibujos y pintura, por lo tanto con este sistema se le facilitará su proceso de aprendizaje, el desarrollo de sus habilidades y su capacidad intelectual y en el futuro a otras personas que presenten discapacidades físicas similares, contribuyendo a que población discapacitada puedan tener las condiciones adecuadas para su formación y educación.

Para la implementación este proyecto se hizo una búsqueda bibliográfica con la intención de encontrar un sistema de un puesto ergonómico automático que cumpliera con los requisitos de acuerdo a la necesidades planteadas por el joven, pero ninguno cumplía con todas exigencias, por tal razón se propuso la tarea de diseñar un puesto ergonómico automatizado, y para ello se toman varias ideas de la integración de diferentes sistemas, como en el caso del mecanismo de las camas eléctricas, con la incorporación una silla con espaldar, una gaveta lateral y un sistema de pedal similar a las que controlan de las máquinas de coser. Para el control de tablero se utiliza un mecanismo manivela, biela, corredera. Esta última funciona de forma similar a la de un grado de libertad de una CNC con un tornillo sin fin para darle torque, robustez y mantener su posición deseada a través de un pedal manejado con los pies.

Palabras claves: Ergonomía, Automatización, software CAD, Control, Drivers, Motor paso a paso, tornillo sin fin.

Introducción

En la actualidad la automatización es un factor muy importante para mejorar la calidad de vida de las personas y especialmente las que presentan discapacidades físicas, través de los avances tecnológico es fundamental apoyar esta comunidad para que tengan la oportunidad de ser competitivos en el mundo académico y laboral, ya que por medio de estos sistemas automáticos las personas se encuentre en las condiciones óptimas en desarrollar sus habilidades al máximo potencial y no se limiten por sus condiciones físicas. Para que el proyecto propuesto obtenga resultados positivos se le hace una encuesta al joven con limitaciones física para ser más asertivos a la hora de ejecutar el diseño.

En la construcción de la mesa ergonómico, teniendo claro los resultados que se quiere lograr, obtenido de la entrevista al joven de sus necesidades, se diseñará la integración de la estructura que soporta los componentes en un software CAD, y para tener una idea más clara de lo que se quiere alcanzar y así optimizar su construcción, ya obteniendo el diseño en 3D, se hará una simulación de movimiento del mecanismo que controla el área de trabajo, y así comprobar su funcionamientos de las partes móviles, y para ello se tendrá en cuenta las medidas optimas del joven presente, en función que otras personas también puedan utilizarla y las exigencias requeridas, el diseño se dará a conocer de forma muy detallada en 3D en el software al joven para que dé su opinión de acuerdo a sus necesidades, y además para que el puesto ergonómico sea fácil de transporta a largas distancias y se pueda cambia piezas o componentes cuando estas se desgaste o se dañe, se diseñará la estructura por partes ensamblables de manera que se pueda desarmar, transportar y volver a acoplar para su uso.

En la implementación de este proyecto se realizó una búsqueda bibliográfica de diferente mecanismo que sean adecuados para controlar el área de trabajo, entre ellos se

encontraron varios como las camillas de los centros médicos, éste utiliza un tornillo sin fin que transmite el movimiento a un costado de la camilla para elevar u inclinar el espaldar de la misma, y también son utilizados de los gatos hidráulicos para elevar plataformas de alta carga, otro mecanismo muy utilizado a nivel industrial son los cilindros hidráulicos y eléctricos, haciendo una inspección a centros comerciales se observó el uso frecuente de los pistones eléctricos en las camas automáticas para elevar el espaldar y el pie de cama, un último que se hizo un diseño que es un mecanismo de 4 barras pero para que éste fuera viable se debería adicionar otro mecanismo para mantener la posición deseada.

La selección del mecanismo se hará de una manera muy sencilla y práctica, como es un sistema manivela biela corredera, se selecciona el tornillo sin fin como corredera por la estabilidad, torque y robustez que tiene la misma y para determinar las dimensiones óptimas de mecanismo se hará el cálculo el análisis cinemático de posición para determinar la distancia de la corredera (tornillo sin fin) y biela de acuerdo a la distancia de la manivela y los ángulos deseados en las posiciones de elevación máximo y la inclinación mínima. Las dimensiones de la silla y el tablero (área de trabajo) se tendrán en cuenta por las medidas antropométricas de joven y sus necesidades en sus clases y del salón donde las realiza que son materias donde se efectúan planos, pinturas y dibujo artístico, finalmente para que el joven controle el ángulo de elevación de su área de trabajo se diseñará un pedal fácil de operar utilizando los pies con señalizaciones y sus respectivos indicadores dependiendo de las operaciones a realizar a su comodidad.

1. Planteamiento del problema y justificación

La focomelia es una malformación rara que afecta a uno de cada 20.000 recién nacidos y que se asocia con la talidomida. Un estudio, en el que participa el grupo de Marian Ros, del CSIC de Santander, explica que se trata de un defecto en la diferenciación celular. (Galloway, Delgado, Ros, & Tabin, 2009)

Un equipo del Instituto de Biomedicina y Biotecnología de Cantabria del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, coordinado por Marian Ros, y de la Universidad de Harvard, en Estados Unidos, ha descubierto nuevas claves sobre el origen de la focomelia, una rara enfermedad que causa un desarrollo deficiente de los huesos largos de las extremidades, lo que hace que estas sean más cortas de lo normal y, en casos extremos, que las manos, el pie o incluso los dedos surjan directamente del tronco. (Galloway, Delgado, Ros, & Tabin, 2009)

Las conclusiones, que permiten comprender mejor cómo se forman las malformaciones en las extremidades. (Galloway, Delgado, Ros, & Tabin, 2009)

El joven estudiante con discapacidad de síndrome de focomelia (sin extremidades superiores), se ha destacado en varias actividades como la participación en Natación Paralímpica y pintura apoyada por la Universidad de Pamplona, ya que ha estado vinculado desde la niñez al Centro de Atención Integral Materno Infantil de la Universidad de Pamplona “CAIMIUP” de la institución, este joven a pesar de las dificultades de su condición humana logro cursar su estudios secundarios con la ayuda de profesores y compañeros y obtener una beca por parte de la Universidad de Pamplona sin tener que pagar nada incluyendo gastos personales ya que la Universidad a través del consejo superior le otorgó una beca para estudiar en la misma institución. El joven al enterarse de la propuesta universitaria y con la oportunidad de estudiar en cualquier facultad se decidió por estudiar artes visuales, pues siempre le ha gusta la pintura, a pesar de no tener brazos este muchacho ha logrado superar

los obstáculos y obtener una formación profesional. (“Nació sin brazos y logró una beca en la Unipamplona,” n.d.)

A través de los años este joven ha venido teniendo problemas de salud, y una de las causas más frecuente es adoptado posturas inadecuadas donde realiza sus actividades académicas, en posiciones que no le permiten que los músculos del cuello y la columna se relajen donde ha elaborado las clases, y en especial de artes visuales no cuenta con las condiciones ergonómicas debido a que la universidad no tiene con un puesto ergonómico especial para una persona con este tipo de discapacidad (ausencia de brazos) y en la industrial comercial tampoco se en cuenta puesto ergonómico que cumpla con las necesidades para el joven, de seguir con las mismas condiciones a las que ha venido ocurriendo le puede generar problemas de salud como por ejemplo una mala deformación por la inadecuada postura a la que se ha llegado acostumbrado, puede presentar dificultad, como es cifosis que es una curvatura de la columna vertebral que ya ha venido presentando, y a futuro puede desarrollar algún tipo de dolor, fatiga y sensibilidad ya que utiliza como silla sobre la misma mesa donde realiza sus trabajos artísticos y esto debido a su condición física, dicho de otra manera se le suma las largas clases prolongadas en artes visuales todos los días.

Con la automatización y los usos de sistemas o elementos computarizados nosotros como ingenieros debemos aportar soluciones a aquellas personas que por alguna razón dispone de alguna discapacidad física debido a su nacimiento, accidente o enfermedad entre otras causas, de este modo se le da las condiciones y oportunidades para que realicen su formación, educación y también puedan trabajar en condiciones especiales, porque algunas personas con este tipo de discapacidad han manifestado que han sido rechazados en la parte laboral, dado que los empleadores dicen que las condiciones no están dadas para una persona con cierta limitación física a la que no tienen en cuenta para empleos en cargos públicos o privados, y una de las labores por medio de la automatización es que estas personas tengan las

condiciones ergonómicas especiales y puedan realizar su actividades sin comprometer su salud para que logre tener una educación y elaborar en el trabajo.

Este proyecto se diseña una mesa ergonómico automatizado con el tamaño adecuado al joven para ello se hace la medida antropométricas del mismo, amoblada en el asiento y el espalda para mayor comodidad y ergonomía, además el tablero o el área de trabajo es móvil en la cual se puede elevar o inclinar según lo deseen para darle una postura ergonómica y esto se hace a través de pedal que está configurado para controlar un motor paso a paso por medio de un microcontrolador y un driver específico para este tipo de motor este sistema es alimentado por una fuente ATX de PC que transforma la corriente AC en DC y lo distribuye al driver, indicadores y al microcontrolador en las proporciones indicadas en datasheet o hoja de características de los componentes electrónicos.

1.1 Criterio de selección de los componentes

1.1.1 Por qué un motor pasó a paso

“Uno de los problemas principales al utilizar los motores de corriente continua es la falta de precisión en el arranque y el paro” los cuales son bruscos generando ruidos y vibraciones indeseables del motor, para solucionar este tipo de problema se utiliza un motor paso a paso nema 23, ya que este dispositivo electromecánico convierte los pulsos digitales en movimientos rotatorios mecánicos controlados.

“La proporción de la rotación es proporcional al número de pulsos generados, mientras que la velocidad de rotación se relaciona con la frecuencia de esos pulsos. Los impulsos, en definitiva, se definen por un ángulo predeterminado que es alimentado por un dispositivo programable.”

“Un motor paso a paso es la solución es idónea siempre y cuando la inercia del sistema sea reducida, es decir, el tiempo de aceleración y deceleración no sea largo. Y para esta aplicación que se necesita un accionamiento continuo 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.” (Compañía Levantina de Reductores, 2016)

1.1.2 Ventajas de los motores pasó a paso:

“Los motores paso a paso presentan las siguientes ventajas principales:

- Mayor exactitud en la posición y repetición de los movimientos.
- Error de paso inferior al 5%.
- Perfecta respuesta en arranque y parada.
- Confiable y duradero, ya que no existe contacto de escobillas.
- Ángulo de rotación proporcional a los pulsos de entrada.
- Gran rango de velocidades de rotación, ya que responde a la frecuencia de pulsos de entrada digitales.”

(Compañía Levantina de Reductores, 2016)

1.2 Uso de un tornillo sin fin

“En principio un tornillo sin fin es un dispositivo mecánico que transmite el movimiento entre ejes que son perpendiculares entre sí, mediante un sistema de dos piezas que son el tornillo sin fin y la tuerca, cada vez que gira sobre su mismo eje genera un movimiento lineal, y es el tornillo el que hace girar al engranaje, y no al revés. Esto es debido a que la espiral del tornillo es notablemente perpendicular a los dientes de la rueda, dando un momento de giro prácticamente nulo cuando se intenta hacerla girar.”(Oberg, 1920)

1.2.1 Aplicaciones de los tornillos sin fin

Uno de los principales y más usados mecanismos de transmisión en cualquier proyecto mecánico. El sin fin actúa como un elemento motriz o de entrada que destaca por su sencillo funcionamiento y ganancia mecánica. Los tornillos sin fin engranan en una corona de tal forma que, por cada vuelta completa del tornillo, el engranaje gira un diente. Por lo tanto, para

el giro completo del engranaje se necesitarían tantas vueltas como dientes tenga el engranaje en cuestión.

Los sinfines se usan para transmitir fuerza y movimiento entre dos ejes perpendiculares o a 90°, es decir, pasamos de un movimiento radial en el eje x a un movimiento radial en el eje y (Compañía Levantina de Reductores, 2016)

1.2.2 Características de los tornillos sinfín

- Se pueden conseguir grandes reducciones en espacios reducidos, ya que su relación de transmisión es muy baja.
- Se puede conseguir realizar mecanismos irreversibles, es decir, no permiten el giro forzado en uno de los sentidos.
- Permiten rotar la dirección de salida del eje.”

(Compañía Levantina de Reductores, 2016)

1.2.3 Sistema de puertas automáticas

Una de los principales usos de los tornillos sinfín. En estos sistemas es necesario un movimiento en una dirección (derecha e izquierda) y un bloqueo en el sistema de final de carrera. Gracias a este mecanismo es posible el sistema de apertura y cierre de las puertas, ya que cada vez que los dos tornillos se encuentran la puerta queda cerrada. Concretamente, el sistema queda bloqueado gracias al engrane helicoidal. (Compañía Levantina de Reductores, 2019)

1.3 Implementación de un pedal

Un pedal es una pieza mecánica de una máquina que se acciona con el pie y consiste en una palanca que transmite el esfuerzo a un mecanismo. (Larousse Editorial, 2016)

Debido a la ausencia de brazos del joven un pedal es la mejor opción puesto que a través del mismo puede controlar el ángulo de elevación como facilidad debido a que posee habilidad y destreza en sus pies.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

- Construir un puesto de trabajo ergonómico automatizado para joven estudiante de la universidad de pamplona con discapacidad de síndrome de focomelia.

2.2 Objetivos específicos

- Definir las dimensiones y las condiciones ergonómicas del puesto de trabajo según su anatomía
- Comparar diferentes tipos de mecanismo y seleccionar uno adecuado para realizar el esfuerzo requerido.
- Seleccionar el mecanismo apropiado para el control del área de trabajo.
- Diseñar las dimensiones del mecanismo para controlar el movimiento del tablero
- Construir el puesto ergonómico con las características planteadas y los recursos disponibles comercialmente.
- Implementar el área de trabajo para ser manejado con las extremidades inferiores.
- Validar el funcionamiento del puesto ergonómico con varias pruebas.

3. Marco teórico y estado del arte

3.1 Ergonomía

La Ergonomía es una de las ciencias que componen el estudio del Diseño Industrial, Arquitectura, Ingeniería, Diseño de máquinas o de cualquier disciplina que toque con alguna actividad humana. (Cruz Gómez, 2010)

3.1.1 Rol del diseño

El origen del diseño comenzó cuando el hombre trató de entender el mundo que lo rodeaba. Valiéndose de su inteligencia consiguió facilitar las actividades que conllevan su existir, solucionando las necesidades propias de su grupo, para conseguir un medio ambiente confortable. Esto se logró, en gran parte, con la ayuda de artefactos que fueron evolucionando en un mundo cada vez más complejo, enriquecido con la acumulación de experiencias que se ampliaron y profundizaron hasta llegar al actual cuerpo de conocimientos llamado ciencia, que cuando aplicada para el mejoramiento de nuestro medio natural o artificial, por medio de artefactos, se convierte en tecnología. El hombre es el animal superior porque adapta el ambiente natural a sus necesidades. (Cruz Gómez, 2010)

3.1.2 Concepto de ergonomía aplicada

La ergonomía estudia los factores que intervienen en la interrelación hombre- artefacto (operario-máquina), afectados por el entorno. El conjunto se complementa recíprocamente para conseguir el mejor rendimiento; el hombre piensa y acciona, mientras que el objeto se acopla a las cualidades del hombre, tanto en el manejo como en aspecto y comunicación. El objetivo de la ergonomía es dar las pautas que servirán al diseñador para optimizar el trabajo a ejecutar por el conjunto conformado por el operario-artefacto. Se entiende como operario el usuario o persona que manipula el artefacto, y como entorno el medio ambiente físico y social que circunda al conjunto. (KENDALL, 2000)

3.2 Automatización

3.2.1 El futuro de la automatización

Los avances en robótica, inteligencia artificial y aprendizaje automático (machine learning) están abriendo el camino hacia una nueva era de automatización conforme las máquinas equiparan o superan el desempeño humano en una gran gama de actividades laborales, incluyendo las que requieren competencias cognitivas. En este informe que es parte de nuestra investigación permanente sobre el futuro del trabajo, analizamos el potencial de automatización de la economía mundial, los factores que determinan el ritmo y alcance de su adopción en el lugar de trabajo y el impacto económico asociado a su potencial. (Mckinsey Global Institute, 2017)

La automatización de las actividades posibilita que las empresas mejoren su desempeño al reducir los errores y mejorar la calidad y la velocidad; en algunos casos puede llevar a lograr resultados que vayan más allá de la capacidad humana. Como ya lo ha hecho a lo largo de la historia, la automatización también contribuye a mejorar la productividad. En épocas donde el crecimiento de la productividad es mediocre puede dar el impulso necesario para el crecimiento económico y la prosperidad, así como ayudar a compensar el impacto de la disminución de la población en edad de trabajar en muchos países. A partir de nuestro modelado de escenarios, estimamos que la automatización podrá aumentar el crecimiento de la productividad a nivel mundial de un 0.8 a un 1.4 por ciento anualmente. *f* De acuerdo a nuestro análisis de más de 2,000 actividades laborales en 800 profesiones, cerca de la mitad de las actividades por las cuales se pagan salarios equivalentes a \$15 billones en la economía mundial tienen el potencial de ser automatizadas si se adoptan tecnologías probadas. Aunque menos del 5 por ciento de todas las profesiones pueden ser automatizadas en su totalidad usando tecnologías probadas, cerca del 60 por ciento de todas las profesiones están integradas por actividades automatizables y que representan por lo menos el 30% de su total. (Mckinsey Global Institute, 2017)

Las actividades susceptibles a la automatización involucran actividades físicas en entornos altamente estructurados y predecibles lo mismo que las vinculadas con la recopilación y procesamiento de datos. En los EE.UU., constituyen el 51 por ciento de las actividades económicas y representan casi \$2.7 billones en salarios. Predominan en la manufactura, el alojamiento, la industria alimentaria institucional y el comercio al menudeo, incluyendo algunos empleos para trabajadores medianamente calificados. Los factores técnicos, económicos y sociales determinarán el ritmo y alcance de la automatización. El continuo avance técnico en áreas tales como el procesamiento del lenguaje natural es un factor clave. Más allá de la viabilidad técnica, del costo de la tecnología, de la competencia con la mano de obra (que incluye habilidades y dinámicas de oferta y demanda), las mejoras a desempeño (que incluyen y van más allá de los ahorros en costos de mano de obra), la aceptación social así como la regulación afectarán el ritmo y alcance de la automatización. Nuestros escenarios sugieren que la mitad de las actividades laborales de la actualidad pudieran automatizarse para el 2055 aunque esto puede ocurrir 20 años antes o después dependiendo de varios factores.

Las personas necesitarán seguir trabajando en conjunto con las máquinas para generar el crecimiento del PIB per cápita al que aspiran los países alrededor del mundo. Nuestros estimados de productividad parten del supuesto de que las personas desplazadas por la automatización encontrarán otro empleo. El cambio en las actividades de la fuerza laboral que se anticipa es de una magnitud similar a la época del alejamiento de las labores agrícolas y al decremento del nivel de importancia de los empleos de manufactura en los EE.UU., los cuales fueron acompañados por la creación de nuevos tipos de trabajos que no se vislumbraban en ese entonces. (Mckinsey Global Institute, 2017)

Para las empresas los beneficios de la automatización en el desempeño son relativamente claros pero la situación es más complicada para los funcionarios públicos. Ellos deben aprovechar la oportunidad de que la economía se beneficie del potencial de crecimiento de la

productividad e implementar las políticas que estimulen la inversión y los incentivos de mercado para fomentar el progreso y la innovación. Al mismo tiempo, deben lograr que las políticas evolucionen o que existan innovaciones que ayuden a los trabajadores e instituciones a adaptarse al impacto en el empleo. Lo más probable es que esto incluya reconsiderar la educación y el entrenamiento, transferencias y redes de seguridad, así como dar apoyo para la transición a quienes sean desplazados. Los individuos en el lugar de trabajo necesitarán interactuar más activamente con las máquinas como parte de sus actividades diarias y adquirir nuevas habilidades que se requerirán en la nueva era de la automatización. (McKinsey Global Institute, 2017)

3.3 Fuente de alimentación ATX

3.3.1 Configuración interna de la fuente ATX

Básicamente la fuente ATX incorpora una fuente secundaria independiente de la fuente principal, todo incluido en la misma placa de la fuente. Esta fuente secundaria se la conoce también como fuente de “Stand by”, es la responsable de entregar una tensión de +5 Volts siempre que la fuente esté conectada a la red eléctrica, aun estando la PC apagada. Esta tensión se denomina +5VSB, por lo general es un cable de color violeta en el conector principal, cabe aclarar que es independiente de la tensión principal +5V, representada por cables de color rojo en el mismo conector. (MATÍN ROBERTI, 2008)

3.3.2 Función de encendido de la fuente ATX

Su función es alimentar circuitos auxiliares de la placa madre tipo ATX, éstos son los que permiten encender y apagar el PC desde un simple pulsador conectado a la placa madre y no desde un interruptor que directamente desconecta el PC como en el caso de las PC AT, otra función es mantener la memoria RAM con alimentación mientras nuestro sistema “Hiberna”. Podemos decir entonces que la tecnología ATX posibilita al sistema operativo manejar la fuente, recordemos que en las PC tecnología AT, para apagar el sistema debíamos esperar que

aparezca en la pantalla de nuestro ordenador la leyenda “Es seguro apagar el equipo”, esto desaparece con la tecnología ATX. (MATÍN ROBERTI, 2008)

3.3.3 Especificaciones de la fuente ATX

Alimentación de 450 W

ENTRADA DE CA	100 a 240 V ~ 50 a 60 Hz, 10 A				
SALIDA DE CC	+12 V	+5 V	+3.3 V	-12 V	+5 VSB
	32 A	18 A	18 A	0.3 A	2.5 A
POTENCIA MÁX.	384 W	115 W		3.6 W	12.5 W
POTENCIA TOTAL	450 W				

Fuente de alimentación de 550 W

ENTRADA DE CA	100 a 240 V ~ 50 a 60 Hz, 10 A				
SALIDA DE CC	+12 V	+5 V	+3.3 V	-12 V	+5 VSB
	45 A	18 A	18 A	0.3 A	3 A
POTENCIA MÁX.	540 W	110 W		3.6 W	15 W
POTENCIA TOTAL	550 W				

Figura 1. Voltajes y corriente DC de salida de la fuente ATX.

