



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DESARROLLO DE PROTOTIPO A ESCALA DE UN PUENTE DE
GRÚA DE IZAJE CON POSICIONAMIENTO BASADO EN
CONTROL
NUMÉRICO COMPUTARIZADO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Rubén Darío Eguiguren Chávez
Alain Josué García Goyes
TUTOR: José Alexander Zambrano García

Guayaquil - Ecuador
2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Rubén Darío Eguiguren Chávez** con documento de identificación N° **0921723409** y **Alain Josue García Goyes** con documento de identificación N° **0951539600**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 06 de marzo del año 2025

Atentamente,



Rubén Darío Eguiguren Chávez
0921723409



Alain Josue García Goyes
0951539600

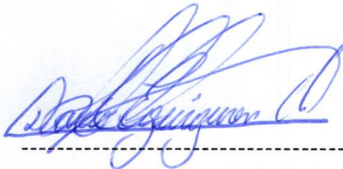
**CERTIFICACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Rubén Darío Eguiguren Chávez** con documento de identificación No. **0921723409** y **Alain Josue García Goyes** con documento de identificación No. **0951539600**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: DESARROLLO DE PROTOTIPO A ESCALA DE UN PUENTE DE GRÚA DE IZAJE CON POSICIONAMIENTO BASADO EN CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 06 de marzo del año 2025

Atentamente,



Rubén Darío Eguiguren Chávez

C.I. 0921723409



Alain Josue García Goyes

C.I. 0951539600

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, José Alexander Zambrano García, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE PROTOTIPO A ESCALA DE UN PUENTE DE GRÚA DE IZAJE CON POSICIONAMIENTO BASADO EN CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO**, realizado por **Rubén Darío Eguiguren Chávez** con documento de identificación No. **0921723409** y **Alain Josue García Goyes** con documento de identificación No. **0951539600**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivos Tecnológicos** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 06 de marzo del año 2025

Atentamente,



Ing. José Alexander Zambrano García, Mgtr.

0703175521

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación en primer lugar a Dios, porque a sido luz y guía en todo mi proceso de vida, me ha sabido llenar de sabiduría para tomar las mejores decisiones en mi desarrollo profesional y personal, a mi pareja Marjorie Piloza madre de mi hijo que ella es la que está conmigo siendo pilar fundamental en todo mi proceso.

Se lo dedico en memoria de mi mamá y papá fallecidos en el 2020, lo que se vivió por pandemia afectó mucho mi familia, y mi estabilidad emocional para poder continuar con mi proceso estudiantil, se lo dedico porque ellos siempre han sido mi mayor fuente de inspiración para lograr mis objetivos, me enseñaron a ser valiente y tomar decisiones por bien propio.

Para finalizar se lo dedico a mi hijo Rubén Benjamín Eguiguren Piloza, es el niño que me está enseñando a ser un buen padre, estar con él en las buenas y malas sin importar la situación, se lo dedico porque él es mi mayor fuente de inspiración para seguir adelante lo amo con mi vida, a mis 2 hermanas de sangre Chabela y Rudy que han estado conmigo de forma directa e indirecta en todo mi trayecto de estudios.

Rubén Darío Eguiguren Chávez

Dedico este proyecto a mi familia y, especialmente, a mi madre, Mercy Inés Goyes Moreno, quien, con su amor incondicional, su comprensión y su apoyo constante, me ha dado la fuerza necesaria para enfrentar cada reto. Ella ha estado a mi lado en todo momento, esforzándose siempre por verme crecer como una mejor persona y apoyándome en cada paso para avanzar. Gracias por ser mi fuente de inspiración, por tu entrega y por enseñarme el verdadero significado del esfuerzo y la perseverancia en cada etapa de mi vida.

A mi tutor, el Ingeniero José Zambrano, por su paciencia, orientación y apoyo. Su experiencia y conocimientos han sido fundamentales para superar los desafíos que surgieron en este proyecto, brindándome las herramientas necesarias para aprender y desarrollarme tanto a nivel personal como profesional. Agradezco profundamente su compromiso en guiarme, lo cual ha sido clave en el éxito de este proceso.

Alain Josue García Goyes

AGRADECIMIENTO

Estoy agradecido con Dios, por darme el don de la resiliencia, a mis padres que han formado un hombre de bien, con valores y principios dónde sea que me encuentre, le agradezco a mi pareja Marjorie Piloza que me brinda su motivación a seguir, a mis suegros Rocío y Wilmer por acogerme en su morada y brindarme su apoyo directo de mis estudios.

Le doy gracias a mis hermanas Chabela y Rudy por brindarme su apoyo cuándo se los he pedido. Le doy gracias al distinguido Ing. José Zambrano que en su rol de tutor de tesis, nos ha sabido direccionar de forma óptima y eficaz para el desarrollo de la presente tesis, mi gratitud y consideración hacia usted Ing.

Rubén Darío Eguiguren Chávez

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, a mi madre y a mi tutor por su apoyo incansable a lo largo de este proceso. A ustedes les debo gran parte de este logro.

A mi madre, gracias por tu amor, sacrificio y por estar siempre a mi lado, brindándome fuerzas para superar los momentos difíciles. Tu confianza en mí y tu constante aliento fueron fundamentales para que nunca me rindiera. Me enseñaste el valor de la dedicación y la perseverancia, y por ello te estaré eternamente agradecido.

A mi tutor, gracias por tu orientación, paciencia y compromiso. Tu ayuda fue crucial en cada etapa de mi proyecto de tesis. Tu conocimiento y consejos me impulsaron a crecer académicamente y a mejorar en mi trabajo.

Este logro no es solo mío, sino también de ustedes, quienes, con su apoyo incondicional, han hecho posible que culmine este proyecto y alcance esta meta. ¡Gracias por ser mis pilares!

Alain Josue García Goyes

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo el diseño y la implementación de un puente de izaje para el transporte y manipulación de cargas de 1kg, simulando un entorno industrial específico. Este proyecto aborda la necesidad del uso de un puente de izaje en la industria para elevar y trasladar materiales de gran peso de forma eficiente y segura dentro de un espacio determinado, optimizando los procesos logísticos y operativos.

Se presenta un análisis detallado sobre los criterios técnicos que deben considerarse para el diseño de la estructura, incluyendo simulaciones en inventor de las piezas, diagramas eléctricos que usaron para la fabricación y las piezas que lo conforman. La tesis también analiza las condiciones de carga, las dimensiones del puente, y su resistencia a factores como tensión, deflexión y desplazamiento, los cuales podrían afectar la estabilidad del sistema.

El diseño propuesto se valida mediante simulaciones y cálculos estructurales que aseguran que el puente cumpla con las normativas de seguridad y eficiencia operativa. Además al usar una controladora CNC para gestionar el desplazamiento y elevación de cargas de prueba con alta precisión, se integraron sensores, motores paso a paso y una interfaz de usuario que permite la programación de trayectorias predefinidas.