Fuente: (INSIGNIA, 2017).

3.4 Motor paso a paso

3.4.1 Funcionamiento

El motor paso a paso es el convertidor electromecánico que permite la conversión de una información en forma de energía eléctrica, en una energía mecánica y una información de posición. Está constituido por un estator cuyos devanados se llaman fases y un rotor de un elevado número de polos. Su funcionamiento es síncrono y la alimentación cíclica de sus fases debe originar en cambio de configuración un giro elemental del rotor, constante, llamado paso.

Existe una gran diversidad de modelos de estos motores dependiendo del número de fases de su estator, de si la alimentación de estas es unipolar o bipolar, del número de paso por vuelta y de si su rotor es de reluctancia variable, imanes permanentes o híbridos.

En cuanto al control, existen tres modos de realizarlos, paso entero, medio paso y micropaso.

En el paso entero, cada vez que se modifica la alimentación de las fases del estator se avanza un paso disponiendo de par nominal del rotor.

En el medio paso se avanza sólo medio paso con lo que se dispone de mejor resolución, pero el par en las posiciones situadas entre pasos regulares se reduce a la mitad.

Estos dos tipos de funcionamiento disponen en el mercado de gran variedad de integrados para su control.

El funcionamiento en micropaso consiste en alimentar al mismo tiempo varias fases a la vez con corrientes medias distintas, de modo que la posición media del flujo en el entrehierro se puede fijar en cualquier posición. Con este funcionamiento se consigue una resolución inmejorable y existen en el mercado distintas tarjetas de control basadas en microprocesador.

Merece la pena comentar que el motor paso a paso es la primera de las máquinas eléctricas que sin el uso de la electrónica no tiene razón de ser.

El control de posición de motores paso a paso se puede efectuar en lazo abierto siempre que se tomen las precauciones necesarias para no perder ningún paso. Indicaremos que utilizando técnicas de PWM para el control de la corriente, asegurando de esta manera un aprovechamiento máximo de par y con la programación adecuada de aceleración y deceleración, se puede trabajar perfectamente en lazo abierto siempre que las variaciones que el par de carga sean conocidas de antemano. Es en estas aplicaciones de carga conocida donde el motor paso a paso tiene sus posibilidades industriales. En el caso de tener que accionar cargas desconocidas, su funcionamiento en lazo cerrado sería del todo perfecto, pero el coste del transductor de realimentación generalmente no justifica esta aplicación. (Eskubide guztiak erresalbatu dira, 2011)

3.4.2 Descripción de los motores paso a paso

La siguiente figura representa la sección de un típico motor paso a paso.

Estudiaremos de forma sencilla el funcionamiento de esta máquina.

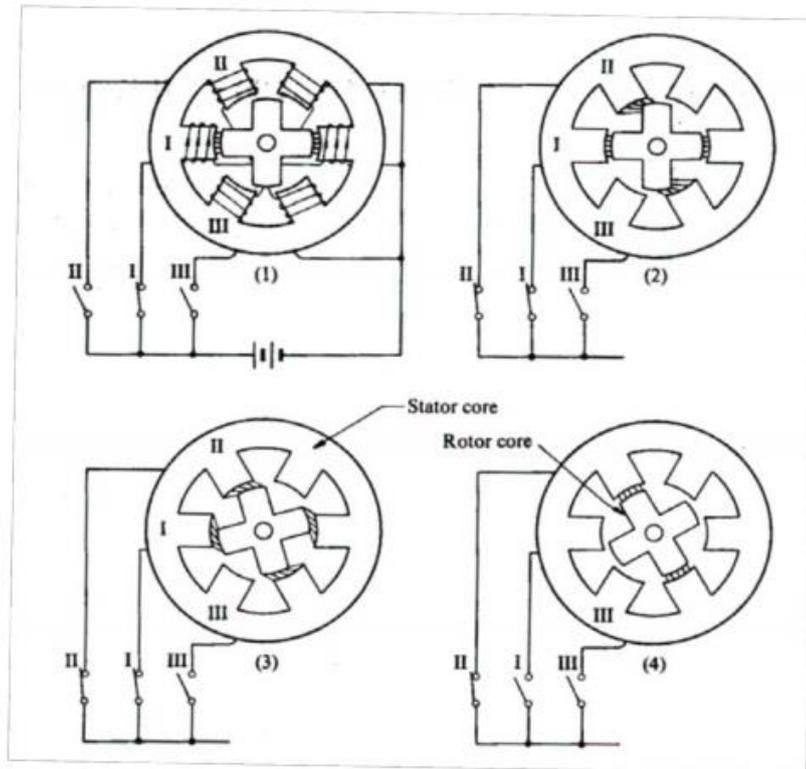


Figura 2. Esquema Básico de funcionamiento de un motor paso a paso.

Fuente: (Eskubide guztiak errsal dira, 2011).

El estator tiene seis polos salientes, mientras que el rotor solamente dispone de cuatro. Ambos se suelen construir generalmente de acero blando. Los polos del estator se han bobinado para formar tres fases, cada una de las cuales consta de dos bobinas conectadas en serie y situadas físicamente en polos opuestos. La corriente se aplica desde una fuente de potencia DC a través de los interruptores I, II y III.

Estando el motor en el estado (1) es la fase I que está excitada. El flujo magnético que cruza el entrehierro debido a esta excitación se indica con flechas. En este estado los dos polos del estator pertenecientes a la fase I están alineados con dos de los cuatro polos del rotor, permaneciendo este en posición de equilibrio.

Continuamos con el estado (2). Para ello cerramos el interruptor II. Primeramente se establece el flujo representado en (2), creándose un par en sentido anti-horario, debido a las tensiones Maxwell, que obliga al rotor a alcanzar la posición de equilibrio del estado (3), girando para ello 15° .

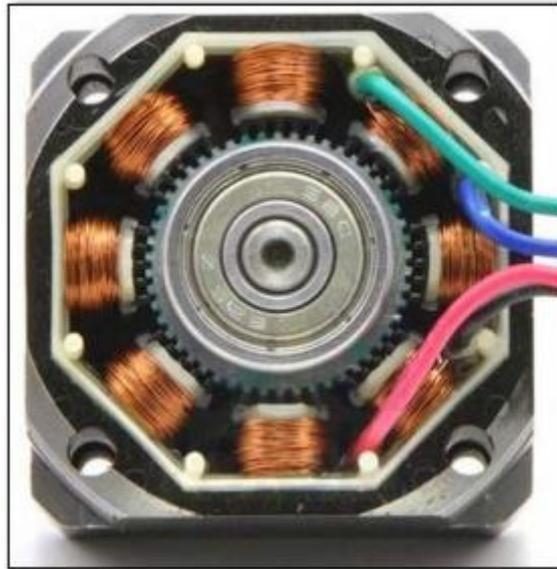


Figura 3. Embobinado de un motor paso a paso.

Fuente: (Eskubide guztiak errsal dira, 2011).

Cada vez que realizamos una apertura o cierre de un interruptor se produce un giro de 15° de rotor. Este ángulo fijo se denomina ángulo de paso y es una característica básica dentro de este tipo de motores. Existen motores paso a paso con una extensa variedad de ángulos de paso dependiendo de la mayor o menor resolución que necesite. Así existen motores con ángulos que van desde las décimas de grado hasta los 90° .

Si ahora abrimos el interruptor I, el rotor alcanza la posición de equilibrio representada en el estado (4).

Siguiendo una secuencia correcta de control de la apertura y cierre de los interruptores, podremos girar el motor en el sentido y a la velocidad que deseemos con la ventaja de no tener que utilizar ningún tipo de realimentación, Además el error de posición que puede tener este tipo de motores no es acumulativo y tiende a cero en cuatro pasos, es decir cada 360o eléctricos. Cada cuatro pasos el rotor vuelve a la misma posición con respecto a la polaridad

magnética y a la trayectoria del flujo. La precisión en el posicionado es un factor que mide la calidad de estos motores. Se diseñan de modo que tras recibir una señal eléctrica pasen de una situación de equilibrio a otra posición de equilibrio diferente separada de la anterior un determinado ángulo. Esta precisión depende en gran manera del mecanizado del rotor y estator con lo que su fabricación es delicada. Cuando una carga se aplica sobre el eje, se produce un par elevado que trata de posicionar el rotor en su posición natural de equilibrio. La responsabilidad de que este par sea mayor o menor recae en el entrehierro. Cuanto más pequeño sea, y esto depende del al calidad de la fabricación, el par que presente el motor a la carga y su precisión serán mayores.(Eskubide guztiak erresalbatu dira, 2011)

3.4.3 Características comunes de los motores paso a paso:

Un motor paso a paso se define por estos parámetros básicos:

3.4.3.1 Voltaje.

Los motores paso a paso tienen una tensión eléctrica de trabajo. Este valor viene impreso en su carcasa o por lo menos se especifica en su hoja de datos. Algunas veces puede ser necesario aplicar un voltaje superior para lograr que un determinado motor cumpla con el torque deseado, pero esto producirá un calentamiento excesivo y/o acortará la vida útil del motor. (Robots Argentina, 2019)

3.4.3.2 Resistencia eléctrica

Otra característica de un motor paso a paso es la resistencia de los bobinados. Esta resistencia determinará la corriente que consumirá el motor, y su valor afecta la curva de torque del motor y su velocidad máxima de operación. (Robots Argentina, 2019)

3.4.3.3 Grados por paso

Generalmente, este es el factor más importante al elegir un motor paso a paso para un uso determinado. Este factor define la cantidad de grados que rotará el eje para cada paso completo. Una operación de medio-paso o semi-paso (half step) del motor duplicará la

cantidad de pasos por revolución al reducir la cantidad de grados por paso. Cuando el valor de grados por paso no está indicado en el motor, es posible contar a mano la cantidad de pasos por vuelta, haciendo girar el motor y sintiendo por el tacto cada "diente" magnético. Los grados por paso se calculan dividiendo 360° (una vuelta completa) por la cantidad de pasos que se contaron. Las cantidades más comunes de grados por paso son: $0,72^\circ$, $1,8^\circ$, $3,6^\circ$, $7,5^\circ$, 15° y hasta 90° . A este valor de grados por paso usualmente se le llama la resolución del motor. En el caso de que un motor no indique los grados por paso en su carcasa, pero sí la cantidad de pasos por revolución, al dividir 360° por ese valor se obtiene la cantidad de grados por paso. Un motor de 200 pasos por vuelta, por ejemplo, tendrá una resolución de $1,8^\circ$ por paso. (Robots Argentina, 2019)

3.4.4 Clasificación de motor paso a paso

Anteriormente se ha dedicado un breve apartado para explicar el principio general de funcionamiento de estos motores de una manera sencilla. Vamos a profundizar un poco más ya que dependiendo de su estructura física se puede hacer una clasificación en función del principio de funcionamiento. (Eskubide guztiak erresalbatu dira, 2011)

3.4.4.1 Motores de reluctancia variable

Pertenece a esta categoría la mayoría de los motores paso a paso que se encuentran en el mercado. La figura mostrada a continuación nos servirá para indicar su funcionamiento:

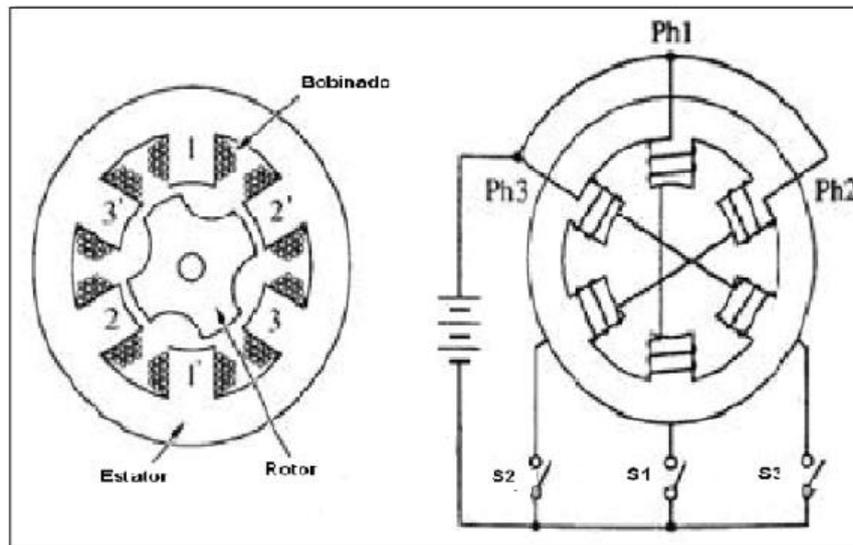


Figura 4. Sección de un motor paso a paso de reluctancia variable.

Fuente: (Eskubide guztiak erresalbatu dira, 2011).

En esta figura se representa un motor de tres fases con seis dientes salientes en el estator. Cada par de polos separados 180° entre sí constituyen una fase. Las bobinas de cada fase arrolladas sobre los correspondientes polos se conectan en serie. El rotor consta de cuatro polos. Tanto el rotor como el estator deben de estar contruidos con materiales de alta permeabilidad magnética y ser capaces de permitir el paso de un gran flujo magnético incluso cuando se aplique una pequeña fuerza magnetomotriz.

Aun cuando no siempre tiene por qué ser así, vamos a asumir que las polaridades de los polos pertenecientes a la misma fase son opuestas. Por tanto, en la figura 4 constituirán el polo norte y los polos I', II' y III' el polo sur cuando circule corriente por sus devanados. La corriente de cada fase se controla mediante la apertura y cierre de los diferentes interruptores. (Eskubide guztiak erresalbatu dira, 2011)

Si una corriente se aplica a las bobinas de la Fase 1º, dicho de otro modo, si excitamos las Fase 1, se establecerán unas líneas de flujo similares a las representadas en la figura 5

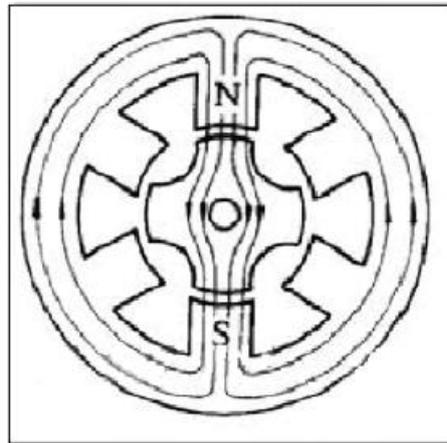


Figura 5. Líneas de flujo.

Fuente: (Eskubide guztiak erresalbatu dira, 2011).

El rotor se posicionará de modo que queden alineados dos polos opuestos suyos con los polos I y I' del estator. Cuando los polos del rotor y del estator quedan alineados se minimiza la reluctancia magnética del circuito magnético y el motor se encuentra entonces en una posición de equilibrio. Si el rotor tiende a moverse de su posición de equilibrio debido al par generado por la presencia de una carga externa, internamente se genera un par en sentido contrario que intenta conducir al rotor a su posición de equilibrio original. La figura 6 ilustra esta situación.

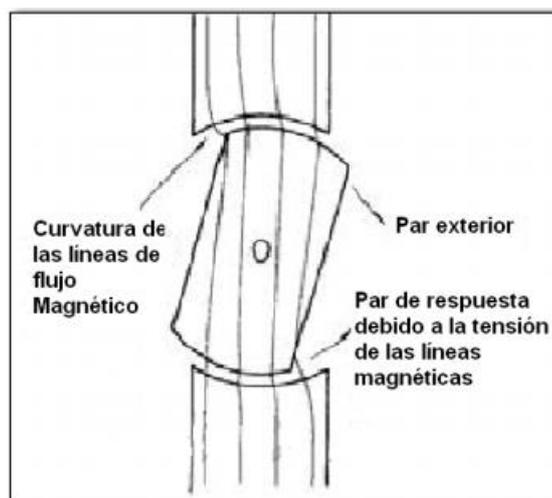


Figura 6. Disposición de líneas de flujo al aplicarse un par de extremo.

Fuente: (Eskubide guztiak erresalbatu dira, 2011).

En esta figura el par externo se aplica en el sentido horario y el rotor se desplaza en esa misma dirección. Como resultado de este desplazamiento las líneas de flujo magnético que atraviesan el entrehierro y que inicialmente, antes de aplicar ningún par externo, eran rectilíneas se curvan en los bordes de los polos del estator y rotor. Estas líneas magnéticas tienden a ser cortas y rectilíneas como sea posible, creando una tensión, conocida como tensión de Maxwell, que provoca un par de sentido contrario al par inicial que había distorsionado estas líneas de flujo. Se puede ver en la misma figura como cuando los polos del rotor y del estator están desalineados la reluctancia magnética es mayor, de modo que el motor de reluctancia variable trabaja siempre en condiciones de reluctancia mínima. Veamos ahora qué ocurre cuando la Fase 1 se desconecta y se conecta las Fase 2. La reluctancia magnética del motor vista desde la fuente de potencia DC se incrementará súbitamente justo después de la conmutación de los interruptores. El resultado se puede ver en la figura 7, el rotor girará 30° en sentido anti-horario con el fin de restablecer las condiciones de reluctancia mínima. (Eskubide guztiak erresalbatu dira, 2011)

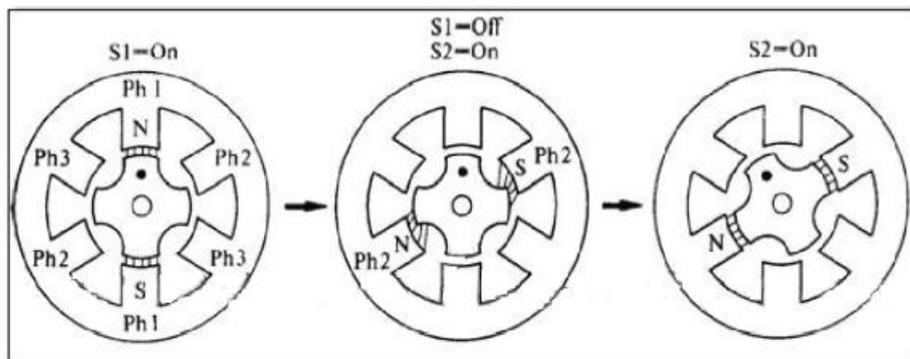


Figura 7. El rotor se desplaza un paso al cambiar la excitación de la Fase I a la Fase II.

Fuente: (Eskubide guztiak erresalbatu dira, 2011).

El entrehierro debe ser tan pequeño como sea posible para producir pares grandes a partir de pequeños volúmenes de rotor y poder alcanzar gran precisión en el posicionado. La figura

8 muestra dos entre-hierros diferentes. Para el mismo valor de fuerza magnetomotriz un entrehierro pequeño proporcionará mayor flujo magnético, lo que se traduce en un par mayor.

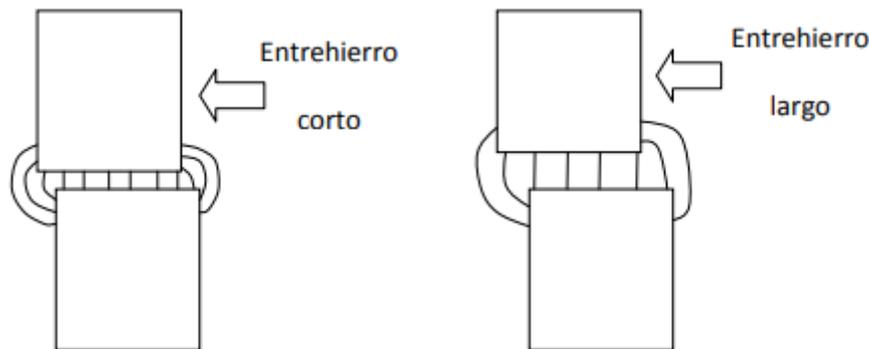


Figura 8. Comparación de las líneas de flujo para dos entrehierros diferentes.

Fuente: (Eskubide guztiak erresalbatu dira, 2011).