I. ABSTRAC

The objective of this thesis is the design and implementation of an overhead crane for the transportation and handling of 1kg loads, simulating a specific industrial environment. This project addresses the need for an overhead crane in the industry to lift and transport heavy materials efficiently and safely within a designated space, optimizing logistical and operational processes.

A detailed analysis is presented on the technical criteria that must be considered for the structural design, including Inventor simulations of the components, electrical diagrams used for manufacturing, and the parts that make up the system. The thesis also examines load conditions, bridge dimensions, and its resistance to factors such as tension, deflection, and displacement, which could affect the system's stability.

The proposed design is validated through simulations and structural calculations to ensure compliance with safety and operational efficiency standards. Additionally, by using a CNC controller to manage the displacement and lifting of test loads with high precision, sensors, stepper motors, and a user interface were integrated, allowing the programming of predefined trajectories.

ÍNDICE

I.	Abstrac	8
II.	PROBLEMA	1
III.	JUSTIFICACIÓN	2
IV.	OBJETIVOS	3
IV-A.	Objetivo general	3
IV-B.	Objetivos específicos	3
IV-C.	Matriz de Objetivos	3
V.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
VI.	MARCO METODOLÓGICO	10
VI-A.	Diseño del prototipo	11
VI-B.	Cálculos Estructurales	17
VI-B1.	Eje Z	18
VI-B2.	Eje Y	19
VI-B3.	Eje X	19
VI-B4.	Escenario 1	19
VI-B5.	Planteamiento analítico de los esfuerzos que se generan entre los motores y el tornillo sin fin	24
VI-B6.	Cálculo de velocidad de avance del tornillo sin fin	25
VI-C.	Selección de motores, con base en los cálculos de peso de cada eje	25
VI-C1.	Análisis estructural por simulación de Inventor	26
VI-D.	Diseño de detalle de la máquina	33
VI-D1.	Diagrama Eléctrico	38
VII.	Resultados	42
VIII.	PRESUPUESTO	53
IX.	Conclusiones	54
X.	Recomendaciones	55
XI.	Anexos	57
XI-A.	Anexo E: Plano Ensamble	57
XI-B.	Anexo A: Planos de las placas metálicas	60
XI-C.	Anexo B: Motor Nema23 23HS8430B	67
XI-D.	Anexo C: Controladora CNC	69
XI-E.	Resultado de la simulación en Inventor, fuente los Autores	73
XI-F.	Anexo D: Interfaz del proyecto	77
XI-G.	Anexo D: Tablero de Control	78
XI-H.	Anexo F: Ensamble final del Puente de Izaje	79

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Controladora CNC RMHV 3.1	5
2.	Driver CNC BT6600	6
3.	Puente de grúa giratorio fuente AICRANE	7
4.	Puente de grúa Monorriel fuente AICRANE	8
5.	Puente de grúa portico fuente AICRANE	8
6.	Fórmulas del libro de Shigley	9
7.	Diagrama de metodología a utilizar para la implementación del prototipo fuente los Autores	11
8.	Propiedades del tubo rectangular galvanizado.	13
9.	Propiedades Físicas del Aluminio 6065-t5	13
10.	Diseño de los perfiles en C fuente los Autores	14
11.	Piezas que conforman el Puente de Izaje fuente los Autores	15
12.	Diagrama de flujo de operación para el prototipo del puente grúa basado en control numérico computarizado fuente los Autores fuente los Autores	17
13.	Escenario 1: Carga en el extremo de viga viajera. fuente los Autores	18
14.	Escenario 2: Carga en el centro de la viga viajera. fuente los Autores	18
15.	Eje Z fuente los Autores	19
16.	Fuerzas que actúan sobre el motor y el tornillo fuente los Autores	24
17.	Tensión de Von Mises de una carga axial en el tornillo del eje X, fuente los Autores	27
18.	Tensión de Von Mises caso 1, fuente los Autores	28
19.	Desplazamiento en el eje Y caso 1, fuente los Autores	29
20.	Coeficiente de seguridad en el caso 1, fuente los Autores	30
21.	Tensión de Von Mises cuando el peso se sitúa en el centro de la viga fuente los Autores	31
22.	Tensión de Von Mises caso 2, fuente los Autores	31
23.	Factor de seguridad cuando la carga se encuentra en la mitad de la viga carrilera, fuente los Autores	32
24.	Fuerza externa para la simulación de inventor, fuente los Autores	33
25.	Placas del Eje X fuente los Autores	34
26.	Placas del Eje Y fuente los Autores	35
27.	Traslación por el eje Y fuente los Autores	36
28.	Traslación de las Placas del Eje Z	37
29.	Dimensiones generales del Prototipo fuente los Autores	38
30.	Diagrama de conexión entre la controladora y Driver fuente los Autores	38
31.	Diagrama de clonación de señales de pulso y dirección para el eje X fuente los Autores	39
32.	Diagrama de conexión de los motores nema del eje X fuente los Autores	40
33.	Diagrama de conexión de los motores nema del eje Y, Z fuente los Autores	41
34.	Diagrama de conexión eléctrica fuente los Autores	42
35.	Tornillo sin fin en el prototipo	43
36.	Tablero de control pruebas iniciales fuente Los Autores	44
37.	Pulsadores en el Tablero de control, fuente los Autores	45
38.	Conexión por socket entre los motores y drivers	46
39.	Cableado motor eje Y	47
40.	Cableado ingresado en el Drag Chain	48
41.	Conexión eléctrica de componentes dentro del case	49
42.	Programación base de código G parte 1, fuente los Autores	50
43.	Programación base de código G parte 2, fuente los Autores	50
44.	Cronograma de actividades.	52

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Matriz de Objetivos. Fuente: Los Autores	3
II.	Presupuesto del proyecto.	53

II. PROBLEMA

Las operaciones de izaje de cargas son consideradas operaciones de alto riesgo, a nivel mundial, 1 de cada 4 accidentes ocurre debido a fallos relacionados con izaje de cargas controladas por personal humano [1]. Mientras que los sistemas automatizados donde el control es programado y repetitivo los accidentes son casi nulos o no existen, ya que, a medida que se reduce la intervención del hombre los accidentes disminuyen, así lo explica Pere Ponsa.

Durante el 2023, el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) registró 20597 accidentes laborales, de los cuales el 50.6 % se registraron dentro de lugar de trabajo [2]. Muchos de los cuales resultan en ausentismo laboral, discapacidad, lo que se traduce en una reducción de la productividad por parte de la empresa afectada. Además de retrasos en cuanto a entregas. Se hace énfasis al exceso de confianza [1]; en las operaciones de maquinarias de elevación y traslado de cargas, donde los accidentes pueden afectar la calidad de vida del operario.

El incidente ocasionado por una grúa puede llegar a causar grandes retrasos en las labores desempeñadas, ocasionando pérdidas tanto económicas como materiales. Por dicho motivo, se pide siempre que los montajes tengan una adecuada planificación, pero al tratarse de personas que controlan los puentes grúas, el error humano siempre estará presente, que se traducen en pérdidas económicas para la empresa.

Las empresas que tienen puentes grúas sólo disponen de un funcionamiento convencional (con control electromecánico), por motivo que una modernización automática genera una fuerte inversión, por ende es necesario incorporar un sistema de precisión y de menor costo para garantizar la seguridad de los operadores y la integridad de los instrumentos de izaje.

III. JUSTIFICACIÓN

Un puente de grúa es utilizado habitualmente en fábricas e industrias para izar y desplegar cargas pesadas, por esta razón, a nivel mundial, 1 de cada 4 accidentes ocurre debido a fallos relacionados con izaje de cargas donde interviene el personal humano, mientras que los sistemas automatizados donde la intervención humana es casi nula o inexistente, ya que, a medida que se reduce la intervención del hombre los accidentes disminuyen, así lo explica Peres Ponsa [3].

Un puente de grúa es utilizado habitualmente en fábricas e industrias para izar y desplegar cargas pesadas, con el objetivo de reducir los tiempos de traslado y del personal humano necesario para realizar estas actividades [4], por esta razón, conocer su manejo apropiado mediante el uso del lenguaje de programación código G, no solo ayudará a reducir los posibles accidentes que se generen por su utilización sino también servirá para que el estudiante aumente su valor dentro de la empresa.

Para Marco Casimba, Gerente general de Henaselec, quien es representante comercial de Atlas Robots en Ecuador, sostiene que los sistemas automatizados reducen los costos de operación, además de requerir un menor espacio físico en comparación a los procesos manuales, lo cual permite una reducción de la variabilidad y permiten trabajar de manera repetitiva y constante sin necesidades de descanso [5], esto quiere decir, que las ventajas ofrecidas por la automatización industrial valdrían la inversión que representan, a pesar de que las empresas piensen lo contrario.

Las empresas donde la automatización desplaza el personal humano, en especial en las áreas donde se necesita trasladar cargas pesadas o se necesita realizar tareas repetidas, los accidentes laborales se redujeron un 30 %, además se reveló que hubo una reducción de la mitad en enfermedades relacionadas con posturas forzadas, movimientos repetitivos, inflamación de músculos y tendones, lo que quiere decir que, la automatización se convierte en una herramienta crucial para mejorar la seguridad laboral [6].

IV. OBJETIVOS

IV-A. Objetivo general

Desarrollar un prototipo a escala de un puente grúa de izaje con posicionamiento basado en control numérico computarizado, para la seguridad en el manejo de cargas pesadas.

IV-B. Objetivos específicos

1. Diseñar la estructura del prototipo de puente grúa con un área de trabajo de $1m^2$, utilizando software de diseño CAD.
2. Desarrollar una interfaz y un sistema de control para el transporte y posicionamiento de los objetos mediante lenguaje de programación para máquinas de herramienta CNC.
3. Validar el funcionamiento del prototipo mediante pruebas de soporte de cargas y relación de avance.

IV-C. Matriz de Objetivos

Tabla I
MATRIZ DE OBJETIVOS. FUENTE: LOS AUTORES

OBJETIVOS	PLANTEAMIENTO	META	INDICADOR
OE1.	Diseñar la estructura del prototipo de puente grúa, en un área de trabajo de $1m^2$, utilizando software de diseño CAD.	Entrega de 10 planos de diseño en software CAD del prototipo de acuerdo al eje de coordenadas (X-Y-Z).	Los planos de la estructura tanto como placas de unión, tamaño de los perfiles y sistema de acoplamiento para izaje de cargas.
OE2.	Desarrollar una interfaz y un sistema de control para el transporte y posicionamiento de los objetos mediante lenguaje de programación para máquinas de herramientas CNC.	Alcanzar al menos un 90% de eficiencia en 50 pruebas de movimiento tridimensional.	Realizar las pruebas en los 3 ejes de coordenadas con los drivers seteados en 200 pasos y programar un movimiento de 100mm lo cuál será validado físicamente con el avance realizado en el prototipo.
OE3.	Validar el funcionamiento del prototipo mediante pruebas: soporte de cargas; relación de avance; interconexión eléctrica.	Alcanzar al menos un 90% de eficiencia en 50 pruebas de soporte de cargas.	El prototipo pueda mover cargas de pruebas las cuales tendrán 3 cargas de 500gramos c/u y 3 cargas de 1kg c/u sin que la carga de prueba exceda el peso máximo de diseño además de realizar las interconexiones eléctricas entre el motor, driver y controlador.

V. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La importancia de la automatización de procesos industriales y que esta es vital para la supervivencia de las empresas, independiente del área donde sea utilizada [7], puesto que, las ventajas ofrecidas son en función a la productividad, eficiencia y calidad, parámetros que preocupan a cualquier industria. Tomando en cuenta que, en los mercados globalizados, la empresa que ofrezca el producto a un menor precio y tiempo, será la clave de su supervivencia, por lo cual, cualquier idea que permita reducir costos y agilizar procesos, por ello, la automatización es la llave que abra las puertas de la competencia y crecimiento [8] .

Entonces, que significa realmente la automatización industrial, esto que siempre escuchamos, pero que abarca un significado muy grande, de manera sencilla, los sistemas de automatización industrial tienen un objetivo fijo, lo cual se traduce en una sola palabra “rentabilidad”. En busca de la rentabilidad, el proceso industrial debe optimizar el uso de los materiales, mejorar la calidad con lo que son producidos, reducir el personal humano, agilizar los tiempos de entrega, aumentar la productividad y ser seguros. [9]

Tomando en cuenta lo mencionado con anterioridad, se enfoca en la fabricación de un Prototipo de Robot Cartesiano, el cual será manipulado desde una pantalla HMI, que le permita al usuario mover cargas dentro del depósito de manera ágil y rápida, usando el lenguaje de Código G, por ello, el siguiente marco teórico estará enfocado en los componentes, que serán necesarios en la fabricación del prototipo. Con la finalidad de controlar los movimientos del prototipo se procederá usar el lenguaje de programación de software CAT, entre ellos se usará Código G es el lenguaje de programación que se usa para el control de máquinas CNC (Computer Numerical Control), la misma, que recibe instrucciones de manera secuencial de los pasos necesarios para realizar el trabajo programado mediante coordenadas XYZ, generalmente siendo movimientos rápidos en línea recta. [10]

Por tal motivo el operario que use el prototipo, debe de comprender el lenguaje de código G, ya que este será el único método para manipular el movimiento, por ende, se debe de capacitar al personal vinculado al proyecto de manera adecuada, para que este pueda no solo realizar el trabajo cotidiano sino también, que conozca la manera correcta de proceder ante la posible falla del prototipo o imprevisto.