Está claro que el desplazamiento a partir de la posición de equilibrio cuando se aplica un par externo es más pequeño cuanto menor sea el entrehierro. Bajo otro punto de vista y olvidándonos de la figura 2.7 es posible también afirmar la necesidad de que el entrehierro sea el menor posible. El citado entrehierro es también el lugar donde se almacena prácticamente toda la energía en un circuito magnético. Pero en los motores paso a paso no deseamos que la energía suministrada por la fuente de potencia se almacene en ningún entrehierro sino que lo que se pretende es convertir la mayor parte de ella en trabajo mecánico de movimiento del rotor. Por tanto, toda la energía que se almacene en el entrehierro es energía de pérdidas que hay que minimizar construyendo entrehierros con el menor espesor posible. Actualmente los entrehierros van desde los 30 hasta las 100 μ m.

Para disminuir el ángulo de paso es necesario aumentar los polos del estator y el rotor. En el estator se suelen incluir una serie de dientes en cada polo, todos con la misma polaridad cuando se excita la fase correspondiente, para conseguir ángulos de paso menores. (Eskubide guztiak erresalbatu dira, 2011)

3.4.4.2 Motores de imán permanente

Se denominan así el motor paso a paso que posee un imán como rotor. Para explicar el funcionamiento de este tipo de motores estudiaremos las figura 9 que representa un motor paso a paso de imán permanente de cuatro fases.(Takashi Kenjo, 1984)

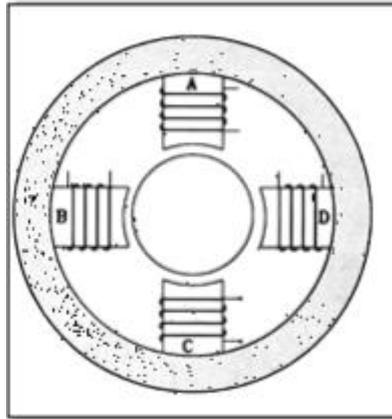


Figura 9. Motor paso a paso de imán permanente de cuatro fases.

Fuente: (Takashi Kenjo, 1984).

El imán cilíndrico se utiliza como rotor. El estator, por el contrario, está formado por cuatro polos bobinados constituyendo cada uno de ellos una fase diferente. Cuatro interruptores conectando cada fase con una fuente de potencia DC completan el esquema de control del motor. Si las fases se excitan con la secuencia Fase 1-> 2-> 3-> 4 el motor girará en sentido horario girando en cada paso 90°. Para disminuir el ángulo de paso es necesario aumentar los polos del estator y los polos magnéticos del rotor.

Una característica destacable de este tipo de motores es que el rotor permanece en posiciones fijas aunque se desconecte la fuente de potencia. Estas posiciones coinciden con las posiciones que va alcanzando el motor si es excitado con una secuencia tal que en todos los casos es una sola fase la que está excitada.

Una desventaja importante de este tipo de motores es que la máxima densidad de flujo viene limitada por el magnetismo remanente del rotor.(Takashi Kenjo, 1984)

3.4.4.3 Motores híbridos

Este tipo de motores también tiene por rotor un imán permanente. Se le denomina híbrido porque su funcionamiento se basa en los dos tipos de motores explicados anteriormente.

(Takashi Kenjo, 1984)

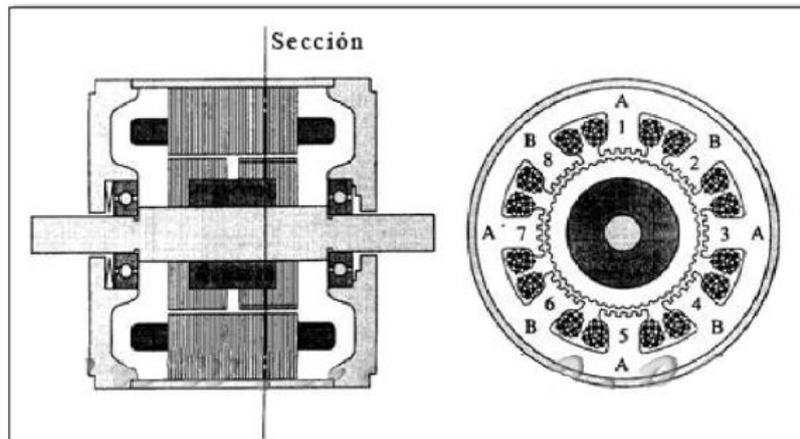


Figura 10. Sección de un motor paso a paso Híbrido.

Fuente: (Takashi Kenjo, 1984).

La figura 10 ilustra un motor típico de estas características con cuatro fases. La estructura del estator coincide con la de un motor de reluctancia variable, no así los arrollamientos, ya que en este caso los dientes de los polos pueden corresponder a fases diferentes. En el caso de la figura, las bobinas de dos fases diferentes se arrollan en el mismo polo con lo cual según qué fase esté excitada en cada momento el polo pertenecerá a una fase o a otra.

Otra característica importante es la estructura del rotor.(Takashi Kenjo, 1984)

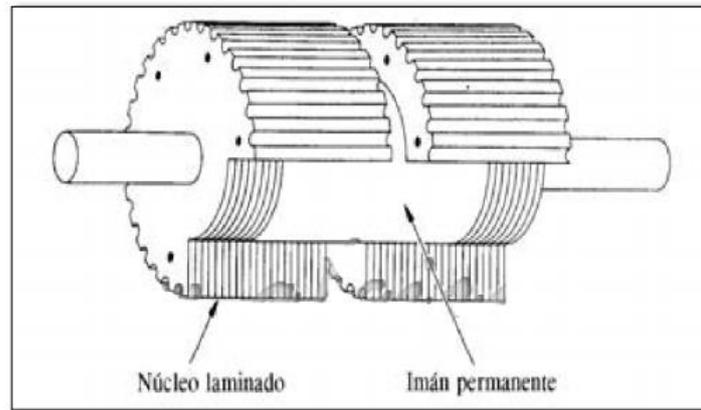
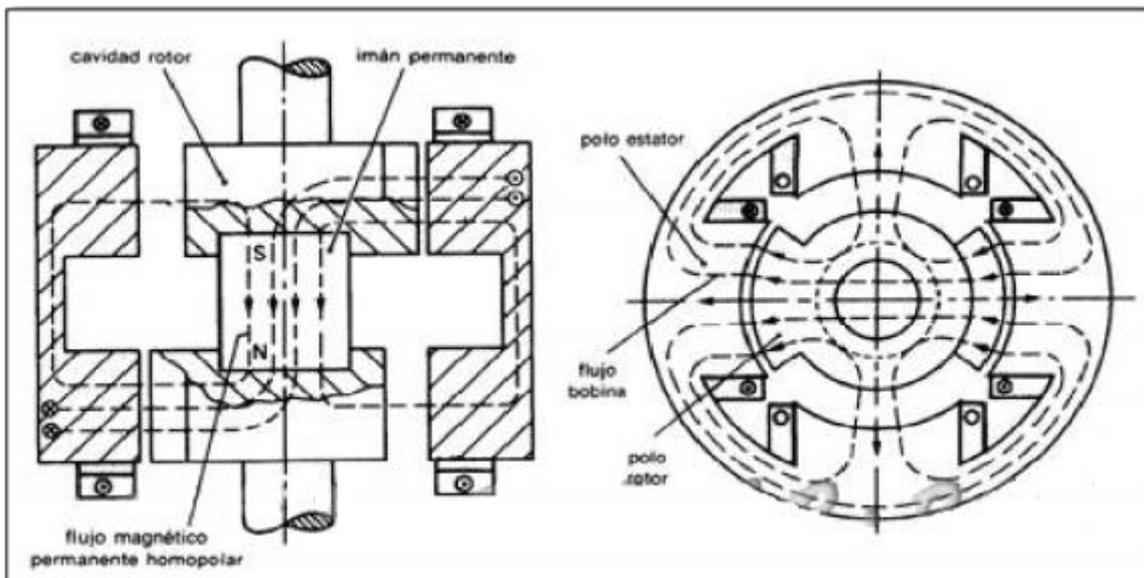


Figura 11. Estructuración del rotor en un motor híbrido.

Fuente: (Takashi Kenjo, 1984).

La figura 11 ilustra como un imán permanente de forma cilíndrica se aloja en el núcleo del rotor. Está magnetizado longitudinalmente. Cada polo de este imán está recubierto de una estructura cilíndrica dentada construida generalmente de acero blando. Los dientes de las dos secciones están desalineados medio diente unos respecto a otros. (Takashi Kenjo, 1984)



(a)

(b)

Figura 12. (a) Líneas de flujo producidas por el imán permanente del rotor, (b) líneas de flujo producidas por el imán permanente del rotor.

Fuente: (Takashi Kenjo, 1984).

El campo magnético generado por las bobinas del estator se representa en la figura 12.b.

El funcionamiento para una secuencia de una fase activa lo muestra la figura 13. En el estado 1 los polos de la fase A están excitados, y los dientes del polo 1 atraen a los dientes del rotor del polo norte, mientras que los del polo 3 atraen de igual forma a los dientes del polo sur del rotor. Cuando la corriente (i) es conmutada a la fase B (estado 2), el rotor se desplaza un cuarto de espacio de un diente, quedando alineados el polo norte del rotor con el polo 2 del estator y el polo sur del rotor con el polo 4 del estator. De nuevo la corriente ($-i$) se conmuta a la fase A (estado 3) produciéndose un nuevo desplazamiento del rotor en un cuarto de espacio de diente, quedando alineado en sentido opuesto (polo 1 con polo sur y polo 3 con polo norte). Otra conmutación de la corriente ($-i$) en la fase B (estado 4) produce un nuevo desplazamiento y una nueva alineación inversa de los polos de esta fase con el rotor. Retornando al estado 1 (i), el rotor ha dado 4 pasos de un cuarto del espacio de un diente (Takashi Kenjo, 1984).

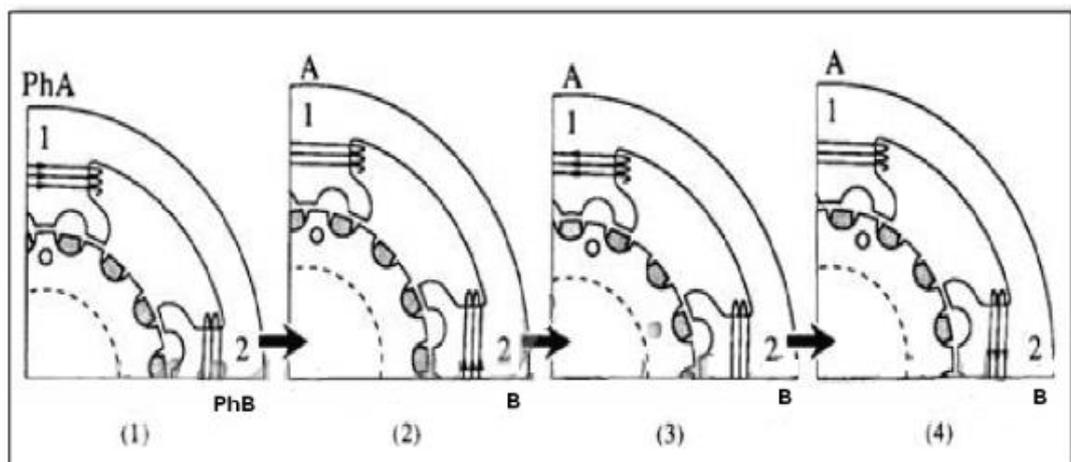


Figura 13. Operación de una fase activa de un motor híbrido de dos fases.

Fuente: (Takashi Kenjo, 1984).

3.4.4.4 Motores de imanes permanentes “Claw-Poles”

Con la explicación de los tres tipos de motores anteriores se tiene ya un conocimiento básico del principio por el que operan la gran mayoría de los motores paso a paso. A la hora

de su construcción, estos motores difieren ligeramente del modelo teórico al que deberían pertenecer y otro tanto ocurre con su modo de operación. Este es el caso del motor utilizado en este proyecto, que se puede encuadrar dentro de la categoría de motores de imanes permanentes, pero que su especial construcción lleva a dedicarle un apartado exclusivo con el fin de comprender mejor su funcionamiento. La figura 14 muestra la sección de uno de estos motores. (Takashi Kenjo, 1984)

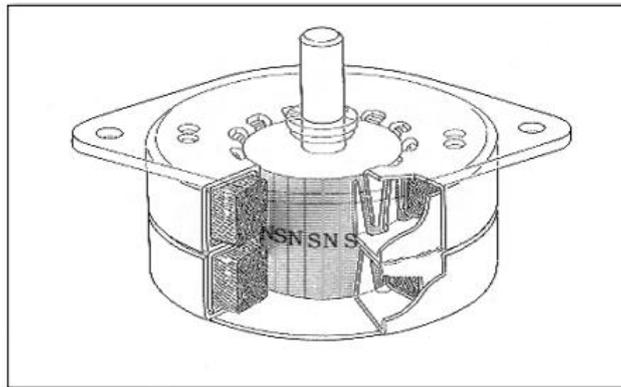


Figura 14. Sección de un motor de imán permanente "claw-pole".

Fuente : (Takashi Kenjo, 1984).

Se observa como el estator está formado por dos partes. Cada una de estas partes está formada a su vez por dos estructuras provistas de dientes afilados que se entrelazan. Por el interior de estas estructuras dentadas se sitúan las bobinas necesarias para crear el campo magnético en el estator; en nuestro motor el número de bobinas es dos, una en cada parte del estator. Los dientes entre cada parte del estator están desalineados, una distancia correspondiente a medio diente. En este tipo especial de motores paso a paso, el rotor los constituye un imán permanente magnetizado con polaridad norte y sur tantas veces como pares de dientes entrelazados tiene el estator.

El movimiento se produce por la tensión de Maxwell originada en cada cambio de excitación de las fases debido a las polaridades magnéticas en rotor y estator. En cada paso el motor se desplaza medio diente hacia un sentido u otro, dependiendo del sentido de la

corriente por las bobinas. Un motor bifásico con doce pares de dientes entrelazados en cada parte del estator dará cuarenta y ocho pasos por revolución lo que supone un ángulo de paso de 7.5°. (Takashi Kenjo, 1984)

3.4.5 Tipos de motores paso a paso

3.4.5.1 Motores unipolares

Los motores paso a paso unipolares están compuestos por dos devanados, cada uno con una derivación central. La toma central se lleva fuera del motor como dos cables separados (como se muestra en la Figura 15) o se conectan entre sí internamente y traído fuera del motor como un cable. Como resultado, los motores unipolares tienen 5 o 6 cables.

Independientemente de la cantidad de cables, los motores unipolares se accionan de la misma manera. El (los) cable (s) central (es) está (n) conectado (s) a una fuente de alimentación y los extremos de las bobinas están alternativamente conectados a tierra.

Los motores paso a paso unipolares, como todos los motores de imanes permanentes e híbridos, funcionan de manera diferente a los motores de reluctancia variable. En lugar de operar minimizando la longitud de la ruta de flujo entre los polos del estator y los dientes del rotor, donde la dirección del flujo de corriente a través de los devanados del estator es irrelevante, estos motores operan atrayendo los polos norte o sur del rotor permanentemente magnetizado al polos del estator. Por lo tanto, en estos motores, la dirección de la corriente a través de los devanados del estator determina qué polos del rotor serán atraídos a qué polos del estator. La dirección de la corriente en los motores unipolares depende de qué mitad de un devanado esté energizado. Físicamente, las mitades de los devanados están enrolladas paralelas entre sí. Por lo tanto, un devanado actúa como un polo norte o sur, dependiendo de qué mitad esté alimentado.

La figura 15 muestra la sección transversal de un motor unipolar de 30 grados por paso. El devanado del motor número 1 se distribuye entre los polos del estator superior e inferior, mientras que el devanado del motor número 2 se distribuye entre los polos del motor

izquierdo y derecho. El rotor es un imán permanente con seis polos, tres nortes y tres sures, como se muestra en la Figura 15. (Dr. Douglas W. Jones, 2004)

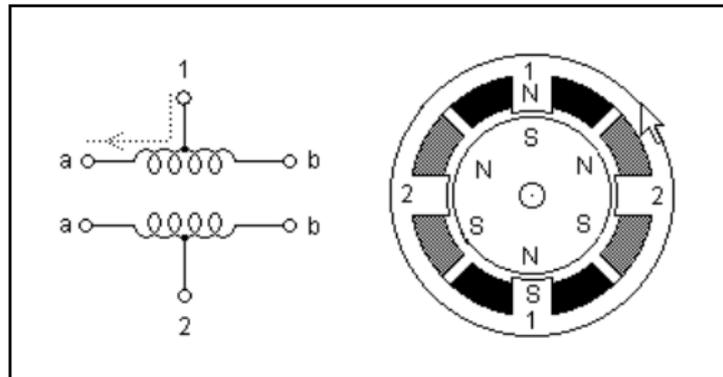


Figura 15. Esquema eléctrico de un motor paso a paso bipolar.

Fuente: (Dr. Douglas W. Jones, 2004).

La diferencia entre un motor paso a paso de imán permanente y un motor paso a paso híbrido radica en cómo se construyen el rotor multipolar y el estator multipolar. Estas diferencias se discutirán más adelante.

La figura 15 ilustra el motor unipolar más básico. Para resoluciones angulares más altas, el rotor debe tener más polos. Se han realizado rotores de imanes permanentes con 100 polos, y este recuento de polos se logra comúnmente para rotores híbridos, utilizando tapas dentadas en un simple imán permanente bipolar. Cuando el rotor tiene un recuento alto de polos, los polos del estator siempre están dentados para que cada devanado del estator funcione contra una gran cantidad de polos del rotor. (Dr. Douglas W. Jones, 2004)

3.4.5.2 Motores bipolares

Los motores paso a paso bipolares están compuestos por dos devanados y tienen cuatro cables. A diferencia de los motores unipolares, los motores bipolares no tienen toma central. La ventaja de no tener derivaciones centrales es que la corriente atraviesa un devanado completo a la vez en lugar de solo la mitad del devanado. Como resultado, los motores

bipolares producen más torque que los motores unipolares del mismo tamaño. La desventaja de los motores bipolares, en comparación con los motores unipolares, es que los motores bipolares requieren circuitos de control más complejos.

El flujo de corriente en el devanado de un motor bipolar es bidireccional. Esto requiere cambiar la polaridad de cada extremo de los devanados. Como se muestra en la Figura 3, la corriente fluirá de izquierda a derecha en el devanado 1 cuando 1a es positiva y 1b es negativa. La corriente fluirá en la dirección opuesta cuando se cambie la polaridad en cada extremo. Un circuito de control, conocido como puente H, se utiliza para cambiar la polaridad en los extremos de un devanado. Cada motor bipolar tiene dos devanados, por lo tanto, se necesitan dos circuitos de control de puente H para cada motor. El puente H se trata con más detalle en la sección "Circuitos de control básicos".

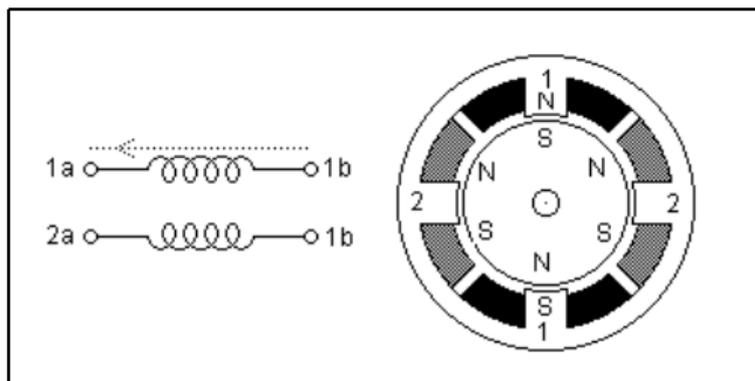


Figura 16. Esquema eléctrico del motor paso a paso bipolar.

Fuente: (Dr. Douglas W. Jones, 2004).

La Figura 16 ilustra un motor bipolar de 30 grados por paso. El devanado del motor 1 se distribuye entre los polos del estator superior e inferior, mientras que el devanado del motor 2 se distribuye entre los polos del estator izquierdo y derecho. El rotor es un imán permanente con 6 polos, 3 sur y 3 norte dispuestos alrededor de su circunferencia.

Al igual que un motor unipolar, los motores bipolares pueden ser de un solo paso con dos secuencias de control diferentes. Usando + y - para indicar la polaridad de la potencia

aplicada a cada terminal del motor y 0 para indicar que no se aplica potencia. (Dr. Douglas W. Jones, 2004)

3.4.5.3 *Unipolar versus Bipolar*

Los motores paso a paso de imanes permanentes e híbridos están disponibles con bobinados unipolares, bipolares o bifilares; este último puede usarse en configuraciones unipolares o bipolares. La elección entre usar un sistema de unidad unipolar o bipolar se basa en cuestiones de simplicidad de unidad y relación potencia / peso.