Con el objetivo de eliminar el control por computadora de escritorio el mismo que representaría un problema al momento de la movilización, se optó por el uso de un controlador CNC tipo PLC, lo cual simplificará las interfaces usuario-máquina (HMI), ya que estas integran pantallas táctiles y un sistema amigable para el uso, se optó por la controladora CNC RMHV3.1 de la empresa Rattm Moto. [11] La controladora RMHV 3.1, cumple con las características necesarias para realizar el trabajo que necesita el prototipo, ya que esta, puede controlar hasta 4 ejes y control manual, además de tener una interfaz amigable con el usuario, lo cual facilitará el trabajo para el controlador humano, dentro de las características principales que ofrece la RMHV 3.1 tenemos las siguientes:



Figura 1. Controladora CNC RMHV 3.1

Pose entrada de acoplamiento digital ordinaria de 16 circuitos de circuito; Aislamiento de pareja de 3 circuitos correspondientes a la interfaz de entrada digital ordinaria; Salida del puerto de control del huso 0-10V con cantidad analógica y capaz de convertirse en una salida PWM; Control del motor paso a paso de hasta 4 ejes; Salida de pulso de control de 500 kHz; Chip principal ARM9; Chip de algoritmo de núcleo FPGA; Pantalla TFT de 4.3 pulgadas, resolución de pantalla de 480*272; El equipo de control soporta la entrada de potencia de 18 V-32V; Admite los sistemas de coordenadas múltiples (con función de ahorro automáticamente en caso de corte de energía); Función de guardar datos automáticamente después del encendido (presione el inicio para guardar automáticamente los datos; En la operación, guarde automáticamente los datos después del encendido) [11].

Tomando en consideración que la máquina debe ser liviana con la finalidad de que pueda moverse de un lugar a otro sin la intervención de maquinaria pesada, se tomó en cuenta el uso de perfiles CNC, ya que estos son fabricados en aluminio de alta resistencia y livianos, presentando una gran variedad de modelos, entre ellos se destaca el perfil tipo C de 40*80(mm) además, control con una gran variedad de accesorios fabricados a su medida. [12]. Tomando en cuenta la variedad de presentaciones, se deberá realizar análisis de peso, carga, desgaste y esfuerzo, para seleccionar el perfil adecuado para la construcción del prototipo, tomando en consideración que esta elección sea acorde al presupuesto del grupo.

Los motores NEMA son usados habitualmente en la construcción de sistemas CNC e impresoras 3D, al tratarse de motores fáciles de controlar y que pueden mover cargas pesadas, por ello, el grupo deberá analizar el motor que cumple con las exigencias del trabajo que se tiene proyectado. Un motor NEMA (National Electrical Manufacturers Association), no es otra cosa que, un motor eléctrico de diseño dinámico y modular, que tiene la ventaja de adaptarse a diferentes contextos y satisfacer las necesidades que se presentan en el trabajo diario, poseen una estructura de hierro fundido lo cual, los hace muy robustos [13].

El driver CNC es el encargado de traducir el código G en movimiento al controlar los motores CNC, ya que, la información enviada por la controladora CNC al Driver, se traduce en pulsos que son interpretados por el motor NEMA, para realizar movimientos precisos, acorde al movimiento solicitado por el operador. En otras palabras, el driver CNC es el traductor que une la controladora CNC con los motores NEMA, se debe tomar en cuenta que la selección del driver debe estar relacionada con la compra de los motores NEMA, ya que estos presentan limitaciones de trabajo las cuales dependerán del motor seleccionado.



Figura 2. Driver CNC BT6600

Tomando en cuenta lo leído en foros y recomendaciones de otros fabricantes, se iniciaría las pruebas con el driver BT6600 [14], ya que este tiene las características que a primera vista, parecen satisfacer las necesidades, puesto que es un controlador paso a paso bipolar, necesita de una alimentación de 9v-40v, pose una salida de voltaje ajustable de entre 0.5A hasta 3.5A, además puede soportar un pico salida de 4A, resolución de micro-stepping de 1/1 hasta 1/32, lo cual lo transforma en el Driver ideal para el prototipo.

Dentro de los dos métodos comúnmente usados para transmisión del movimiento el cual es generado por los motores NEMA al prototipo, se tiene el movimiento por tornillo sin fin y el de banda dentada figura, siendo esta última la más económica y de menor mantenimiento y tomando las características ofrecidas por el fabricante, se seleccionó la banda GT2 6mm. Cabe mencionar que la correa dentada GT2 de 6mm, presenta una ligera ventaja sobre el tornillo de 4 hilos o también llamado tornillo sin fin, pero que a medida que el prototipo aumenta su tamaño, esta diferencia empieza a reducirse, siendo de mayor ventaja el tornillo de 4 hilos en prototipos que manejan grandes cargos de trabajo y distancia de movimiento. Por ello es necesario subrayar, que la decisión de usar la banda dentada del prototipo está sujeta a que este tendrá una medida de 1mx1m, pero de ser implementado a una máquina de gran escala este deberá usar tornillo de 4 hilos.

Con el objetivo de diseñar planos referentes al prototipo y que los mismos servirán de guía para adquisición de los componentes necesarios en el ensamblaje del proyecto. El grupo usará software de diseño CAD, que además sirve para la simulación de cargas, tensiones, esfuerzos a las cuáles el prototipo estará sometido. Con los resultados adquiridos de las simulaciones se podrá elegir el factor de seguridad, cargas máximas de trabajo, tiempos de mantenimiento y limitaciones físicas del proyecto.

Un sistema de elevación mecánico llamado puente grúa tiene la capacidad de moverse la carga en sentido vertical y horizontal dentro de un área determinada, generalmente rectangular o cuadrada. Este tipo de grúa está compuesto por una o varias vigas equipadas con un motor de elevación y otro de traslación transversal[15]. Los puentes de grúa tienen un dispositivo de elevación llamado polipasto, que eleva la mercancía y la traslada al lugar adecuado. Con un mando a distancia en este caso con una controladora CNC, el operario maneja el sistema sin hacer ningún esfuerzo sobre la carga.

Tomando en consideración lo antes mencionado, se conoce de varios tipos de puente de grúa, entre los cuales destacan: De brazo Giratorio, Monorriel, de Pórtico o semi Pórtico, siendo la principal diferencia entre ellas el tipo de movimiento realizado y las cargas que pueden soportar.

En el caso del brazo giratorio que como su nombre lo indica, permite mover objetos de gran tamaño sobre su propio eje hasta un ángulo de 360 grados figura 3 siendo una de sus principales ventajas, pero al realizar el análisis para lo cual el grupo tiene pensado el movimiento de la carga el cual es, de llevar las cargas desde un punto de recogida dentro de un galpón hacia la zona de descarga, este modelo tendría que ser de gran altura, ya que al momento de alargar su brazo, su base también debe de aumentar de tamaño, esto se debe a que el peso de la carga, ejerce un momento de gran tamaño sobre la viga el cual aumenta entre más larga sea la distancia del movimiento [16].



Figura 3. Puente de grúa giratorio fuente AICRANE

Por esta razón, hay dos puentes de grúa que solucionan la desventaja del puente de grúa de brazo giratorio, que es el Puente de grúa monorriel y el puente de grúa de pórtico, a diferencia del giratorio, tiene dos soportes colocados en sus extremos, y el gancho viaja longitudinalmente sobre la viga viajera.

En el caso del puente de grúa monorriel las vigas de soporte o también llamadas vigas carrileras se encuentran suspendidas sobre el techo figura 4 el cual permite movimientos unidireccionales en una línea recta a lo largo de su viga viajera y carrilera, esto le permite mover cargas de gran tamaño sin requerir cobertura transversal amplia, como esta se encuentra en el aire su instalación no afectara el área de trabajo con el cual cuenta el galpón donde se desea instalar [17].



Figura 4. Puente de grúa Monorriel fuente AICRANE

Por otro lado, el puente de grúa pórtico, realiza el mismo movimiento del puente de grúa monorriel, con la diferencia de que esta utiliza patas que se mueven sobre la viga carrilera figura 5, estas mismas vigas no se encuentra suspendida como en el modelo de monorriel, sino que se encuentran sobre el piso, lo cual permite que pueda transportar cargas de mayor tamaño que la de monorriel, sacrificando área de trabajo para su instalación este puente de grúa son habitualmente usados en exteriores [18].

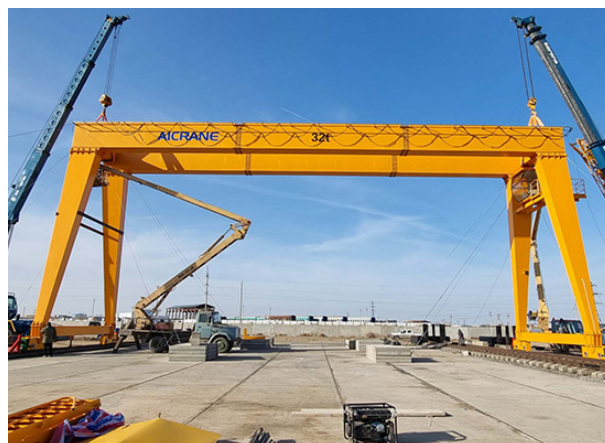


Figura 5. Puente de grúa portico fuente AICRANE

Debido a que el peso que debe de mover el prototipo es de 1kg, el puente de grúa tipo monorriel es el más conveniente para nuestro caso, ya que mediante el uso de placas cnc y perfiles de aluminio, se puede simular la construcción del misma.

La construcción del prototipo está sujeta la Norma 70 Cmaa, que son las regulaciones y directrices a las cuales son sometidos los diferentes puentes de grúa para garantizar la seguridad y eficiencia, estas normas son establecidas por las diferentes entidades regulativas que se encuentran a nivel global.

Con el objetivo de cumplir con la Norma 70 CMAA [19], es necesario utilizar las fórmulas figura 6 del libro de Shigley figura, las cuales permiten conocer: esfuerzo que se ejerce sobre las vigas, deformación a la que están sujetas, carga máxima que el puente de grúa puede trasladar y factores de seguridad [20].

$M_{Total} = M_w + M_f$	$\sigma_{max} = \frac{M_{total} * C}{I_x}$
$y_f = \frac{F + l^3}{48 * E * I}$	$y_w = \frac{F + l^3}{48 * E * I}$
$y_{max} = \frac{L}{800}$	$P = \frac{Q + G_0 + V_{viajera}}{2}$

Figura 6. Fórmulas del libro de Shigley

La norma CMMA (Crane Manufacturers Association of America), son los reglamentos que establece los estándares para el diseño, fabricación, instalación y mantenimiento de grúas puente y grúas viajeras, estas fueron establecidas por un grupo de fabricantes de grúas industriales en EE.UU, actualmente, se encuentra a las manos de una de las divisiones de la Material Handling Industry (MHI), la cual es organización que liderar los estándares para la manipulación de materiales [21].

Los principales aspectos que trata la Norma 70 CMAA, es establecer los criterios de diseño, fabricación, instalación y mantenimiento de un puente de grúa, la cual aplica desde instalaciones ligeras hasta trabajos industriales pesados, dentro del diseño estructural la norma establece los requisitos de materiales, resistencia, cargas de impacto y deformaciones admisibles, también, detalla los estándares para motores en este caso los nema23, cables y sistemas de transmisión de potencia que para nuestro caso es el tornillo sin fin [21].

La importancia de que el prototipo siga las instrucciones de la Norma CMAA, es garantiza la seguridad en el puente de grúa de Izaje que se pretende fabricar para el proyecto de tesis, además, que estos estándares se caractericen de un diseño confiable y eficiente, con el objetivo de reducir los riesgos laborales y costos de mantenimiento.

VI. MARCO METODOLÓGICO

Para la realización de este proyecto se investigó varios tipos de puente de izaje y la carga que pueden soportar, ésto, con el objetivo de analizar el diseño de la estructura, los componentes que la integran, velocidad de trabajo, límites de carga y conexiones eléctricas para implementarlas en el prototipo que se va a realizar. Por esta razón este capítulo estará dirigido a evaluar cada componente que se va a utilizar y las directrices que se tomaran en cuenta para su selección.

Con el objetivo de evaluar el diseño, se realizará pruebas de fuerza, tensión y factor de seguridad, utilizando software CAD, que son especializados en calcular los datos que necesitamos conocer.

Para el proceso de implementación, será necesario importar varias piezas y componentes del exterior, ya que estos suelen ser considerablemente más económicos al mercado actual del Ecuador, pero estos mismos deben estar disponibles en caso de ser necesario su remplazo inmediato.

Cabe destacar, que la prioridad del diseño estructural, es utilizar el menor peso posible utilizando componentes livianos y resistentes, tomando en consideración que el prototipo deberá mover cargas de 1kg para sus respectivas pruebas.

Para el prototipo a fabricar, es necesario utilizar un controlador CNC, ya que este implementa un controlador para el Driver que manejan la velocidad y torque de los motores nema, además, implementa los finales de carrera y cuenta con una pantalla con acceso fácil

Dado que el lenguaje a utilizar será el CÓDIGO G, la controladora CNC DDCS3 permite la utilización del lenguaje mencionado, además, de contar con un control fuera de línea, capaz de reducir o aumentar la velocidad con la que realiza el trabajo ingresado.

En el caso de los drivers es necesario tener en cuenta, el amperaje de trabajo de los motores, ya que de ellos se restringe la compra y uso del Driver.

En la figura 7 se muestra la metodología a seguir para la implementación del prototipo.