Los motores bipolares tienen aproximadamente un 30% más de par motor que un motor unipolar equivalente del mismo volumen. La razón de esto es que solo la mitad de un devanado se energiza en un momento dado en un motor unipolar. Un motor bipolar utiliza todo un devanado cuando energizado

El mayor par generado por un motor bipolar no viene sin un precio. Los motores bipolares requieren circuitos de control más complejos que los motores unipolares (consulte “Circuitos de control básicos”). Esto tendrá un impacto en el costo de una aplicación.

En caso de duda, un motor unipolar o motor bifilar son buenas opciones. Estos motores se pueden configurar como motores unipolares o bipolares y la aplicación se puede probar con los motores que funcionan en cualquier modo. (Dr. Douglas W. Jones, 2004)

3.4.6 Características Funcionales

Incluso cuando se determina el tipo de motor, todavía hay que tomar varias decisiones antes de seleccionar un motor en particular. Par, entorno operativo, longevidad, tamaño físico, tamaño de paso, RPM máximas: estos son algunos de los factores que influirán en el motor elegido. (Dr. Douglas W. Jones, 2004)

3.4.6.1 *Numero de pasos*

Una de las decisiones más cruciales para tomar es el tamaño del paso del motor. Esto estará determinado por la resolución necesaria para una aplicación en particular. Los tamaños de paso más comunes para los motores PM son 7.5 y 3.6 grados. Esto corresponde a 48 y 100

pasos por revolución, respectivamente. Los motores híbridos suelen tener tamaños de paso que van desde 3.6 grados (100 pasos por revolución) a 0.9 grados (400 pasos por revolución).

Algunos motores paso a paso se venden con reducciones de engranajes que proporcionan ángulos de paso más pequeños que los posibles incluso con los mejores motores paso a paso. Las reducciones de engranaje también aumentan el par disponible, pero debido a que el par cae con la velocidad de avance, disminuyen la velocidad de rotación máxima.

Para el movimiento lineal, muchos motores paso a paso se acoplan a un tornillo de avance mediante una tuerca (estos motores también se conocen como actuadores lineales). Incluso los pasos gruesos con esta disposición se traducen en movimientos muy finos del tornillo de avance debido a la reducción de engranajes inherente a este mecanismo. (Dr. Douglas W. Jones, 2004).

3.4.6.2 Torque

El par es una consideración crítica al elegir un motor paso a paso. Los motores paso a paso tienen diferentes tipos de par nominal. Estos son:

- Par de retención: el par requerido para rotar el eje del motor mientras los devanados están energizados.
- Par de tracción: el par contra el cual un motor puede acelerar desde un arranque constante sin perder ningún paso, cuando se conduce a una velocidad de avance constante.
- Par de extracción: la carga que un motor puede mover cuando está a la velocidad de funcionamiento.
- Par de retención: el par requerido para girar el eje del motor mientras los devanados no están energizados.

Los fabricantes de motores paso a paso especificarán varios o todos estos pares en sus hojas de datos para sus motores.

Los pares dinámicos, pull-in y pull-out, son una función de la velocidad de paso. Estos pares son importantes para determinar si un motor paso a paso se “deslizará” cuando opera en una aplicación en particular. Un "deslizamiento" se refiere al motor que no se mueve cuando debería o se mueve cuando no debería (sobrepasar una parada). En cualquier caso, el resultado es que el controlador ya no conocerá la posición del motor. El posicionamiento de bucle abierto falla en este caso. El motor debe tener el tamaño adecuado para evitar que esto suceda o debe emplearse un sistema de retroalimentación de circuito cerrado.

El par de tracción ofrecido por un motor paso a paso depende en gran medida del momento de inercia de cualquier carga unida rígidamente al motor. Esto hace que esta cifra de par sea algo problemática porque el momento de inercia del equipo utilizado para medir este par rara vez se indica en las hojas de datos del fabricante y rara vez es igual al momento de inercia de la carga realmente impulsada en la aplicación.

La mayoría de los fabricantes proporcionan curvas de torque en sus hojas de datos. La figura 17 muestra un ejemplo de una curva de par para un motor paso a paso. (Dr. Douglas W. Jones, 2004)

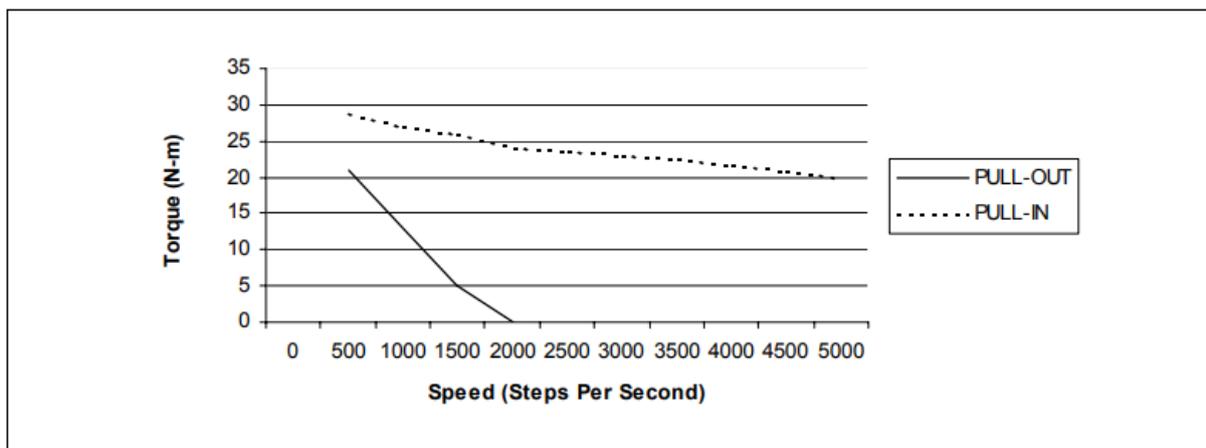


Figura 17. La relación entre torque y la velocidad (paso por segundo).

Fuente: (Dr. Douglas W. Jones, 2004).

3.4.7 Motor paso a paso nema



Figura 18. Gama de motores paso a paso NEMA.

Fuente: (AUTOMATIONDIRECT, 2007).

Especificaciones del motor paso a paso <i>SureStep™</i>				
Números de artículo	STP-MTR-17048	STP-MTR-23055	STP-MTR-23079	STP-MTR-34066
Flanje del Motor	NEMA 17	NEMA 23	NEMA 23	NEMA 34
Torque de eje deternido máximo	0,59 N-m	1,29 N-m	2,08 N-m	3,06 N-m
	83 onzas-pulgada	166 onzas-pulgada	276 onzas-pulgada	434 onzas-pulgada
	5,2 libras-pulgada	11,4 libras-pulgada	18,4 libras-pulgada	27,1 libras-pulgada
Inertia del rotor	0,0000068 kg-m ²	0,000027 kg-m ²	0,000047 kg-m ²	0,00014 kg-m ²
	0,45 oz-in ²	1,483 oz-in ²	2,596 oz-in ²	7,66 oz-in ²
	0,00006 lb-in-s ²	0,00024 lb-in-s ²	0,00042 lb-in-s ²	0,0012 lb-in-s ²
Corriente nominal	2,0 A/fase	2,8 A/fase	2,8 A/fase	2,8 A/fase
Angulo del paso básico	1,8° (motores bifásicos con cable con conector)			
Peso	210 gramos 0,7 lbs	457 gramos 1,50 lbs	1 Kg 2,2 lbs	1,17 Kg 3,85 lbs
Tolerancia del eje	0,0508 mm o 0,002 pulgadas			
Juego radial del eje @ fuerza de 1 libra	0,0254 mm o 0,001 pulgadas máximas			
Perpendicularidad	0,0762 mm o 0,003 pulgadas			
Concentricidad	0,0508 mm o 0,002 pulgadas			
Temperatura de operación	-20 °C a 50 °C (La temperature externa del motor debe mantenerse abajo de 100 °C (212 °F))			
Fuerza máxima radial	1,82 Kg o 6 lbs	4,57 Kg o 15 lbs	4,57 Kg o 15 lbs	11,89 Kg o 39 lbs
Fuerza máxima axial	1,82 Kg o 6 lbs	3,96 Kg o 13 lbs	3,96 Kg o 13 lbs	7,62 Kg o 25 lbs
Clase de aislación	Clase B 130 °C			
Aprobación de Agencia	CE (cumple con EN55014-1 (1993) y EN60034-1.5.11)			
Cable de extensión (motor al accionamiento)	6 metros o 20 pies - Número de artículo STP-EXT-020			

Figura 19. Tabla de especificaciones de motores paso a paso NEMA.

Fuente: (AUTOMATIONDIRECT, 2007).

3.5 Microcontrolador

Un microcontrolador es un pequeño ordenador que contiene en su interior básicamente un procesador, soporte (reloj y reset), memoria y puertos de entrada-salida, todo ello dentro de un pequeño chip que podemos programar con total flexibilidad y relativa facilidad. (Velasco Martos, 2019)

3.5.1 Tipos de microcontroladores

El término “incrustado”, del inglés “embedded”, define su estructura, es decir, que todos los recursos necesarios a nivel de hardware (memoria, procesador, etc.) están contenidos dentro del microcontrolador, así solo se necesita alimentarlo (pila o fuente de alimentación) y configurar la señal del oscilador de reloj, para que el microcontrolador se ponga en funcionamiento. Proporcionan un sistema programable de bajo coste, con posibilidad de conectar con otros dispositivos externos, así como un control sofisticado en ciertas aplicaciones. Nos encontraremos en este grupo con microcontroladores entre 2€ y 40€ aproximadamente, dependiendo de su velocidad y capacidad de memoria. (Velasco Martos, 2019)

Por lo general estos dispositivos gozan de las características que a continuación se enumeran y que se recogen gráficamente en la Figura 20:

- Entrada de RESET: pad por el que podemos reiniciar el chip en cualquier momento para que vuelva al inicio del programa.
- RELOJ: El controlador ejecuta el programa a la frecuencia del reloj. El reloj puede ser interno, o externo, usando un cristal de cuarzo o un circuito resonante LC, o incluso un circuito RC. Al alimentar el microcontrolador el reloj comienza a operar.
- Procesador CENTRAL: es la CPU del microcontrolador. Su función es sacar, decodificar y ejecutar las instrucciones almacenadas en la memoria de programa.

- Memoria de programa: contiene el programa a ejecutar. Puede ser de varios tipos: ROM, de sólo lectura, por lo que viene programada de fábrica; EPROM, programable por el usuario, pero difícilmente reprogramable; EEPROM, programable y borrable eléctricamente, lo que permite un control total, cómodo y rápido por parte del usuario.
- Memoria RAM: es la memoria de trabajo, en la que se realizarán las operaciones con las variables de programa definidas.
- Registros hardware: pueden ser de dos tipos, registros internos del procesador y los registros usados para controlar los dispositivos externos.
- Puertos de E/S: son las conexiones con el mundo exterior. Por estas patillas podremos manejar dispositivos externos de salidas (LED, relés, etc.) y leer dispositivos de entrada (pulsadores, interruptores, sensores, etc.).
- Contadores y divisores: empleados en procesos que requieran un control del tiempo, como relojes, alarmas, temporizadores... y cualquier proceso que requiera controlar períodos de tiempo.

(Velasco Martos, 2019)



Figura 20. Representación esquemática de un microcontrolador.

Fuente: (Velasco Martos, 2019).

Además de las características básicas descritas, pueden llevar añadidas otras más sofisticadas que incrementan la potencia del microcontrolador notablemente y en ocasiones resultan imprescindibles, como las que se indican a continuación:

- Programa de depuración o monitorización (debugger): permite comprobar en tiempo real el funcionamiento del programa y detectar errores en el mismo de manera sencilla.
- Interrupciones: Eventos que hacen que se ejecuten rutinas concretas. Todo ello independientemente de la instrucción que se esté ejecutando.
- Puertos analógicos de E/S: si los microcontroladores incluyen conversores analógico-digitaes y/o digitaes-analógicos, podremos leer señales analógicas o generar señales analógicas, con lo que la comunicación con el exterior se hace más cómoda y flexible.
- Puertos serie: permiten una comunicación fácil con un ordenador personal o con otros dispositivos que usen puertos serie (RS232, CAN, SPI, etc.).
- Interfaces con memoria externa: si lo incluyen permite ampliar la capacidad de memoria para procesar programas más extensos o disponer de memoria RAM adicional.

(Velasco Martos, 2019)

3.5.2 Microcontroladores Atmel AVR

La tecnología de los microcontroladores AVR es CMOS de 8 bits con bajo consumo, basados en arquitectura RISC. Esto implica que poseen un reducido juego de instrucciones, la mayor parte de las cuales se ejecutan en un único ciclo de reloj, consiguiendo una capacidad de procesamiento cercana a 1MIPS por MHz, permitiendo al diseñador del sistema optimizar el consumo gracias a la gran velocidad de procesamiento. La familia AVR utiliza el concepto de arquitectura Harvard con buses y memorias separados para los datos y el programa, permitiendo que las instrucciones sencillas sean ejecutadas en un ciclo de reloj.

Según el modelo, incorporan diferentes tamaños de memoria flash, RAM y EEPROM.

Además, es posible usar una SRAM externa mediante el uso de un bus de datos y direcciones multiplexado junto con las señales de control usuales en modo Intel (RD, WR, CS, ALE). La

memoria flash permite programar el microcontrolador incluso una vez ya montado en la tarjeta final (ISP – In System Programming) sin recurrir a niveles de tensión especiales. La memoria EEPROM permite almacenar datos para conservarlos aun cuando se apague el dispositivo, útil para guardar configuraciones, por ejemplo.

La tecnología AVR combina un gran número de instrucciones con 32 registros de propósito general. Los 32 registros están conectados directamente a la unidad aritmético lógica (ALU), permitiendo que dos registros independientes sean accesibles por una instrucción simple ejecutada en un ciclo de instrucción. Resulta una tecnología muy eficiente, que permite una capacidad de procesamiento hasta 10 veces superior que los microcontroladores CISC convencionales.

La familia AVR permite trabajar con frecuencias hasta 16 MHz. Suelen existir dos versiones por modelo. La versión L que trabaja con una tensión de alimentación 2.7 V, alcanzando velocidades de trabajo entre 4 u 8 MHz, y la versión superior que trabaja con alimentación en el rango 4.0 – 5.5 V, alcanzando hasta 8 o 16 MHz. (Velasco Martos, 2019)

Características típicas de la familia AVR de microcontroladores:

- Timers y contadores de 8 y 16 bits flexibles con modos de comparación.
- Interrupciones internas y externas.
- UART serie programable.
- USART serie programable (reemplazando a la UART).
- Puerto serie SPI.
- RTC (Real Time Clock).
- TWI (Two Wire serial Interface).
- Líneas de entrada / salida digitales configurables por software.
- Temporizador Watchdog programable con oscilador interno.
- Detector de Brown – Out. (algunos lo llevan incorporado).

- Comparador Analógico.
- Conversor Analógico Digital.
- Interfaz JTAG.
- PWM (Pulses Width Modulation).

(Velasco Martos, 2019)

El modo “Idle Mode” detiene la CPU permitiendo que la SRAM, los contadores y temporizadores, el puerto SPI y el sistema de interrupciones continúen funcionando. El modo de bajo consumo guarda el contenido de los registros pero detiene el oscilador, deshabilitando todas las funciones del chip hasta que se produzca una interrupción o un reset.

La memoria Flash on-chip Downloadable (descargable) permite que la memoria del chip sea reprogramada a través del interfaz SPI en el propio sistema o mediante programador JTAG.

Combinando una tecnología RISC de 8 bits con una CPU con memoria Flash, la familia de microcontroladores AVR de Atmel proporcionan una elevada flexibilidad en los diseños a bajo coste, dando una solución bastante efectiva para muchas aplicaciones de control.

La familia AVR se complementa con un completo juego de programas y sistemas de desarrollo incluyendo: compiladores C, ensambladores, simuladores, emuladores en circuito, Kits de evaluación, etcétera. (Velasco Martos, 2019)

3.5.3 Microcontroladores AVR Atmega328 de 8 bits

ATmega328 / P es un microcontrolador CMOS de 8 bits de baja potencia basado en la arquitectura RISC mejorada de AVR. Al ejecutar potentes instrucciones en un solo ciclo de reloj, el ATmega328 / P logra rendimientos cercanos a 1MIPS por MHz. Esto permite al diseñador del sistema optimizar el dispositivo para el consumo de energía versus la velocidad de procesamiento. (servicesparepart, 2019)

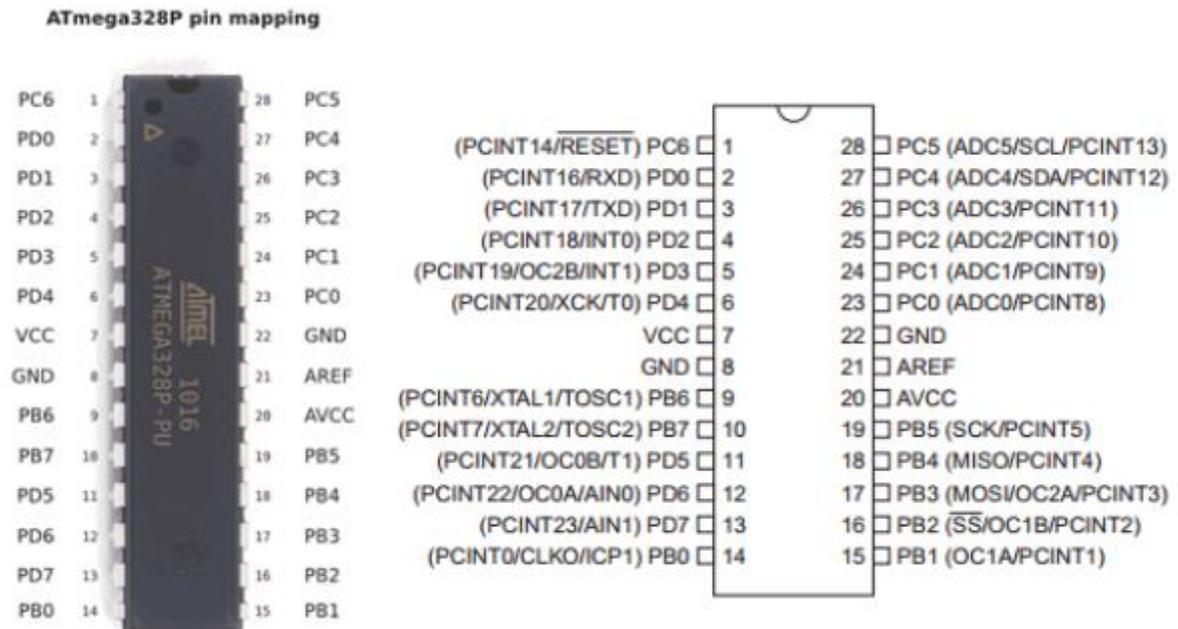


Figura 21. Microcontrolador ATmega320P.

Fuente: (ATmel, 2009).

Arduino UNO es un chip AVR en su interior. Es ATmega328P-PU, una versión de baja potencia del ATmega328-PU tradicional. La P indica pico para pico-power, que es una tecnología desarrollada por ATMEL que permite que el microcontrolador funcione con menos energía. Este chip ATmega328 contiene un cargador de arranque pregrabado, le permite cargar código sin usar ningún hardware adicional.

Un microcontrolador Atmega328P-PU en blanco con algunos componentes de soporte:

- Atmega328-PU / Atmega328P-PU - 1
- 16Mhz Xstal - 1
- Condensador de cerámica 22pF - 2
- Conector pequeño para protoboard / protoboard y 28 pines (PDIP) IC - 1
- Su placa Arduino UNO (aquí utilizada como programador)

Si pasa por el IDE de Arduino, puede ver un boceto de ejemplo llamado "Arduino como ISP". Si carga este código en su Arduino, básicamente actuará como un programador AVR. A continuación, configure su Arduino como ISP. Aquí está el procedimiento:

- Conecte su Arduino UNO (a través de USB) a su computadora
- Abra el IDE de Arduino
- Abrir → Ejemplos → ArduinoISP
- Seleccione → Arduino UNO desde Tablero de herramientas →
- Seleccione su puerto serie desde la placa de herramientas →
- Cargue el boceto (cuando haya terminado, cierre el IDE y desconecte su Arduino)

(ELECTRO SCHEMATICS, 2015)

3.5.4 Arduino

Puesto que se va a utilizar un dispositivo Arduino con su correspondiente programación, a continuación, se explica el funcionamiento de Arduino y su software.

Esta programación consiste en programar un microcontrolador. Es decir, consiste en traducir tareas programadas a líneas de código a través de un entorno de programación sencillo como el que proporciona Arduino Software (IDE), que además cuenta con las herramientas para compilar el programa y grabarlo en la memoria flash del microcontrolador. Este software cuenta con un sistema para gestionar placas y librerías muy práctico. (Gómez Pindado, 2018).



Figura 22. Logo Arduino.

Fuente: (“Arduino ,” 2019).