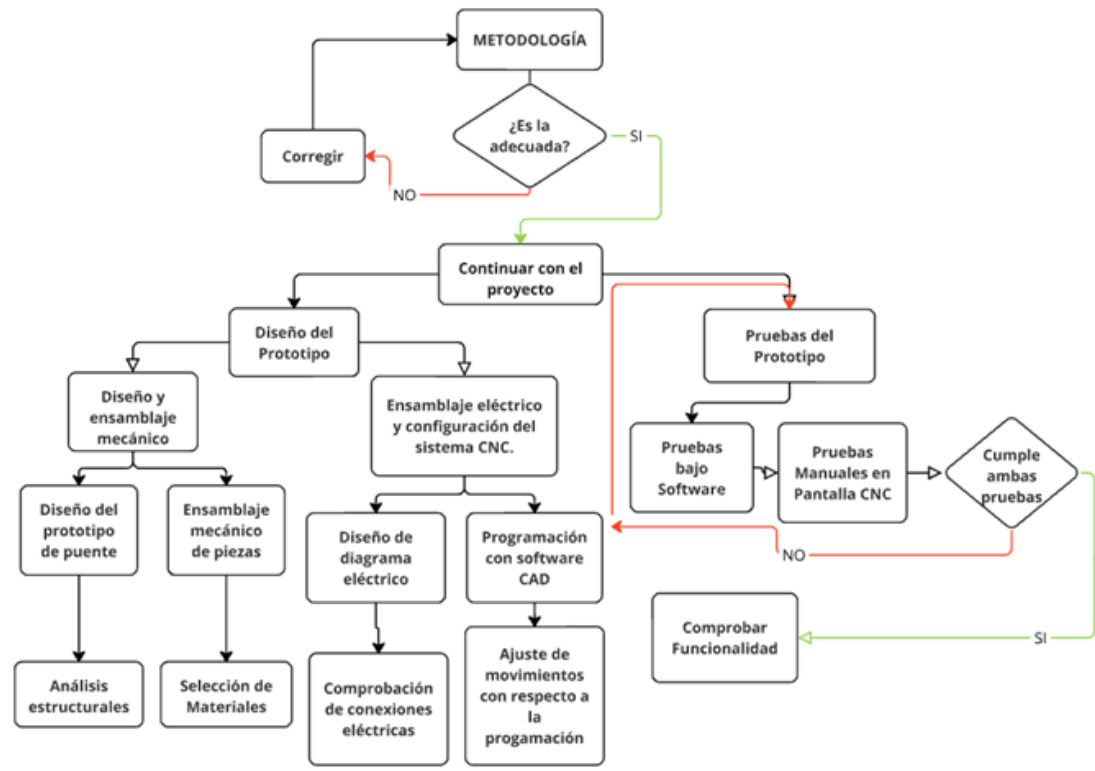


Figura 7. Diagrama de metodología a utilizar para la implementación del prototipo fuente los Autores

VI-A. Diseño del prototipo

■ Requerimiento de la máquina

Cabe mencionar que este diseño deberá cumplir con los requerimientos y objetivos propuestos al inicio del documento, como lo son; que el área de trabajo sea de 1mx1m; que la máquina pueda mover cargas de 1kg; que se realicen pruebas de carga y relación de avance.

Tomando en consideración que para realizar pruebas de levantamiento es necesario que el eje Z de la máquina de izaje tenga una altura considerable, se realizara una base 50cm de altura, sobre la cual reposara el prototipo, utilizando tubo rectangular de 20mm*60mm.

Generales

Tipo:	Puente de Grúa de Izaje
Capacidad máxima:	1kg
Luz: :	1m
Recorrido del gancho	28cm
Servicio:	Interior
Tensión de alimentación:	120 V /60 Hz
Tensión de mando:	24 V
Mando:	Botonera Fija

Mecanismo de Elevación

Velocidad de elevación:	4 mm/s
Ruedas:	6 ruedas
Motor :	

Angulo de paso: 1.8 gr
Torque: 1.8Nm (270 oz -in)
Rango de amperaje: 3 amp

Movimiento de traslación de las placas

Eje Y	Velocidad de traslación: 4mm/s Ruedas : 8 ruedas
Eje X	Velocidad de traslación: 4mm/s Ruedas: 16 ruedas

■ Selección de componentes

Para el diseño del puente grúa de izaje, se tomó como ejemplo la estructura que se utiliza para una CNC de 4 ejes, la cual utiliza perfiles CNC tipo C 40x80mm para el marco.

Se utilizará un motor NEMA que acoplado al tornillo de potencia se utilizará para la traslación en los 3 ejes (xyz).

Se utilizará tubos cuadrados de 1" para darle altura al prototipo y así replicar las columnas de galpón. El material de este tubo posee un esfuerzo de fluencia de 400MPa y una resistencia a la tracción de 315MPa como se muestra en la figura 8,

TUBO RECTANGULAR GRADO B			
Dimensiones			Peso Teórico (kg/m)
NOMINAL (mm)	EXTERIOR (mm)	Espesor (t) (mm)	
40x20	40x20	2.0	1.79
50x30	50x30	1.8	2.18
50x30	50x30	2.0	2.42
60x30	60x30	2.0	2.73
60x30	60x30	2.3	3.12
60x40	60x40	2.0	3.04
75x45	75x45	2.0	3.67
75x45	75x45	2.3	4.21
100x50	100x50	2.9	6.63
125x75	125x75	2.9	8.90
150x75	150x75	2.9	10.04
150x75	150x75	3.2	11.06
150x75	150x75	4.0	13.74
150x75	150x75	4.5	15.41
200x150	200x150	4.0	21.60
200x150	200x150	5.7	30.54
250x100	250x100	4.2	22.66

Propiedades Mecánicas (GRADO B)	Cuadrados y Rectangulares
Esfuerzo de fluencia (mín) Mpa	400
Resistencia a la Tracción (mín) Mpa	315

Figura 8. Propiedades del tubo rectangular galvanizado.

En consideración de que el tamaño de la máquina excede el 1m², y que además deberá trasladar cargas pesadas, se optó para el movimiento el uso del tornillo sinfín, ya que, dentro de las ventajas que ofrece están, una elevada capacidad de carga, movimientos lineales precisos, no genera ruidos, y poco mantenimiento.

Para mantener los perfiles en C unidos between s, se optó por la utilización of a set of placas especialmente diseñado para una máquina CNC, el cual recibe el nombre de workbee Queen. Las características de este perfil se muestran en la figura 9 .

Especificaciones

- **Material:** Aluminio 6063 T-5
- **Tamaño:** 40 x 80 mm
- **Longitud:** 3.2 metros – 320 cm
- **Peso:** 26.5 g/cm
- **Color:** Natural
- **Momentos de Inercia:**
 - $I_{x_l x_l}$ (Momento de Inercia sobre el eje x): 11,776 cm⁴
 - $I_{y_l y_l}$ (Momento de Inercia sobre el eje y): 56,565 cm⁴

Figura 9. Propiedades Físicas del Aluminio 6065-t5

Tomando en cuenta los datos del fabricante, se sabe que el perfil en C está fabricado en aluminio EN AW-6065-T5 anodizado satinado, el cual posee las características mostradas en la figura 9. Estas especificaciones, proporcionadas por el fabricante, indican que dicho material es adecuado para las exigencias a las que será sometido el prototipo. Además, el fabricante señala que el peso del perfil en C de aluminio es de 2.65 kg/m. Del mismo modo, el set de placas WorkBee está fabricado en aluminio 6065-T5, un material liviano y resistente. En la figura 12 se muestra el diseño del perfil C.