3.5.4.1 *Lenguaje Arduino*

Arduino basa su programación en el lenguaje C++, es decir, es una adaptación que proviene de AVR Libc que proporciona una librería C para el uso con GCC (compilador de C y C++) en microcontroladores Atmel AVR. No obstante, las herramientas necesitadas para la programación del microcontrolador están incluidas en el software de Arduino. Además, el IDE incluye otras librerías que utilizamos sin necesidad de que se declaren. A parte de estas diferencias hay que destacar también la estructura básica del programa que se detalla más adelante. Aun así, el software acepta comandos de C++ estándar (si están incluidos en AVR libc). (Gómez Pindado, 2018)

3.5.4.2 *Programa Arduino*

Un proyecto de Arduino o sketch, figura 23, consta de la siguiente estructura principal:

- `setup()` es la función encargada de la configuración. Se ejecuta una sola vez al empezar el programa. Se utiliza para configurar los modos de trabajo de los pines (entrada o salida) o configurar el puerto serie.

- `loop()` contiene el programa que se va a ejecutar, pudiendo haber llamadas a otras funciones. Este programa se repetirá cíclicamente (`loop=bucle`), de esta manera podrá estar leyendo o escribiendo continuamente.

(Gómez Pindado, 2018)

```
sketch_nov25a Arduino 1.8.10
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
sketch_nov25a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
1 Arduino/Genuino Uno en COM3
```

Figura 23. Programa en blanco Arduino.

Estas dos funciones son necesarias para que funcione el programa, incluso si una de ellas está vacía. Además de esta estructura puede incluir funciones a parte a las que se llamará en el código.

- **Funciones:** son bloques de código independientes que cuentan con un nombre y con unas tareas que se ejecutan cuando esta función es llamada. Estas funciones se utilizan para reducir el tamaño de los programas cuando son tareas repetitivas.

Dentro de cada una de estas funciones se utilizan los comandos propios de lenguaje de Arduino (C++ adaptado), tales como estructuras de control (if, while, for), operadores booleanos (&&, ||, ...). (Gómez Pindado, 2018)

3.6 Controlador para motores de pasos

Como se describió en el apartado anterior, los motores a pasos requieren de una secuencia de pulsos en sus bobinas para generar su movimiento. En este proyecto, el controlador capaz de enviar esta secuencia, queda a cargo de un microcontrolador. Como se ha mencionado anteriormente, en el mecanismo se utilizan dos motores paso a paso; por lo cual se debe realizar un controlador, que tenga la capacidad de manejar dos secuencias de manera independiente. Cabe mencionar, que las dos secuencias no son manejadas simultáneamente, aunque podría realizarse. Sin embargo, en este caso el tiempo no es un factor determinante, sobre todo siendo el movimiento de uno de los motores (altura) muy breve. Así que, por mayor simplicidad en el manejo y estructura de la programación, se controla cada motor por separado, uno en secuencia del otro. En este capítulo, no corresponde el brindar una explicación detallada del funcionamiento del programa realizado para implementar este controlador; sólo se menciona su realización y que será descrito a detalle en la sección 5.7 ya que es el encargado de describir la estructura de los programas. (Irming Isaac Hernández Bello, 2004)

3.6.1 Puente H

Los motores paso a paso requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de sus bobinas en la secuencia apropiada. Dicha corriente es muy elevada con respecto a lo que un microcontrolador puede soportar. Dado lo anterior, es necesario utilizar un puente H por cada bobina del motor. Un puente H es un dispositivo capaz de soportar el flujo bidireccional de corriente invertida. A continuación se presenta la configuración y función de un puente H.

Un puente H, es básicamente un arreglo de cuatro interruptores acomodados como se muestra en la figura 24. (Irming Isaac Hernández Bello, 2004)

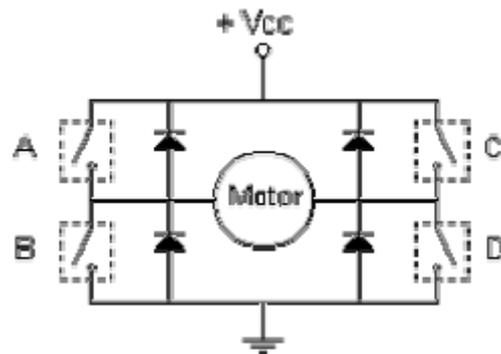


Figura 24. Puente H.

Fuente: (Irming Isaac Hernández Bello, 2004).

Estos interruptores (A, B, C y D) pueden ser de transistores bipolares, mosfets, jfets, relevadores o cualquier combinación de elementos. Los puentes H se utilizan para hacer funcionar el elemento central (en este caso el motor) en dos sentidos (adelante y atrás) sin tener que manejar voltajes negativos.

Si se cierran solamente los contactos A y D la corriente circulará en un sentido a través del motor (o del relevador o de cualquier sistema que esté conectado), y si se cierran solamente los contactos B y C la corriente circulará en sentido contrario. Siempre se debe tener cuidado en no cerrar los contactos A y B o C y D al mismo tiempo, porque se ocasionaría un corto circuito. Es recomendable colocar diodos de protección para el motor para asegurar que la corriente no regrese, debido al efecto inductivo de sus bobinas. (Irming Isaac Hernández Bello, 2004)

3.6.2 Driver HY-DIV268N-5ª para control de motor paso a paso

Este driver basado en el chip TB6600 es un módulo controlador de motor paso a paso de tipo bipolar que permite varios modos micro-paso (1,1/2, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 paso)

- Compatible con motores de 12V a 48V DC
- Corriente de excitación máxima 5A

- Utiliza el control de subdivisión de bucle de corriente
- El rizado del par de torque del motor es muy pequeño
- Baja velocidad de funcionamiento muy suave
- Protección contra sobre voltaje, bajo voltaje, sobrecorriente y cortocircuitos
- Temperatura de funcionamiento: -10 a 45 °C

(ELECTROPRO, 2017)

3.6.2.1 Control

PUL: Cada pulso a su entrada corresponde a un paso del motor

DIR: Activa el sentido de giro del motor dependiendo del estado

(ELECTROPRO, 2017)

Los microswitch presentes en la bornera te permiten configurar la resolución de los pasos y la corriente de salida del motor, como se muestra en la siguiente tabla:

Corriente	Switch No.			Resolución	Switch No.		
	1	2	3		4	5	6
0,2 A	ON	ON	ON	NC	ON	ON	ON
0,6 A	OFF	ON	ON	1	OFF	ON	ON
1,2 A	ON	OFF	ON	1/2	ON	OFF	ON
1,8 A	OFF	OFF	ON	1/2	OFF	OFF	ON
2,5 A	ON	ON	OFF	1/4	ON	ON	OFF
3,3 A	OFF	ON	OFF	1/8	OFF	ON	OFF
4,2 A	ON	OFF	OFF	1/16	ON	OFF	OFF
5A	OFF	OFF	OFF	NG	OFF	OFF	OFF

Figura 25. Configuración del interruptor de control de corriente y las subdivisiones de los pasos.

Fuente: (Sigma Electrónica, 2019).

3.7 Tornillo sin fin

El tornillo sin fin y el engrane sin fin se emplean para transmitir movimiento entre ejes no paralelos que no se intersecan. Con un engrane sin fin, se podrían obtener razones de velocidad grandes en un espacio muy limitado. El engrane pequeño se conoce como tornillo sin fin; el engrane más grande, como engrane sin fin, rueda sin fin o simplemente engrane.

El tornillo sin fin se asemeja a un simple tornillo, por lo que con frecuencia los dientes del tomillo sin fin se denominan cuerdas. Los tornillos sin fin se fabrican comúnmente con uno, dos o cuatro cuerdas, de modo que el número de dientes (cuerdas) de un tornillo sin fin, N , es una propiedad importante. (Myszka et al., 2012)

El tornillo sin fin se describe por el número de cuerdas, el paso diametral del tornillo sin fin d_w el paso P_w y el ángulo de desplazamiento λ . El paso diametral del tornillo sin fin se determina de modo parecido al de los engranes rectos, como el diámetro del círculo tangente al paso diametral del engrane sin fin. El paso del tornillo sin fin también es similar a la definición de los engranes rectos, es decir, es la distancia entre puntos correspondientes sobre dientes (cuerdas) adyacentes. Estas propiedades geométricas del tornillo sin fin se ilustran en la figura 26. (Myszka et al., 2012)

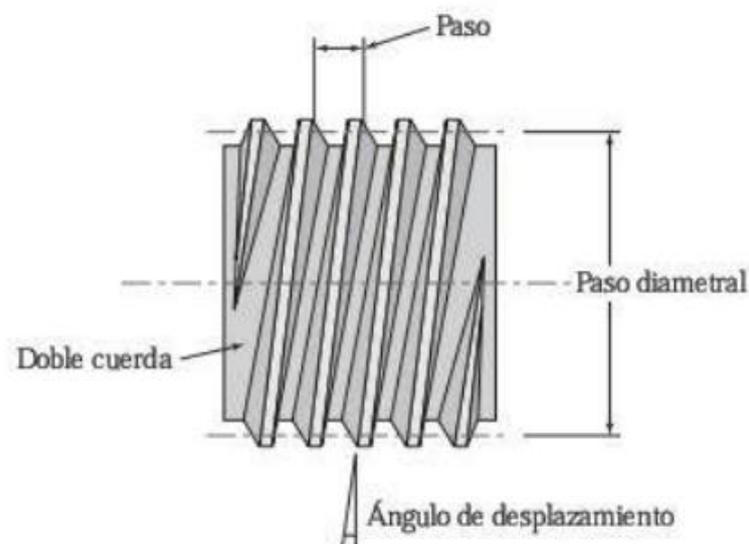


Figura 26. Geometría de un tornillo sin fin.

Fuente: (Myszka et al., 2012)

En la figura 26 también se muestra el ángulo de desplazamiento, el cual es el ángulo de inclinación de los dientes (cuerdas). Dicho ángulo se calcula a través de la relación trigonométrica con otras características del tornillo sin fin.

$$\tan \lambda = \frac{N_w P P_w}{\pi d_w} \quad Ec1$$

$$P = \frac{\pi d}{N} \quad Ec2$$

Para un engranaje sin fin acoplado, el paso del tornillo sin fin debe ser el mismo paso del engrane sin fin. Entonces, de la ecuación Ec2

$$P_w = P_{engrane} = \frac{\pi}{P_d} \quad Ec3$$

En ejes que están a 90", lo cual es muy usual, el ángulo de desplazamiento del tornillo sin fin es igual al ángulo de hélice del engrane sin fin.

La razón de velocidad de un engranaje sin fin se calcula como el número de dientes del engrane sin fin dividido entre el número de cuerdas del tornillo sin fin.(Myszka et al., 2012)

$$VR = \frac{N_{engrane}}{N_w} \quad Ec4$$

Esto también es igual en la aplicación del engrane recto.

En la mayoría de los engranajes, el tornillo sin fin es el impulsor, convirtiendo de ese modo al conjunto en un reductor de velocidad. La mayoría de los engranajes son irreversibles en el sentido de que el engrane sin fin no puede hacer girar el tornillo, porque se desarrolla una gran fuerza de fricción entre los dientes. Los impulsores irreversibles también se conocen como de autobloqueo. Los tornillos sin fin deben tener un ángulo de desplazamiento mayor de 100 aproximadamente para ser impulsados por el engrane sin fin acoplado. Esto daría lugar a un engranaje reversible, pero es muy raro.(Myszka et al., 2012)

Aun cuando la irreversibilidad quizá suene como una desventaja, hay algunos beneficios. Por ejemplo, los equipos levadizos por lo general requieren que la carga se sostenga en una altura determinada, incluso cuando se desactiva la fuente de energía, como un motor que se apaga. Como el tornillo sin fin ya no puede hacer girar al engrane sin fin, la carga se bloquea a cierta altura. Esta acción de freno se utiliza en varios dispositivos mecánicos como

montacargas, gatos y plataformas levadizas. En casos así, se deben analizar la resistencia de los dientes y la fricción prevista para garantizar la seguridad. (Myszka et al., 2012)

4. Diseño de la mesa ergonómica

Una vez definido los parámetros como el tamaño, los componentes y el tipo de mecanismo a utilizar se procede hacer el diseño en software las partes mecánicas, y en la electrónica se monta el circuito en protoboard para hacer prueba del funcionamiento de cada uno de los componentes del circuito, en este caso se utiliza un motor paso a paso con su respectivo circuito de control, luego de verificar su viabilidad se diseña el circuito en software y se implementa en PCB y finalmente se hace la programación del control en un sistema embebido para este caso se utiliza el arduino UNO.

4.1 Diseño mecánico

4.1.1 Estructura metálica

Para el diseño mecánico se tiene en cuenta los datos suministrado de la encuesta realizada del joven de acuerdo a sus necesidades y teniendo en cuenta sus medidas antropométricas. El diseño de la mesa ergonómica se soporta en una estructura rígida para la cual se hace en tubo cuadrado metálico estructural de una pulgada, las piezas desde el principio se diseñan en el software CAD para disminuir los posibles errores que se puedan presentar en la construcción.

Los materiales empleados durante la construcción se seleccionaron de acuerdo de la disposición de componentes en el mercado, la fiabilidad económica y el proceso de manufactura del mismo, inicialmente se hace el diseño de la estructura que soporta cada uno de los componentes con las medidas establecidas para su uso, el diseño de la mesa ergonómica debe cumplir con las característica de su operatividad y comodidad de acuerdo a las necesidades mencionadas anteriormente por el joven discapacitado.

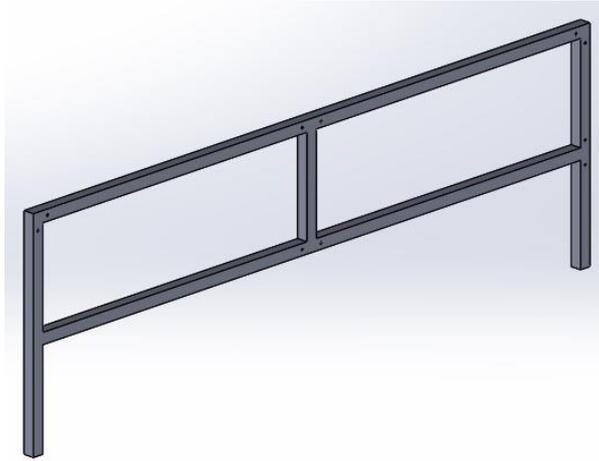


Figura 27. Estructura metálica lateral de la mesa ergonómica automática en Solidword.

El diseño de la estructura permite soportar la mesa ergonómica en los laterales sobre la superficie para ello se hace dos con el mismo tamaño y sus dimensiones son 150 cm de largo 50 cm de altura de tubo cuadrado de una pulgada de calibre 18 mostrada en la figura 27.

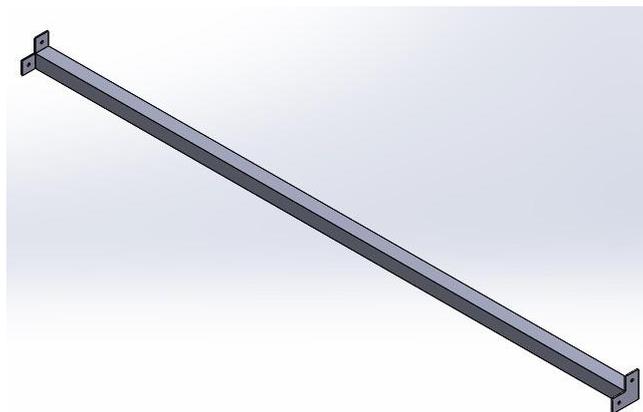


Figura 28. Soporte lateral de la mesa ergonómica en Solidwork.

Este diseño permite ensamblar la estructura en las esquinas de la mesa ergonómica, para su construcción se necesitan dos piezas y sus medidas son 114cm de largo de tubo de una pulgada cuadrada de calibre 18, adicional se acoplan unas platinas a 90° para atornillarlos al marco de puesto.

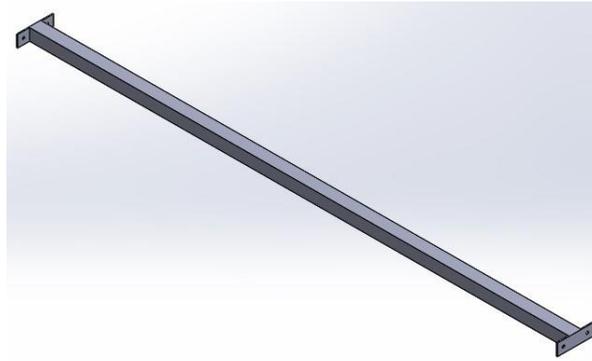


Figura 29. Soporte central de la mesa ergonómica en Solidwork.

Este otro diseño similar al anterior permite ensamblar la estructura en la mitad de la mesa ergonómica para darle robustez a la misma, para su construcción se necesitan tres piezas y sus medidas son 114cm de largo de tubo de una pulgada cuadrada de calibre 18, adicional se acoplan unas platinas a 180° para atornillarlos al marco de puesto.

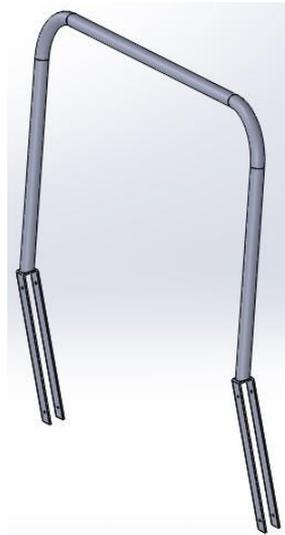


Figura 30. Soporte del espaldar de la mesa ergonómica automática en Solidword.

El diseño de estructura de la figura 30, permite soportar el espaldar con una inclinación de 105° con respecto a la horizontal y las dimensiones de 80 cm de ancho por 50 de altura con un acople de dos platinas de 30 cm en forma de U para atornillarlo a la estructura de forma robusta.

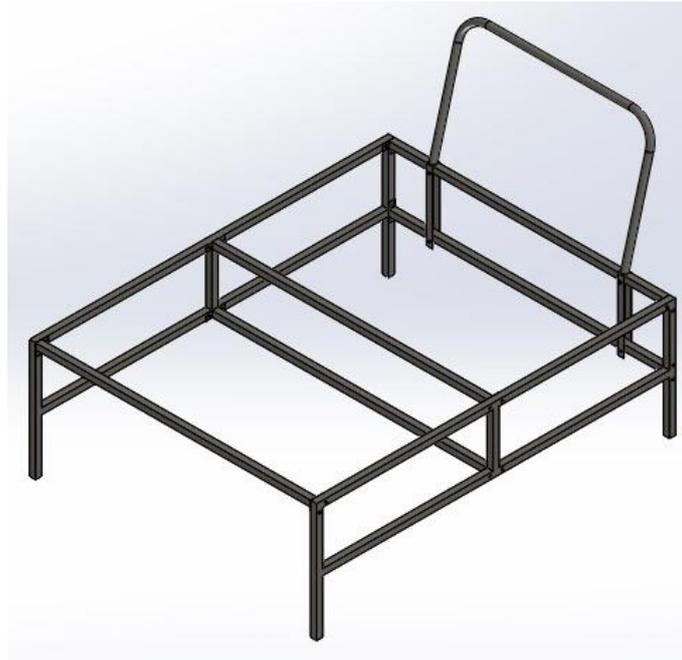


Figura 31. Estructura metálica completa de la mesa ergonómica automática donde se debe soportar cada uno de los componentes en Solidwork .

Finalmente se ensambla el diseño de la estructura de acuerdo con las dimensiones requeridas para su construcción, esta estructura tiene las siguiente medidas 150 cm de largo, 120 cm de ancho y 50 cm de altura con un espaldar de 80 cm de ancho por 50 cm de altura Se diseñó la estructura por marcos ensamblables con tonillos de la mesa ergonómica con el objetivo de que sea desarmable y portátil, para facilitar el transporte a largas distancias, para este diseño se utilizó el software CAD (Solidwork) en la figura 31.

4.1.2 Componentes y accesorios

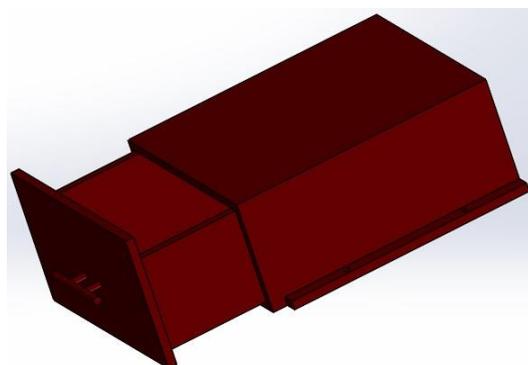


Figura 32. Gaveta en Solidwork.

a los soportes en los extremos, en movimiento lineal de la tuerca guiada por dos varillas de 8 mm de diámetro para dar un movimiento uniforme que se desplaza longitudinalmente a lo largo del tornillo sin fin, este avance dependerá del paso y el número de dientes de entrada de la rosca.

Se selecciona este mecanismo ya que permite mantener una posición fija al momento que el motor se detiene o se apaga siendo ideal para aplicaciones donde requiera grandes esfuerzos sostenidos, porque al dejar de girar el tornillo bloquea la tuerca en el sentido del movimiento y viceversa.

4.1.3.2 *Mecanismo manivela biela corredera*

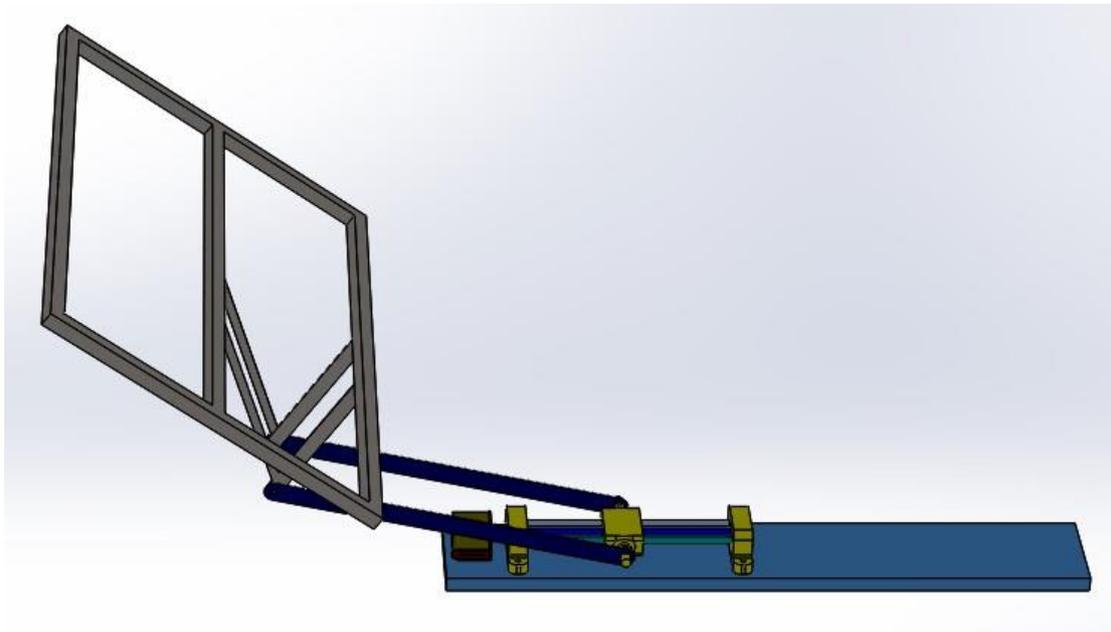


Figura 35. Mecanismo manivela biela corredera en Solidwork.

Para generar la rotación del área del trabajo en este caso es elevar el ángulo del tablero, se diseña y configura un mecanismo de manivela biela corredera, donde el tablero actúa como manivela al rota sobre un el eje de las bisagras que esta sujetado, seguido este es atornillado a dos eslabones paralelos que actúa como biela y que se desplazan y rotan al mismo tiempo que se traslada la tuerca que actúa como un sistema de corredera, esta es desplazada a través de un tornillo sin fin controlar por un motor paso a paso mediante de un pedal.

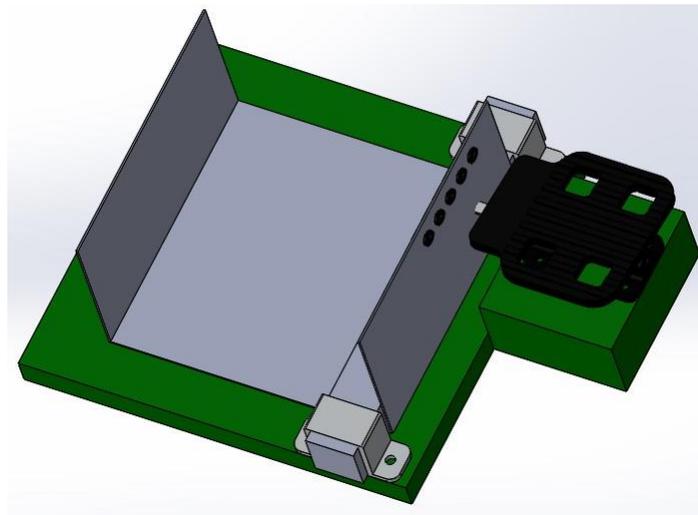


Figura 36. Pedal que controla el giro del motor en Solidwork.

Se diseña un pedal con el propósito de que sea controlado a través del pie siendo una forma viable para una persona con ausencia de brazos, para este se tiene en cuenta las dimensiones de la falange de un pie para hacer gira el pedal de acuerdo al ángulo deseado.

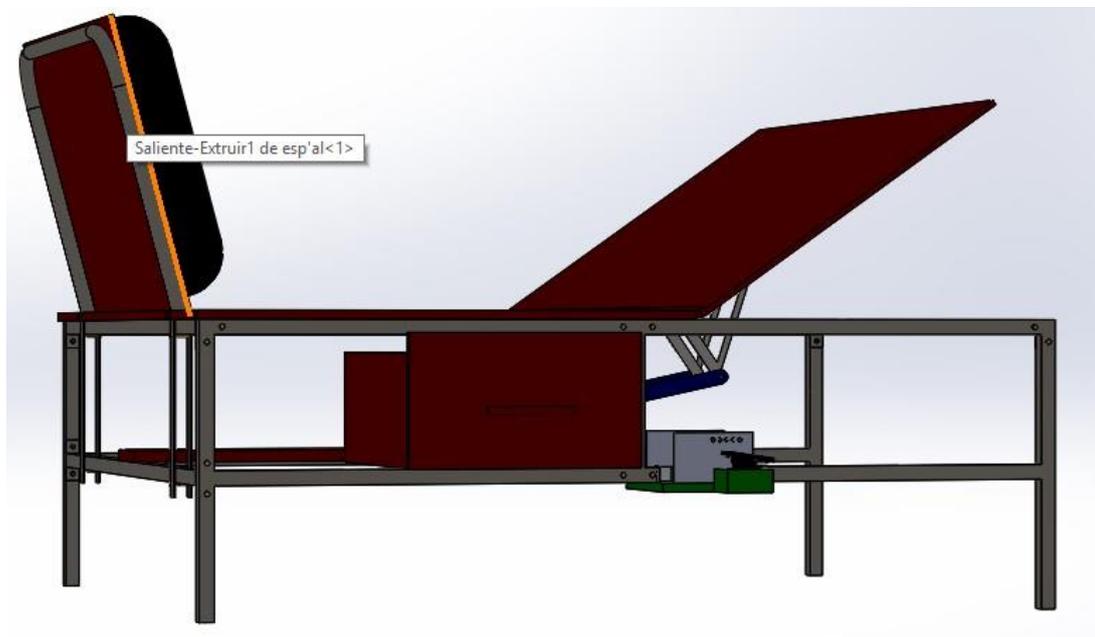


Figura 37. Ensamble completo del puesto ergonómico en Solidword.

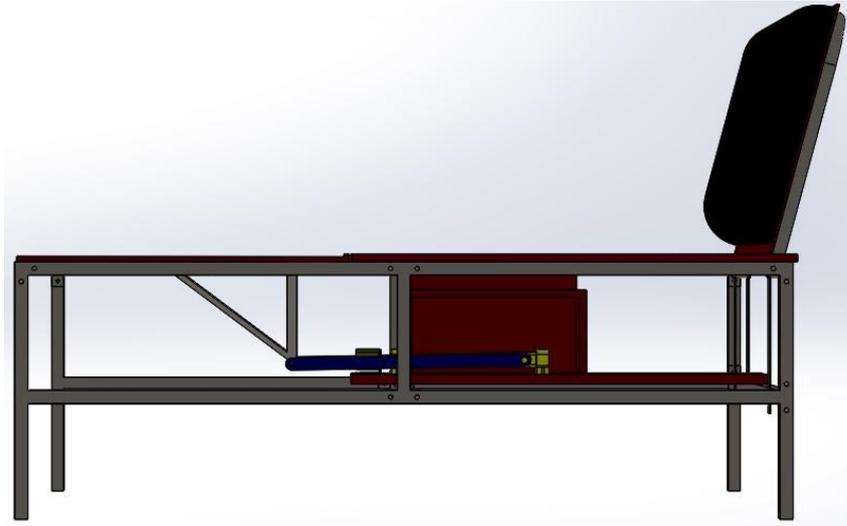


Figura 38. Ángulo mínimo de elevación del tablero.

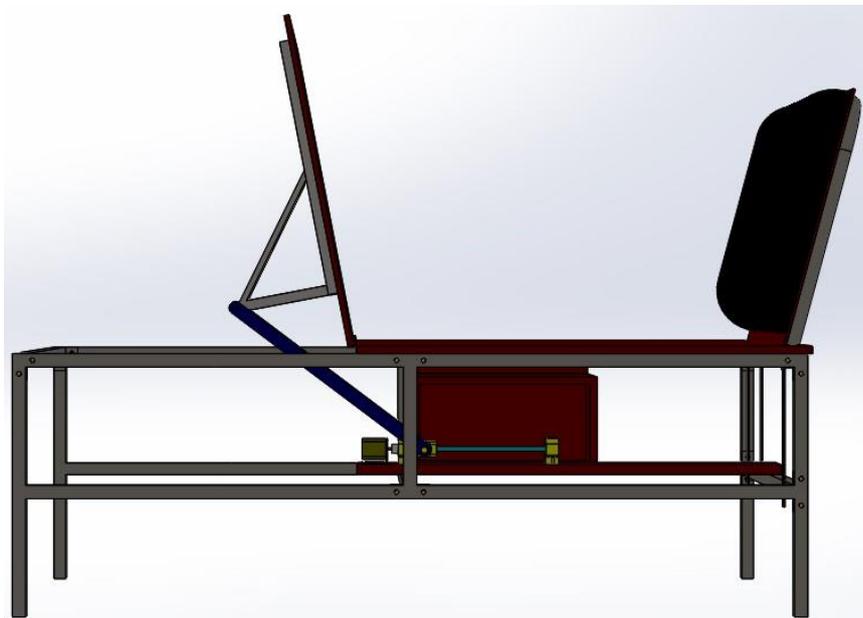


Figura 39. Ángulo máximo de elevación.

Finalmente se realiza el ensamble completo lo que es la mesa ergonómica automatizada y se hace una simulación del control del área de trabajo girándolo a ángulos máximos y mínimos para determinar los límites mecánicos, también por medio del diseño de este software CAD se corrige errores de construcción haciendo mínimas las posibilidades de que los mecanismos colisionen y se determina con alta precisión las dimensiones correctas para su construcción y funcionamiento.

4.2 Diseño electrónico

4.2.1 Control de lazo abierto

Para el diseño electrónico se implementa un sistema de control de lazo abierto debido a que es más simple y económico y por la ventaja que ofrece los motores paso a paso que al ingresar ciertos números de pasos giran ciertos números de grados y para los límites se implementa finales de carrera.

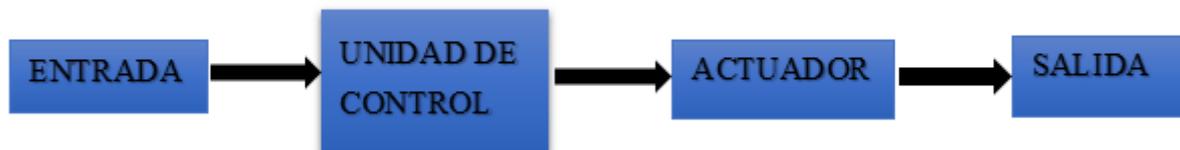


Figura 40. Circuito de control en lazo abierto.

4.2.2 Selección del motor

Para la selección del motor se tuvo en cuenta la facilidad de control en lazo abierto ya que no se requiere demasiada precisión debido a que los valores no son muy grandes y sus límites se establece a través de contacto mecánico, es decir el uso de finales de carrera.

4.2.2.1 Criterio de selección del motor paso a paso

- Es capaz de fijar una posición simple y exacta controlando el número de pasos.
- Son ligeros, seguros y fácil de controlar ya que el control se hace en bucle abierto, sin necesidad de sensores de retroalimentación.
- Son los adecuados donde se requiere movimientos precisos y baja velocidad.

4.2.3 Selección del motor paso a paso según el torque requerido

El motor paso a paso bipolar es el más adecuado en comparación a unipolar a que ofrece mayor torque en comparación a su tamaño, pero también existe una gama de motores bipolares como el nema 17, mena 23, y mena 34 mostrada en la figura 48, tablas de las especificaciones de los motores paso a paso bipolares.

Especificaciones del motor paso a paso <i>SureStep™</i>				
Números de artículo	STP-MTR-17048	STP-MTR-23055	STP-MTR-23079	STP-MTR-34066
Flanje del Motor	NEMA 17	NEMA 23	NEMA 23	NEMA 34
Torque de eje deternido máximo	0,59 N-m	1,29 N-m	2,08 N-m	3,06 N-m
	83 onzas-pulgada	166 onzas-pulgada	276 onzas-pulgada	434 onzas-pulgada
	5,2 libras-pulgada	11,4 libras-pulgada	18,4 libras-pulgada	27,1 libras-pulgada
Inertia del rotor	0,0000068 kg-m ²	0,000027 kg-m ²	0,000047 kg-m ²	0,00014 kg-m ²
	0,45 oz-in ²	1,483 oz-in ²	2,596 oz-in ²	7,66 oz-in ²
	0,00006 lb-in-s ²	0,00024 lb-in-s ²	0,00042 lb-in-s ²	0,0012 lb-in-s ²
Corriente nominal	2,0 A/fase	2,8 A/fase	2,8 A/fase	2,8 A/fase
Angulo del paso básico	1,8° (motores bifásicos con cable con conector)			
Peso	210 gramos 0,7 lbs	457 gramos 1,50 lbs	1 Kg 2,2 lbs	1,17 Kg 3,85 lbs
Tolerancia del eje	0,0508 mm o 0,002 pulgadas			
Juego radial del eje @ fuerza de 1 libra	0,0254 mm o 0,001 pulgadas máximas			
Perpendicularidad	0,0762 mm o 0,003 pulgadas			
Concentricidad	0,0508 mm o 0,002 pulgadas			
Temperatura de operación	-20 °C a 50 °C (La temperature externa del motor debe mantenerse abajo de 100 °C (212 °F))			
Fuerza máxima radial	1,82 Kg o 6 lbs	4,57 Kg o 15 lbs	4,57 Kg o 15 lbs	11,89 Kg o 39 lbs
Fuerza máxima axial	1,82 Kg o 6 lbs	3,96 Kg o 13 lbs	3,96 Kg o 13 lbs	7,62 Kg o 25 lbs
Clase de aislación	Clase B 130 °C			
Aprobación de Agencia	CE (cumple con EN55014-1 (1993) y EN60034-1.5.11)			
Cable de extensión (motor al accionamiento)	6 metros o 20 pies - Número de artículo STP-EXT-020			

Figura 41. Características de los motores nema.

Fuente: (AutomationDirectcom, 2005).

En la tabla 48 se observó que el motor nema 17 tiene la ventaja de que es liviano pero no brinda suficiente torque para mover el mecanismo que controla el ángulo de elevación del tablero y el nema 34 brinda más torque que los demás pero sin embargo es muy pesado, y consume una elevada corriente lo que lo hace muy costoso a la hora de implementarlo, por esa razón se elige el motor paso a paso nema 23 por que brinda un torque de 28.55Kg.cm y un consumo máximo de 4.2 A de un 1 kg de peso este es acoplado a una base de madera MDF.



Figura 42. motor paso a paso nema 23.

4.2.4 Control del motor paso a paso nema 23

En los motores paso a paso su control es secuencial debido a que las bobinas se energizan de una manera precisa para dar una posición exacta en el rotor. No obstante, se han diseñado controladores que facilitan el proceso de control del sentido de giro y el avance con el número de pasos del motor a través de dos entradas digitales que se le suministra información.

4.2.4.1 *Driver HY-DIV268N-5A para control del motor nema 23*

Este driver está diseñado para controlar motores de paso a paso NEMA de una corriente de 0.2 A hasta de 5A a través de dos entradas digitales donde una controla el número de pasos (PUL) y el segundo el sentido de giro (DIR) además es compatible para motores de 12V a 48V DC además trae 4 terminales para energizar las dos bobinas de forma secuencial y dos entradas para energizar el driver y adicional un terminal para detener el motor con una señal digital también viene con interruptores para controlar la corriente y la subdivisiones de los pasos.



Figura 43. Driver HY-DIV268N.5A.

4.2.4.2 *Criterio de selección del driver HY-DIV268N-5A*

- Alto rendimiento, rentable.
- Reducción automática de corriente inactiva.
- Tensión de alimentación de hasta 50V DC
- Corriente de salida de hasta 5.0A.
- Adecuado para motores de 2 fases y 4 fases.
- Entrada de señal de aislamiento optoelectrónico de alta velocidad.
- El chopper sinusoidal bipolar PWM de un solo chip garantiza baja vibración y alta eficiencia.
- 1, 2, 4, 8, 16 control de micropaso ajustable, los motores funcionan con mayor precisión y suavidad.
- Equipado con la tercera generación de tablero, panel de visualización y panel de control para controlar el motor manualmente.
- Protección contra sobrecarga, sobrecorriente, sobrecalentamiento, sobretensión y subtensión para evitar dañar su computadora y dispositivos.
- Diseño de caja de aluminio de enfriamiento para enfriar y proteger la placa del controlador de daños por suciedad, polvo u otros líquidos.

(Sigma Electrónica, 2019)

4.2.5 **Sistema de control del motor paso a paso NEMA 23**

Para diseñar el sistema de control del área de trabajo (tablero) el motor debe girar de una posición angular de 0° a 80° y debido a que el motor no guarda su posición al desconectar la fuente de alimentación o al apagarlo, se instala unos sensores de finales de carrera de contacto mecánico para comunicar al sistema cuando es la posición máxima y mínima a través del contacto del mecanismo en sus topes y así se puede evitar colisiones.

4.2.5.1 Conexiones electrónicas del driver, microcontrolador y motor

Para las conexiones electrónicas se tiene en cuenta el datasheet de cada componente electrónico y el control en lazo abierto del motor nema 23, en este caso el driver HY-DIV268n-5A se alimenta de la fuente ATX a 12 V y a su vez controla el motor pasa a paso nema 23 bipolar conectado a dos bobinas de cuatro cables en sus extremos que es la etapa de potencia y en la etapa de control driver recibe información señales digitales del Circuito integrado ATmega328P-UP en los pines DIR, PUL y EN, el pin Dir cuando recibe una señal 1 gira en un sentido y 0 hacer la inversión del giro, el pin PUL recibe el número de paso y los retardo de tiempo entre cada paso que debe girar el motor, esto se traducen el ángulo de giro y la velocidad del motor y por último el pin EN cuando recibe una señal de 1 frena el motor y 0 habilita el motor para seguir girando todo el control se realiza a través del arduino.

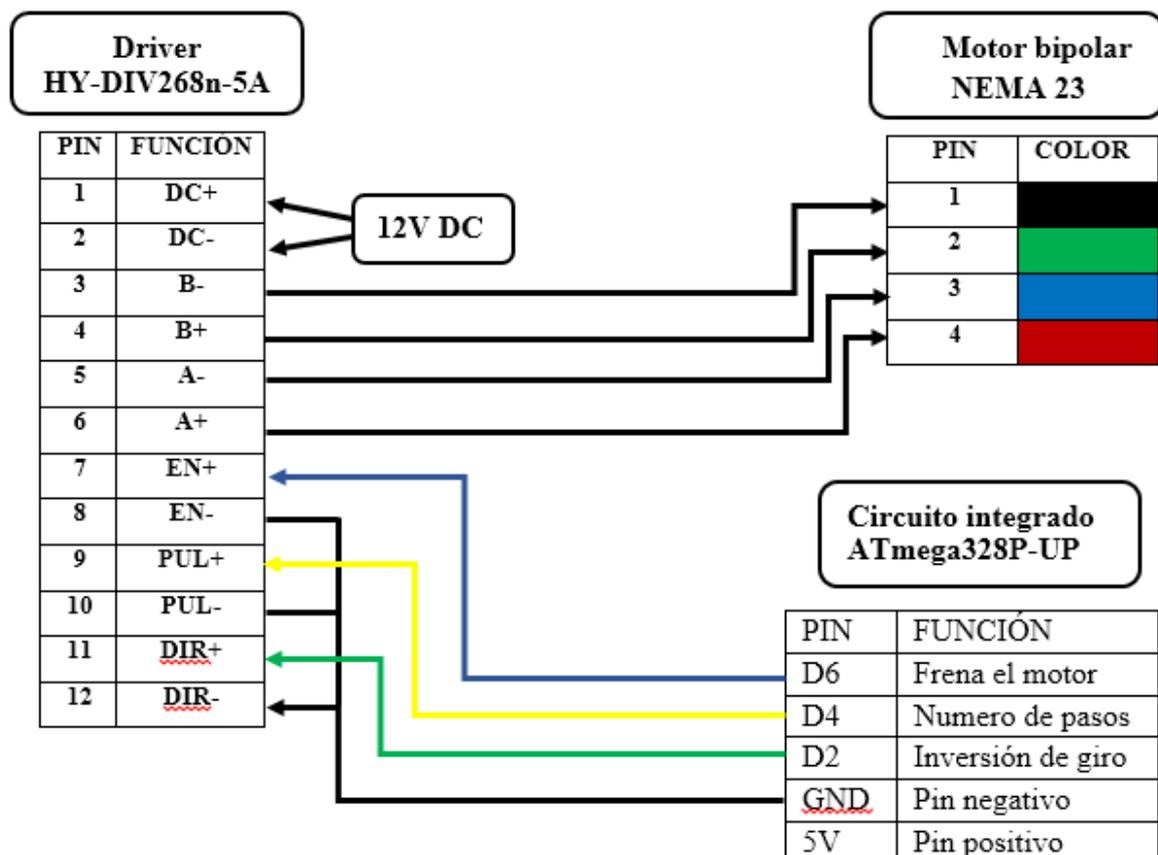


Figura 44. Conexiones del microcontrolador y driver.