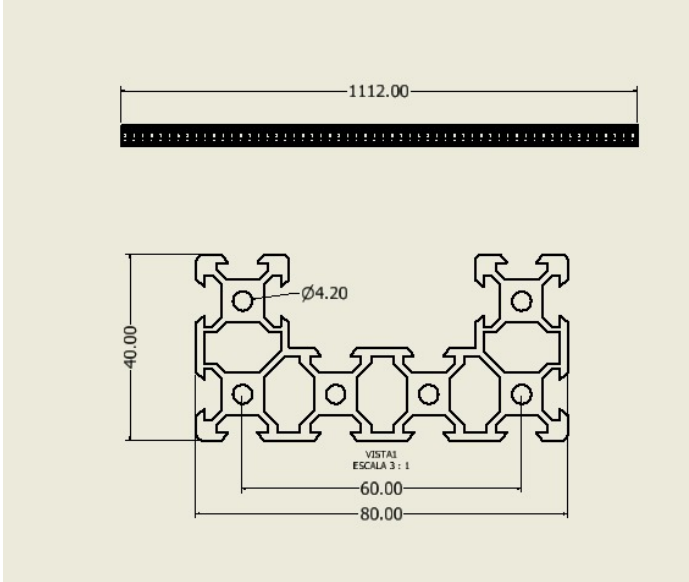
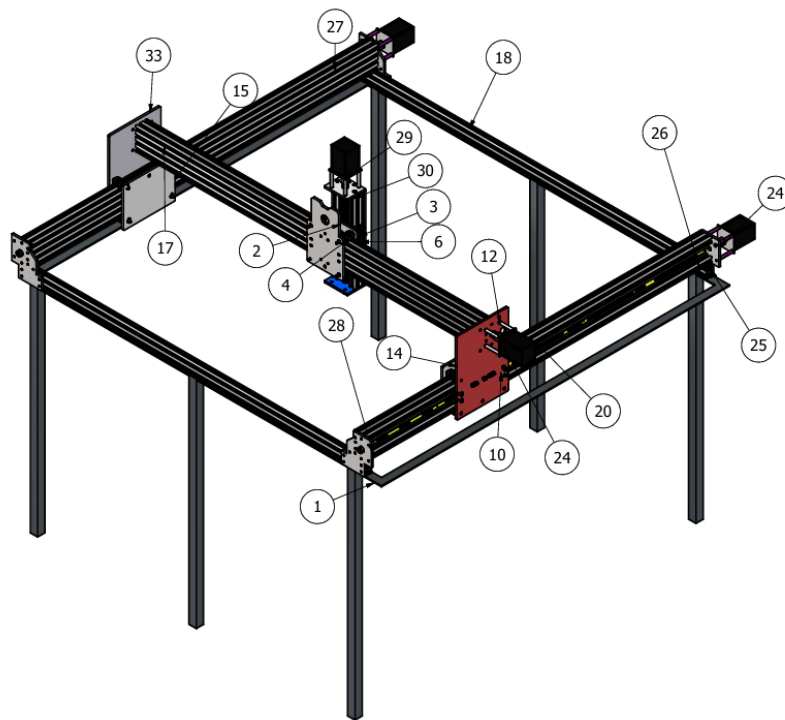


Figura 10. Diseño de los perfiles en C fuente los Autores

■ Diseño de la forma del prototipo

En la figura 11, el ítem 1 se refiere a la base fabricada en tubo cuadrado 1” en hierro negro, con una área de 1,5876 m^2 y una altura de 0.75m, sobre la cual descansa el puente grúa de izaje. Esta base es fabricada con la intención de que simule la estructura de un galpón donde se instalara el prototipo para su respectivo trabajo.



LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	BASE DE ESTRUCTURA
2	1	placa6
3	1	placa4
4	30	llanta de caucho blanco
5	14	espaciador3mm
34	20	BS 4183 - M5 x 10
6	1	placa5
7	10	DIN 7991 - M5 x 30
8	12	Espaciador 9mm
9	30	espaciador6mm
10	7	ACME Nut Block
11	37	Precision Shims 5mm
12	16	BS 4168 - M5 x 60
14	1	placa1
15	2	placa2
16	4	BS 4168 - M3 x 6
17	3	tornillo
18	2	base
19	16	Espaciador
20	4	NEMA23
22	8	IS 2995 - B8
24	4	Acople
25	38	DIN 7991 - M5x10
26	2	placa3b
27	3	C
28	2	placa3
29	2	placa2a
30	1	Cb
31	8	BS 4183 - M5 x 6
32	1	tornill400mm
33	1	placa1a

Figura 11. Piezas que conforman el Puente de Izaje fuente los Autores

Sujeto a la base, se encuentra el perfil de aluminio tipo v ítem **18** de la figura 11, la misma que se sujeta a la base por 12 tornillos M5 de cabeza plana ítem **34**, de tal forma que al momento de que el prototipo realice un movimiento este no se mueva.

Los perfiles de aluminio correspondientes a los ítems **18**, **17**, se encuentran sujetos entre sí a las placas de aluminio de los ítems **26**, **28**, para esta unión se usaron tornillos m5 de cabeza plana de 10 mm ítem **34**, para esto será necesario usar un machuelo para dar una rosca interna al perfil de aluminio, ya que estos no tienen incorporado la rosca.

Las placas correspondientes a la sujeción del eje Y son los ítems **30**, **14**, para que estas placas puedan trasladarse sobre el perfil de aluminio tipo C, es necesario el uso de ruedas de ABC, las cuales se encuentran entre las dos placas. Para su fijación, se emplearon tornillos M5 de 60 mm (ítem **12**) y espaciadores de 6 mm y 9 mm (ítems **8**, **9**, **11**), permitiendo que las ruedas se mantengan en su separación adecuada, pero con la capacidad de girar sobre el eje del tornillo que las atraviesa.

Para el presente prototipo, se utilizará el tornillo sinfín (ítem **17**, figura 11), con un diámetro de 8 mm, fabricado en acero inoxidable y con un paso de 2 mm. Este tornillo estará unido a los motores NEMA mediante acoples flexibles, cuya función es reducir las vibraciones entre el motor y el tornillo.

En el eje Z intervienen tres placas de aluminio de 6 mm de espesor (ítems **2**, **3**, **6**) y un total de 14 ruedas de policarbonato encargadas del movimiento. El motor NEMA 23 del eje Z está sujeto mediante un acople de 6.35 mm a 8 mm (ítem **24**). Para el desplazamiento de las placas, se utiliza un nut block (ítem **10**), el cual es atravesado por el tornillo sinfín. De esta manera, cuando el tornillo gira, las placas se trasladan de manera lineal sobre él.