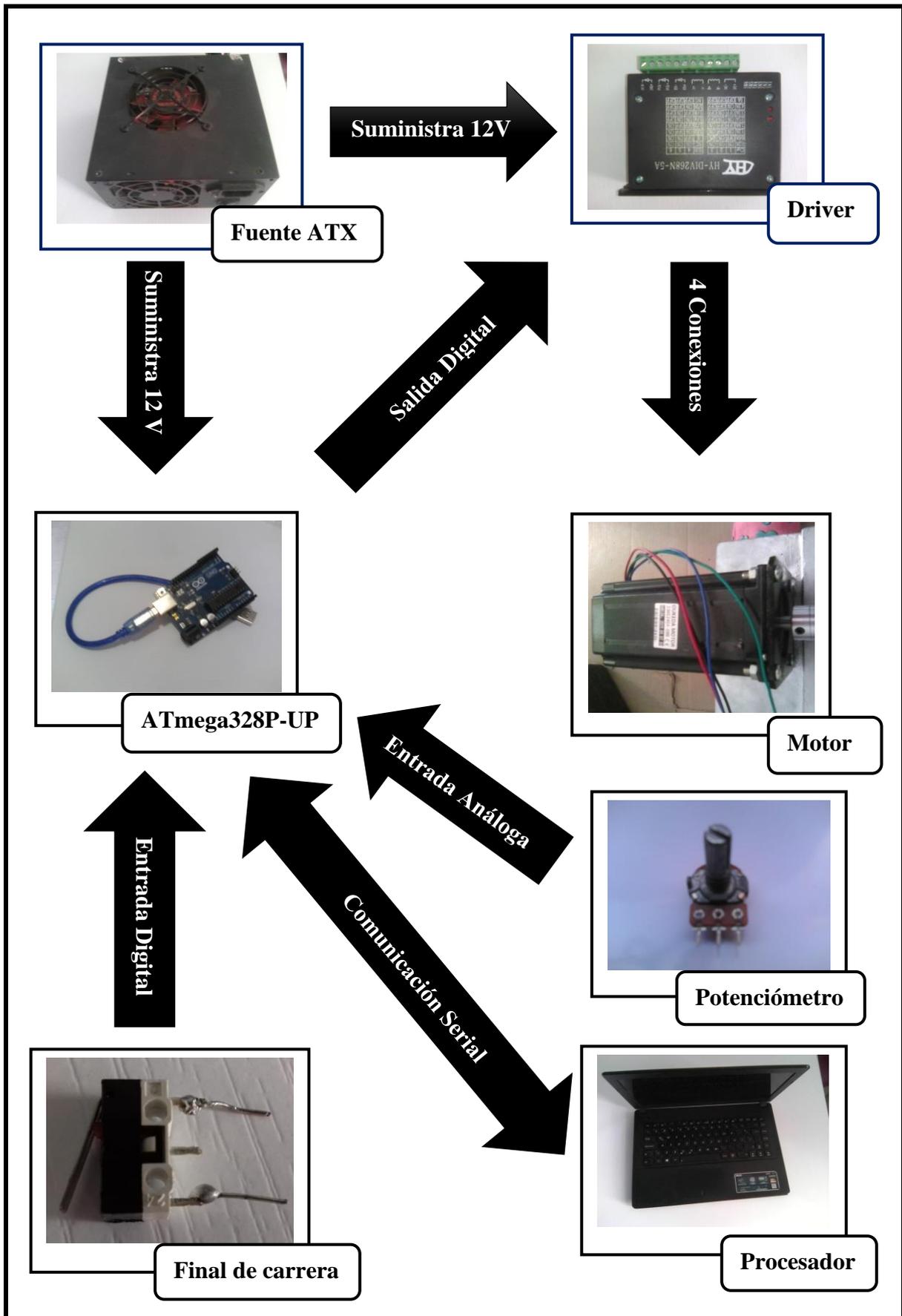


Figura 45. Esquema electrónico del control de motor en lazo abierto.

4.2.6 Diseño del PCB para el ATmega328P-PU

Para el diseño del PCB del circuito integrado ATmega328P-UP se realizó en software PCB Wizard en la cual se hace la adquisición de dato por medio del arduino UNO en el cual se extrae el circuito integrado ATmega328P-UP y se incorpora a la PCB al Soporte Integrado 28 Pines Base Dip28 para su comunicación con las entradas y salidas del mismo.

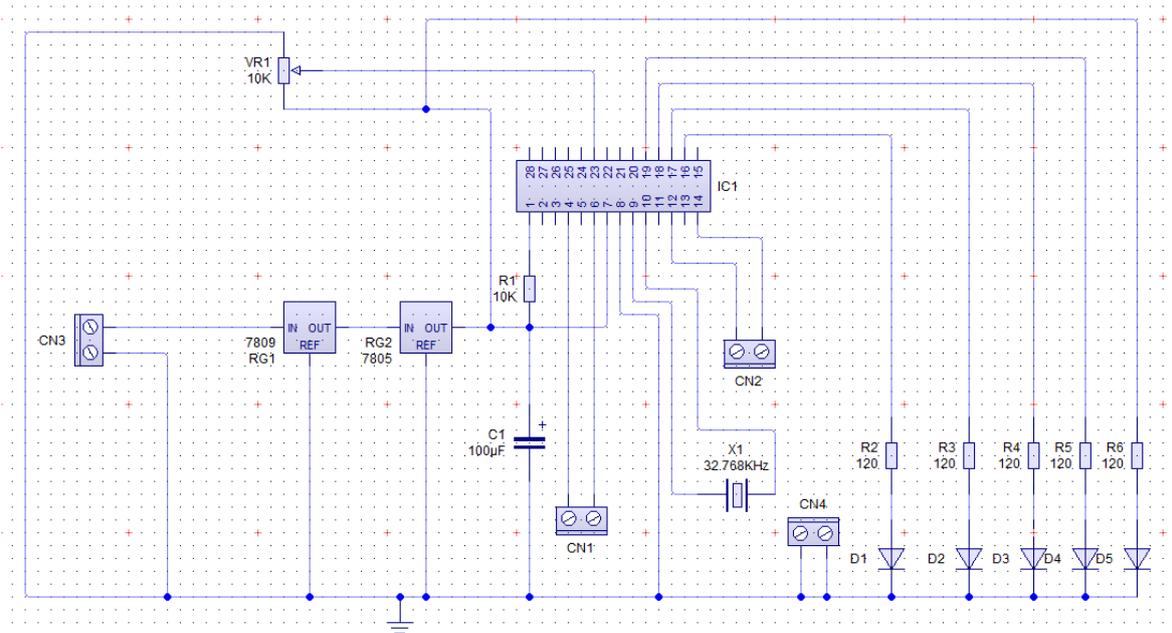


Figura 46. Esquema electrónico del ATmega328P.

Para la elaboración de la placa del circuito integrado ATmega328P-UP del microcontrolador arduino UNO se hace la conversión de circuito a PCB mostrada en la figura 46, 47, 48, 49.

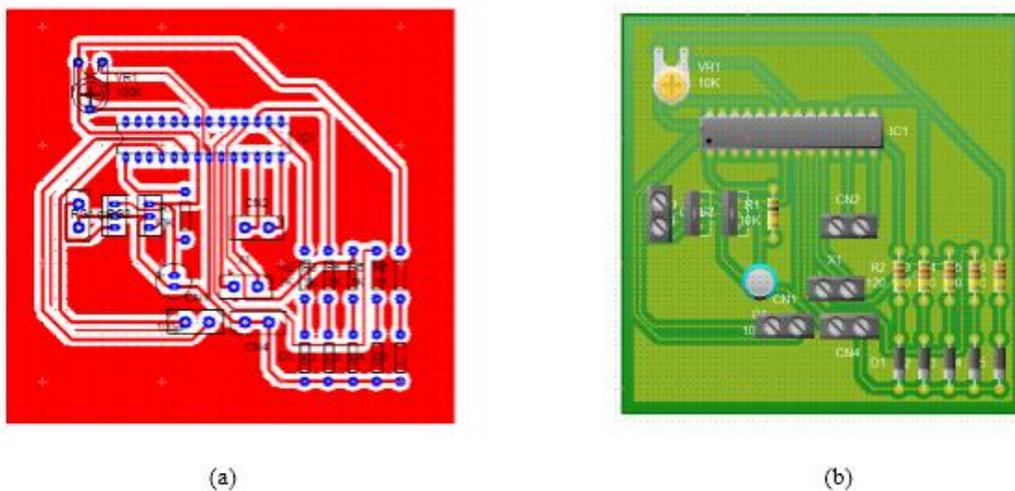


Figura 47. Circuito en PCB esquema real.

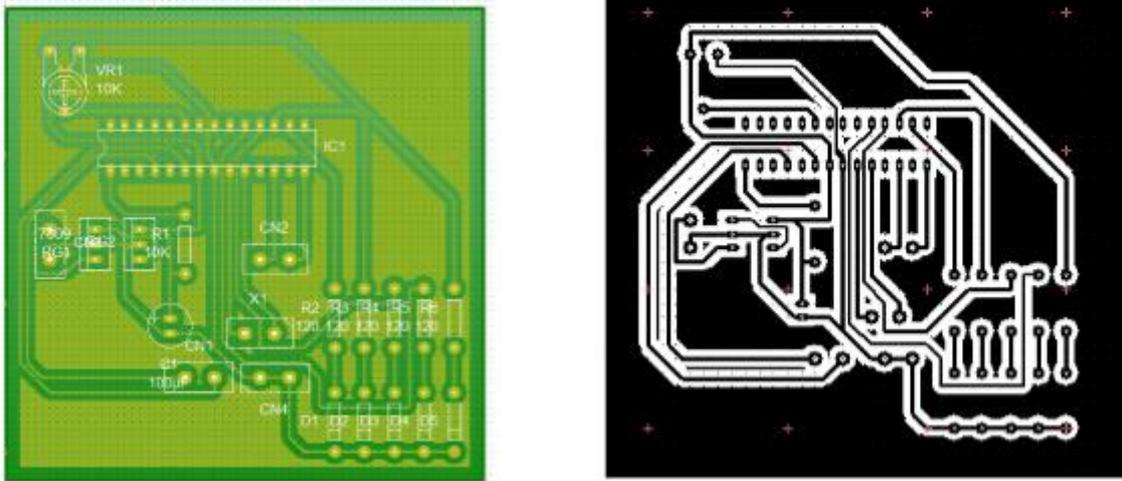


Figura 48. Circuito en PCB vacío.

4.2.7 Microcontrolador para la adquisición de datos

Se implemente el arduino UNO para la adquisición de datos ya que viene incorporado con un circuito integrado Atmega328P de código abierto, este arduino funciona a 5V en el que contiene 14 pines digitales E/S (de los cuales 6 proporciona salida PWM) y 6 entradas analógica con una velocidad del reloj de 16 MHz el cual es apto para este proyecto donde se utiliza 9 pines los cuales 8 son digitales y uno analógico en los cuales se utiliza de la siguiente forma:

- ✓ Pin D2, se declara como pin de salida para controlar el giro del motor nema 23 en la elevación e inclinación del área de trabajo de la mesa ergonómica automatizada a través de los valores de 0 o 1.
- ✓ Pin D4, se declara como pin de salida para enviar señales de los números de paso y el retardo de tiempo controlado el ángulo y la velocidad de la mesa ergonómica.
- ✓ Pin D6, se declara como pin de salida, este envía una señal de paro y giro a través de valores digitales de 1 o 0.
- ✓ Pin D8 Y D13, estos pines se declara como pines de salida para frenar el motor a través de los finales de carrera que están configurados normalmente cerrados y con

un valor de 0 o circuito abierto detienen el área de trabajo en la posición angular máximo y mínimo.

- ✓ Pin D10, se declara como pin de salida para indicar a través de un led verde cuando el tablero se está elevando.
- ✓ Pin D11, se declara como pin de salida para indicar a través de un led amarillo cuando el tablero se está inclinando.
- ✓ Pin D12, se declara como pin de salida para indicar a través de un led azul cuando el tablero llega a su tope máximo y mínimo.

4.2.7.1 Programación

La programación del control del motor nema 23 se realizó en código en software libre Arduino en la siguiente tabla

```
//Autor: José Eduardo Bautista Acevedo
//Ingeniería Mecatrónica
//19 de dic de 2019
//Este código permite controlar la velocidad y giro del motor paso a paso nema 23
//Declaración de las Variables
int pot; // lectura del potenciómetro
int dir = 2; // lectura del pin 2, activa el sentido de giro del motor dependiendo del estado.
int pul = 4; // lectura del pin 4 cada pulso a su entrada corresponde a un paso del motor
int en = 6; //pin 6, activa el frenado de giro del motor dependiendo del estado.
int ficra1 = 8; // pin 8 frena el motor en un sentido con el final de carrera normalmente cerrado
int pinled_mover_arriba = 10; // pin 10 enciendo el led cuando el motor gira en un sentido.
int pinled_mover_abajo = 11; // pin 10 enciendo el led cuando el motor gira en el sentido inverso.
int paroficra = 12; //pin 12 enciendo el led cuando el motor gira en un sentido.
int ficra2 = 13; //pin 8 frena el motor en el sentido inverso con el final de carrera normalmente cerrado
void setup() {
  Serial.begin(9600);
```

```
// S declaran los pines como salidas y entradas.

pinMode(dir, OUTPUT);
pinMode(pul, OUTPUT);
pinMode(en, INPUT);
pinMode(ficra1, INPUT);
pinMode(pinled_mover_arriba, OUTPUT);
pinMode(pinled_mover_abajo, OUTPUT);
pinMode(paroficra, OUTPUT);
pinMode(ficra2, INPUT);

// Se inicializa en 1 y 0 dependiendo el estado requerido
digitalWrite(en, LOW);
digitalWrite(ficra1, HIGH);
digitalWrite(pinled_mover_arriba, LOW);
digitalWrite(pinled_mover_abajo, LOW);
digitalWrite(ficra2, HIGH);
}
void loop() {
// Se guarda el valor en una variable de los pines de finales de carrera
int detener1 = digitalRead(ficra1);
int detener2 = digitalRead(ficra2);
pot = analogRead(A0); // leemos el potenciómetro
digitalWrite(dir, LOW);
digitalWrite(detener1, HIGH);
digitalWrite(detener2, HIGH);
if(detener1==LOW){ // Detiene el motor cuando hace contacto con el final de carrera cuando
llega al tope máximo del motor
if (pot<440) { // Giro en un sentido el motor
digitalWrite(pinled_mover_arriba, HIGH); // activa el led que indica el giro
// del motor en un sentido
digitalWrite(en, HIGH); //Habilita el motor para girar
digitalWrite(pul, HIGH); //envía los numero de pasos al motor
```

```
delay(1); //Retardo entre cada paso del motor

digitalWrite(pul, LOW); //envía los numero de pasos al motor

delay(1); //Retardo entre cada paso del motor

} else {

    digitalWrite(pinled_mover_arriba, LOW ); // desactiva el led si gira en sentido contrario del
motor

    digitalWrite(paroficra, LOW); // desactiva el led que indica el tope máximo del motor

}

}

else{

    digitalWrite(pinled_mover_arriba, LOW ); //desactiva el led si gira en sentido contrario del
motor

    digitalWrite(pinled_mover_abajo, LOW ); //desactiva el led que indica el giro en un sentido del
motor

    digitalWrite(paroficra, HIGH); // activa el led que indica los topes del motor

}

// Detiene el motor cuando hace contacto con el final de carrera cuando llega al tope mínimo del
motor

if(detener2==LOW){

    // Cambio de dirección del motor

    digitalWrite(dir, HIGH);

    if (pot>560){

        // se repite el ciclo, pero en sentido contrario

        digitalWrite(pinled_mover_abajo, HIGH);

        digitalWrite(pul, HIGH);

        delay(1); //Retardo entre cada paso del motor

        digitalWrite(pul, LOW);

        delay(1); //Retardo entre cada paso del motor

    }

    else {

        digitalWrite(pinled_mover_abajo,LOW );

        digitalWrite(paroficra, LOW);

    }

}

}
```

```
else{  
    digitalWrite(pinled_mover_arriba, LOW );  
    digitalWrite(pinled_mover_abajo, LOW );  
    digitalWrite(paroficra, HIGH);  
}  
}
```

5. Resultados

5.1 Construcción de la mesa ergonómica automática

5.1.1 Estructura mecánica

Para la construcción de la mesa ergonómica se selecciona tubo estructural de una pulgada cuadrada de calibre 18, este es cortado, soldado y pintado para mayor duración en un taller de ornamentación de acuerdo a las dimensiones del diseño en CAD



Figura 49. Construcción de la estructura metálica de la mesa ergonómica.

Se construye en una gaveta con un sistema de rodamientos para disminuir la fricción cuando se abre y se cierra, esta es elaborada en madera MDF de 15 mm de grosor.



Figura 50. Construcción de la gaveta con sistema de rodamientos.

Para el mecanismo se elabora los soportes en PLA debido a su bajo costo de elaboración y su resistencia a la tracción, a este se acopla un tornillo sin fin trapezoidal de 8 mm de diámetro y dos varillas lisas de acero plateado paralelas como guía de la tuerca trapezoidal, todos con sus respectivos rodamientos para disminuir la fricción.



Figura 51. Construcción del soporte y mecanismo del tornillo sin fin.

Se construye un soporte para el tablero en tubo estructural de 3/4" para darle rigidez y a su vez donde se anclan los dos eslabones que hacen girar el mismo según la posición ergonómica deseada por el usuario.



Figura 52. Construcción del soporte del tablero.

Se le incorpora dos rodachines en la parte de la base delantera de la mesa ergonómica con el objetivo de que se pueda transportar de un lugar a otro con facilidad.



Figura 53. Roachines delanteros de la mesa ergonómica automatizada.

5.1.2 Elaboración del circuito eléctrico

Para la elaboración del circuito eléctrico después de hacer el diseño se realiza prueba en la protoboard para verificar que todos los componentes incorporados en la PCB estén conectados de la forma correcta y funciones de acuerdo al diseño mostrado en la figura 54.

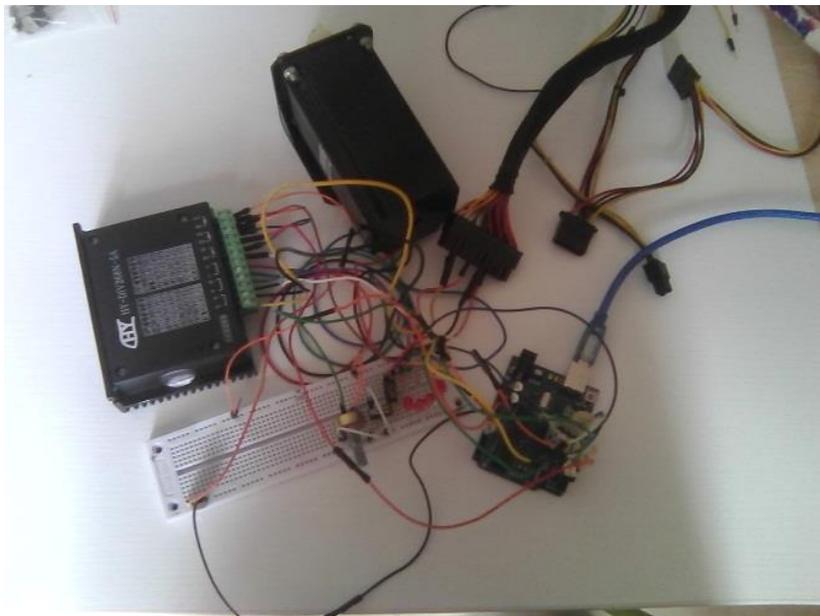


Figura 54. Circuito en protoboard.

5.1.2.1 Grabado del circuito eléctrico

Una vez comprobado el funcionamiento en protoboard se procede a la construcción de PCB por el método de grabado por transferencia de calor, para este proceso se imprime el circuito en modo espejo en papel fotografía en impresora láser, luego a través de una placa

virgen de cobre se hace contacto directo con el circuito impreso en papel fotográfico y se plancha por 10 minutos hasta que se transfiere el grabado en placa de cobre, después se somete a un ataque de ácido (cloruro férrico) este elimina el cobre que queda descubierto en el grabado dejando las pistas idénticas al diseño de la PCB este procedimiento se muestra en la figura 55.

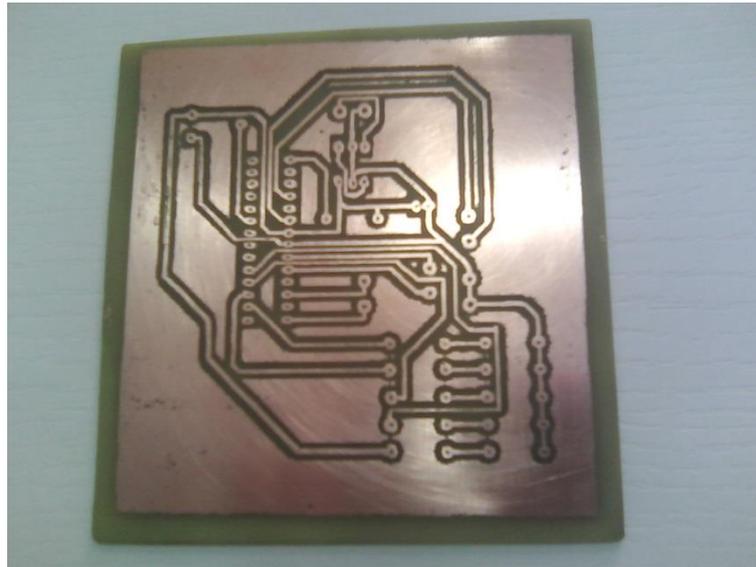


Figura 55. Circuito eléctrico en PCB.

5.1.2.2 *Montaje de los componentes de circuito eléctrico*

A continuación, se realiza el montaje de los componentes del circuito eléctrico para ello se taladra en los pines con una broca y se realiza pruebas de conexiones con un multímetro midiendo continuidad eléctrica para verificar cortocircuitos y rompimiento de las pistas.



Figura 56. Montaje de los componentes del circuito electrónico en PCB.

Para optimizar costo se adecua una caja de una fuente ATX de pc para realiza el montaje y las conexiones eléctricas donde se realiza las conexiones de los leds (indicadores) el switch de encendido y apagado de la fuente el potenciómetro, finales de carrera, driver HY-DIV268n-5A, vista en la figura 57.

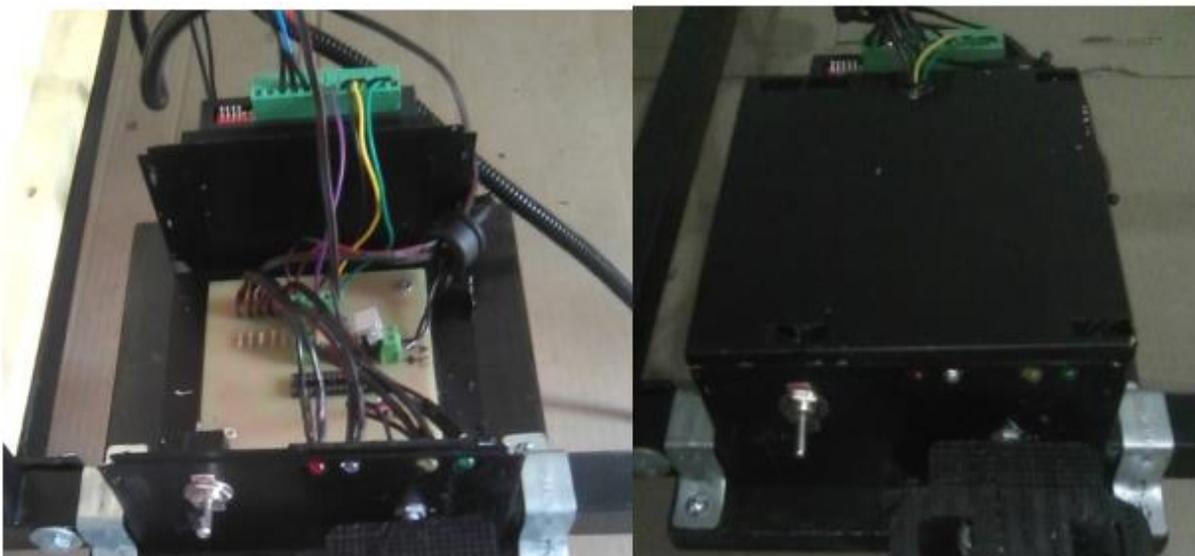


Figura 57. Circuito en caja con las conexiones eléctricas.

Finalmente, se le adapta los finales de carrera a los topos máximo y mínimo del motor.

5.1.2.3 *Pedal para la inversión el giro del motor*

Se diseñó el pedal en CAD y se elaboró en una impresora 3D con PLA este pedal permite el giro del motor a ambos sentidos elevando e inclinando el área de trabajo como lo desee el usuario, en sus extremos están incrustados dos resortes que lo mantiene en posición intermedia.



Figura 58. El pedal que controla el giro del motor.

5.1.2.4 *Los finales de carrera*

Los finales de carrera estos configurados normalmente cerrados de manera que sí se rompe un cable del sensor de contacto detenga el motor. Sí se configura normalmente abierto se corre el riesgo de que sí ocurre un rompimiento de los cables el mecanismo colisione en los soportes del tornillo sin fin.



Figura 59. Finales de carrera en el tope mínimo y máximo del motor.

5.1.3 Configuración del motor

5.1.3.1 Pasos del motor

Para la configuración del motor paso a paso nema 23 se debe tener en cuenta en cada paso del motor gira 1.8 grados es decir para una revolución se requiere 200 pasos, pero además el driver HY-DIV268n-5A contiene una disposición de micropasos de 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 que son subdivisiones de pasos donde se ajusta la velocidad y torque del motor y como se muestra en la figura 61. Al disminuir la velocidad aumenta el torque y para hacer un aprovechamiento del mismo se configura desde el código los retardos de tiempo en cada paso y además desde el driver se establece 1/2 de micropaso es decir que por cada pulso el motor gira $1.8^\circ/2$ o 0.9° ya que es la velocidad óptima para controlar el área de trabajo y para ello se toma los datos de datasheet.



Figura 60. Configuración del driver HY-DIV268N-5A.

Fuente: (“DATASHEET DRIVER HY-DIV268N-5A,” 2019)

CUI P/N NEMA23-22-02PD-AMT112S
Lin Engineering P/N WO-5718M-02P (1.8 Step Motor)
24 Vdc, 4.2 Amp/Phase, IB1010, 1/2 Stepping

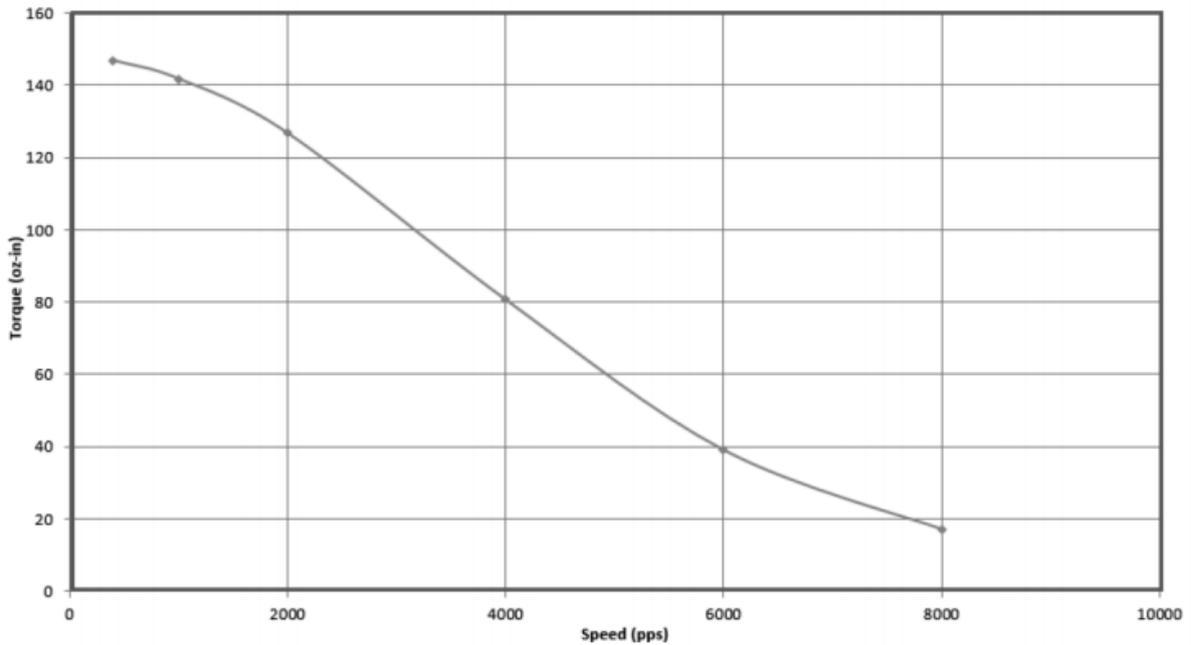


Figura 61. Relación de torque vs velocidad.

Fuente: (CUI INC, 2019)

5.1.3.2 *Corriente del motor*

Para la configuración de la corriente del motor nema 23 bipolar de 30 kg-cm se consulta el datasheet del mismo para configura el driver HY-DIV268n-5A, la corriente máxima del motor es de 4.2A lo que es aconsejable adaptar el driver a su máxima corriente de 5A para evitar fallas cuando el motor realice su máximo esfuerzo.



Figura 62. Configuración de corriente de driver.

Fuente: (“DATASHEET DRIVER HY-DIV268N-5A,” 2019)

5.1.4 Pruebas de control de área del trabajo ergonómico de la mesa automática

Se ensambla la estructura y todos sus componentes mecánicos y electrónicos de acuerdo al diseño y se realiza varias pruebas de funcionamiento tanto como mecánico como electrónico de cada una de las partes móviles para verificar su funcionalidad, el cual se observa el ruido normal del motor con una vibración adecuada y una velocidad estable, se gira el área de trabajo en diferentes ángulos desde 0° hasta 80° que son los toques mínimos y máximo.



Figura 63. Pruebas de las partes mecánicas de la mesa de trabajo automatizado.

5.2 Costo total del proyecto

Tabla 1.
 Costo total del proyecto.

Producto	Marca	Precio	Cantidad	TOTAL (pesos colombiano)
Madera	MFD	\$ 240.000,00		\$ 240.000,00 Carpintería local
Tubo metálico de ornamentación 1" y 3/4" cuadrado		\$ 105.000,00		\$ 105.000,00 Ferretería local
Tornillos de 1 1/2 "más tuerca y arandelas		\$ 800,00	25	\$ 20.000,00 Ferretería local
Roachines de 1 1/2"		\$ 5.000,00	2	\$ 10.000,00 Ferretería local
Soldadura de la estructura metálica		\$ 200.000,00		\$ 200.000,00 Taller de ornamentación

Abrazaderas metálicas de dos orejas de ½” y ¾” más tornillos	\$ 700,00	16	\$ 11200,00	Ferretería local
Muebles en cuerina sintética con espuma más tamizado	\$ 50.000,00	2	\$ 100.000,00	Carpintería local
Impresiones en PLA	\$ 300.000,00		\$ 300.000,00	Tiendas electrónica Dymano Electronics
Tornillo sin fin trapezoidal de 300mm diámetro	\$ 30.000,00	1	\$ 30.000,00	Tienda virtual Vistronica
Tuerca trapezoidal de 8mm diámetro interno	\$ 5.000,00	2	\$ 10.000,00	Tienda virtual Vistronica
Rodamientos lineales de 8mm diámetro interno	\$ 5.0000,00	2	\$ 10.000,00	Tienda virtual Vistronica
Varilla lisa plateado de 8mm de diámetro y 1m de longitud	\$ 30.000,00	1	\$ 30.000,00	Tienda virtual Vistronica
Rodamientos 8mm internos para eje	\$ 3.000,00	2	\$ 6.000,00	Tienda virtual Vistronica
Acoplamiento Elástico 8X8mm	\$ 5.500	1	\$ 5.500	Tienda virtual Vistronica
Motor paso a paso nema 23 de torque 28.55Kg.cm	\$ 226.000,00	1	\$ 226.000,00	Tienda virtual Vistronica
Soporte Motor Paso a Paso Nema 23	\$ 16.400,00	1	\$ 16.400,00	Tienda virtual Vistronica
Sensor Final de Carrera	\$ 800,00	2	\$ 1.600,00	Tienda virtual Vistronica
Potenciometro Lineal B 10 Kohm 20 mm	\$ 1.200,00	1	\$ 1.200,00	Tienda virtual Vistronica
Resistencias	\$ 300,00	6	\$ 1.800,00	Tienda virtual Vistronica
Leds	\$ 70,00	5	\$ 350,00	Tienda virtual Vistronica

Conclusiones

- Se logró la construcción y el funcionamiento de la mesa ergonómica automatizada con los recursos disponible tanto económico con de componentes disponible en el mercado.
- Se diseñó algunas partes de la estructura mecánica debido a que no se encontraron en el mercado con las dimensiones y funciones requeridas para su construcción.
- Se construyó la mesa ergonómica automatizada con las dimensiones y condiciones suministrada del joven con discapacidad a través de la encuesta persona realizada de acuerdo a sus necesidades.
- Se realizó el control en lazo abierto debido a que no es tan necesario un control en lazo cerrado y a la estabilidad de motor paso a paso ya que se puede calcular el giro y la velocidad de salida controlando en número de pasos a través de señales digitales de entrada.
- Es indispensable establecer los límites del giro del motor a través de señores finales de carrera para evitar colisiones que causes daños del mecanismo.
- La mesa ergonómica es desarmable tanto en la parte mecánica como electrónica con el objetivo que se pueda transportar a larga distancias y se pueda cambia algún componente debido a desgaste o daño que pueda sufrir.
- Se utilizó como microcontrolador el Arduino UNO que viene incorporado con el circuito integrado Atmega328P-PU extraíble dado que se buscó confiabilidad, economizar y para la aplicación es el adecuado.

Recomendaciones

- Se debe realizar un diseño en detalle para la construcción de un sistema automático con el propósito de disminuir costos y tiempo debido a que se pueden cometer errores en la construcción.
- Se debe seleccionar con detalle y extremo cuidado cada componente electrónico para evitar daños por la falta de una planeación y verificación en detalle.
- Se debe revisar el datasheet o hoja de características de cada componente eléctrico y electrónico para hacer un uso adecuado de cada uno y evitar daños de los mismos.
- Para la elaboración de PCB se recomienda utilizar el método de mecanizado en una CNC para darle mayor confiabilidad, para este caso se elaboró por transferencia de calor y ataque químico por ácido para optimizar costos de construcción.
- Para el control de un motor paso a paso de alto torque se recomienda utilizar un PLC e vez de un microcontrolador, debido a que los PLC,s son más robustos puesto que soporta vibraciones y ambientes hostiles en un área de automatización agresivo.
- Se debe realizar una inspección y mantenimiento periódico de las partes mecánicas y electrónicas para cambiar piezas desgastadas y prevenir fallos del mismo.
- Se debe prevenir la humedad, regar líquidos comer en su uso o mojar para prologar su uso y evitar el deterioro de sus componentes.
- Se debe evitar en lo posible hacer esfuerzo excesivo sobre el área de trabajo ya que está diseñado para realizar trabajos de pintura, elaboración de planos y dibujo.

Referencias

- Arduino . (2019). Retrieved November 25, 2019, from <https://www.arduino.cc/>
- ATmel. (2009). *Microcontrolador ATmega320P*. Retrieved from <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/ATMega328.pdf>
- AUTOMATIONDIRECT. (2007). *Sistema de motores paso a paso*. 70. Retrieved from <https://cdn.automationdirect.com/static/manuals/surestepmanualsp/surestepmanualsp.pdf>
- AutomationDirectcom. (2005). *Sistema de motores paso a paso*. Retrieved from <https://cdn.automationdirect.com/static/manuals/surestepmanualsp/surestepmanualsp.pdf>
- Compañía Levantina de Reductores. (2016). Motor paso a paso: cuándo y por qué utilizarlo – Blog CLR. Retrieved November 14, 2019, from <https://clr.es/blog/es/motor-paso-a-paso-cuando-utilizarlo/>
- Compañía Levantina de Reductores. (2019). 6 aplicaciones de los tornillos sinfín – Blog CLR. Retrieved November 14, 2019, from <https://clr.es/blog/es/aplicaciones-tornillos-sinfín/>
- Cruz Gómez, J. A. (2010). *Ergonometria Aplicada* .
- CUI INC. (2019). *DATASHEET DEL MOTOR NEMA 23*. Retrieved from <https://www.cuidevices.com/product/resource/nema23-amt112s.pdf>
- DATASHEET DRIVER HY-DIV268N-5A. (2019). Retrieved December 6, 2019, from https://wiki.kreitek.org/_media/proyectos:cnc:div268n-5a-datasheet.pdf
- Dr. Douglas W. Jones. (2004). *Stepping Motors Fundamentals*. 22.
- ELECTRO SCHEMATICS. (2015). Construye tu propio Arduino y carga un microcontrolador ATmega. Retrieved November 25, 2019, from <https://www.electroschematics.com/build-arduino-bootload-atmega-microcontroller-part-1/>
- ELECTROPRO. (2017). Driver HY-DIV268N-5A. Retrieved November 25, 2019, from <http://electropro.pe/image/data/imgProductos/196>. Driver de Motor Paso a Paso/HY-

DIV268N-5A.pdf

Eskubide guztiak erresalbatu dira. (2011). *Control de un motor paso a paso: PIC, USB y C#*.

Galloway, J. L., Delgado, I., Ros, M. A., & Tabin, C. J. (2009). A reevaluation of X-irradiation-induced phocomelia and proximodistal limb patterning. *Nature*, 460(7253), 400–404. <https://doi.org/10.1038/nature08117>

Gómez Pindado, J. (2018). *Diseño e implementación del control de motor paso mediante dispositivos embebido RIO* (Universidad de Valladolid). Retrieved from <http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/32887/TFG-I-1007.pdf;jsessionid=593E2AF87C390826A04136E498CF9284?sequence=1>

INSIGNIA. (2017). *Fuente de alimentación ATX 450W o ATX 550W NS-PCW4508/NS-PCW4508-C/NS-PCW5508/NS-PCW5508-C*. Retrieved from www.insigniaproducts.com

Irmig Isaac Hernández Bello, C. O. L. (2004). *Control difuso y construcción de un mecanismo capaz de golpear con distintos efectos una bola de billar* (Universidad de las Américas Puebla). Retrieved from http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/hernandez_b_ii/capitulo3.pdf

KENDALL, F. K. E. P. (2000). *SISTEMA ERGONOMICO Y FACTORES DETERMINANTES DE LA ERGONOMIA*.

Larousse Editorial, S. L. (2016). Pedal. Retrieved November 15, 2019, from <https://es.thefreedictionary.com/pedal>

MATÍN ROBERTI, V. A. F. M. (2008). FUENTE CONMUTADA DE PC TIPO ATX. Retrieved November 23, 2019, from http://ciecfie.epn.edu.ec/wss/VirtualDirectories/80/pag_personales/PChico/Materiales_Conversores/fuente-conmutada-pc-tipo-atx.pdf

Mckinsey Global Institute. (2017). *Un Futuro Que Funciona: Automatización, Empleo Y Productividad*. 27.

Myszka, D. H., Antonio, T., Brito, E., Saldaña, S., Ángel, S., Fernández, H., ... Garza, A.

(2012). *MÁQUINAS Y MECANISMOS Cuarta edición*. Retrieved from

<https://pavisva.files.wordpress.com/2016/01/mc3a1quinas-y-mecanismos-4-ed-david-h-myszka.pdf>

Nació sin brazos y logró una beca en la Unipamplona. (n.d.). Retrieved November 13, 2019, from <https://www.laopinion.com.co/pamplona/nacio-sin-brazos-y-logro-una-beca-en-la-unipamplona-144750#OP>

Oberg, E. (1920). *Spiral and worm gearing; a treatise on the principles, dimensions, calculation and design of spiral and worm gearing, together with the chapters on the methods of cutting the teeth in these types of gears : Oberg, Erik, 1881- : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive*. Retrieved from <https://archive.org/details/spiralwormgearin00oberrich/page/114>

Robots Argentina. (2019). Motores paso a paso - Características básicas - Robots Argentina. Retrieved November 24, 2019, from http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm

servicesparepart. (2019). Descargar Atmega328 Hoja de datos en formato PDF 100% gratis - ServiceSparePart. Retrieved November 25, 2019, from <https://www.servicesparepart.com/download-atmega328-datasheet-pdf.html>

Sigma Electrónica. (2019). Driver de Potencia para Motor Paso a Paso HY-DIV268N-5A. Retrieved November 25, 2019, from <https://www.sigmaelectronica.net/producto/hy-div268n-5a/>

Takashi Kenjo. (1984). *201490608-Stepping-Motors-and-Their-Microprocessor-Controls-1984.pdf* (first edit). Kanagawa, Japan.

Velasco Martos, N. (2019). *Microcontroladores*. Retrieved from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11141/fichero/PFC%252F3+Microcontroladores.pdf>