Considerando el peso a mover, los drivers CNC se configurarán en 200 pulsos, lo que significa que, por cada 200 pulsos, el motor dará una vuelta completa sobre su eje. Este eje está conectado a los motores NEMA 23 (ítem **20**). Dado que el tornillo sinfín a utilizar tiene un diámetro y paso sencillo de 8 mm, una vuelta completa de este

generará un desplazamiento de 8 mm a lo largo del eje. Esta referencia será fundamental al momento de configurar la controladora CNC

En función de lo que se ha mencionado hasta ahora, la estructura metálica, esta formada por perfiles tipo C de 40mmx80mm con ranuras tipo V, las cuales permiten que ruedas fabricadas de policarbonato se desplacen a través de ella. Estas ruedas de alto impacto y resistentes permiten que el prototipo se mueva de manera estable y sin vibraciones, además de que la fricción que estas ejercen, es muy pequeña, permitiendo que el esfuerzo de los motores sea reducido.

Para finalizar, los finales de carrera estarán conectados directamente a la controladora CNC, para que ésta detenga el movimiento del gancho cuando detecte su accionamiento. Cabe mencionar, que la controladora CNC puede medir los límites de la máquina de manera física por medio de los finales de carrera o de manera digital en su configuración.

En el caso de la programación, esta deberá de moverse a la “zona carga” la cual será llamada desde ahora ZC, bajar para que sea enganchada la carga al gancho, luego subir la carga para que esta sea trasladada a la “zona de descarga” la cual será llamada desde ahora ZD, al finalizar este procesado, la máquina deberá de volver a Home esperando sus nuevas indicaciones.

En la figura 12 se muestra la operación para el prototipo del puente grúa basado en control numérico computarizado.

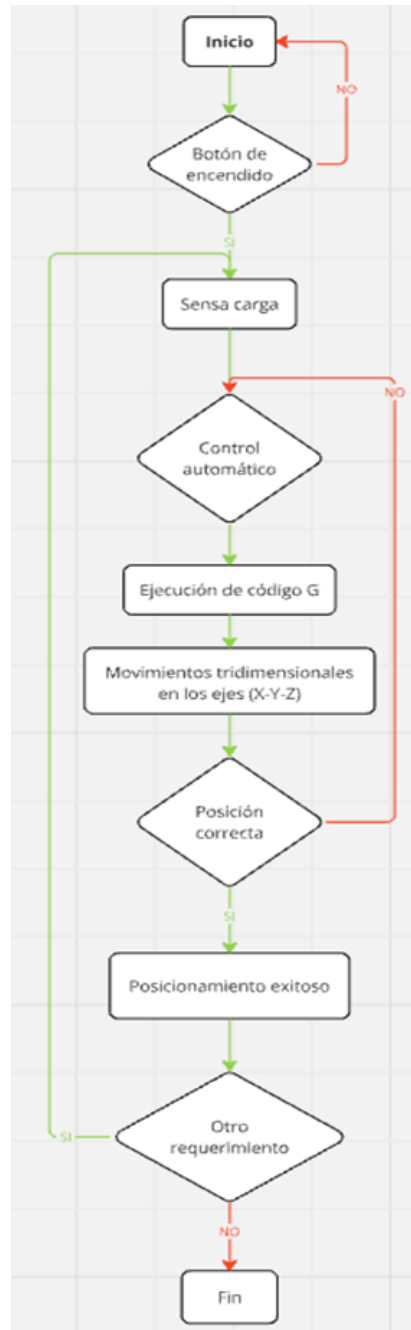


Figura 12. Diagrama de flujo de operación para el prototipo del puente grúa basado en control numérico computarizado fuente los Autores

VI-B. Cálculos Estructurales

Para esta sección del capítulo, se evaluarán las cargas que actúan en cada eje correspondiente a la Grúa de izaje. Se analizarán los dos escenarios más críticos correspondientes a la posiciones de las cargas:

- En el primer escenario, se evaluará cuando la carga se encuentra en un extremo de la viga viajera, y la viga testera se encuentra en la mitad de la viga carrilera. Esto se se muestra en la figura 14.

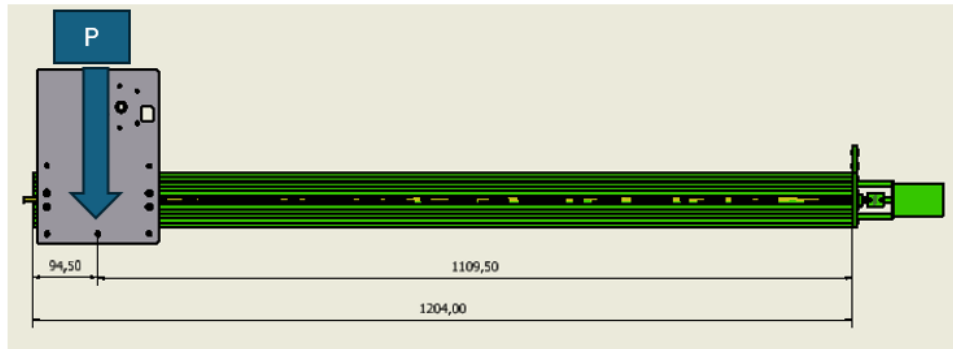


Figura 13. Escenario 1: Carga en el extremo de viga viajera. fuente los Autores

- En segundo escenario, se evaluará cuando la carga se encuentra en la mitad de la viga viajera, siendo éste el momento máximo sobre ésta viga. Esto se muestra en la figura 14.

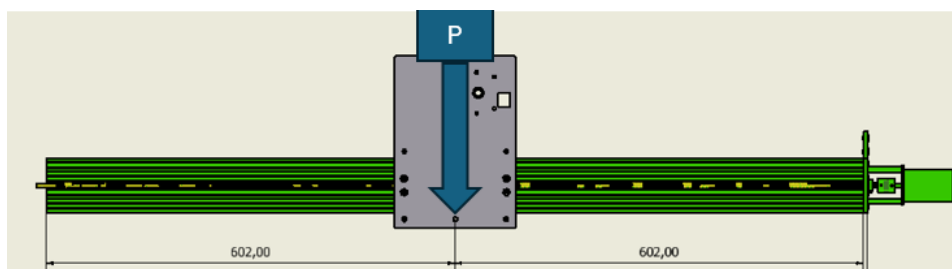


Figura 14. Escenario 2: Carga en el centro de la viga viajera. fuente los Autores

Tomando en cuenta que los diseños serán realizados en el programa Inventor de AUTODESK, se efectuará el análisis de tensión y deformación. Esto sirve para identificar áreas problemáticas en el diseño así como obtener los factores de seguridad correspondientes. Dado que estos informes son extensos, se los ubicará en la sección de Anexos.

VI-B1. Eje Z: Se entiende por Eje Z, el eje que controla la subida y bajada del gancho, al mismo que se le enganchara los pesos de prueba. Sobre este eje deberá de subir y bajar 50cm. En la parte superior del perfil se encuentra un motor NEMA 23 acoplado al tornillo sin fin, el cual deberá ser capaz de elevar el peso total del perfil de aluminio, el gancho metálico, la pesa de prueba de 1kg así como el peso del mismo motor. La tuerca se encuentra fija por medio de una placa sujeta a la viga viajera. A continuación en la figura 15 se muestra el diseño .

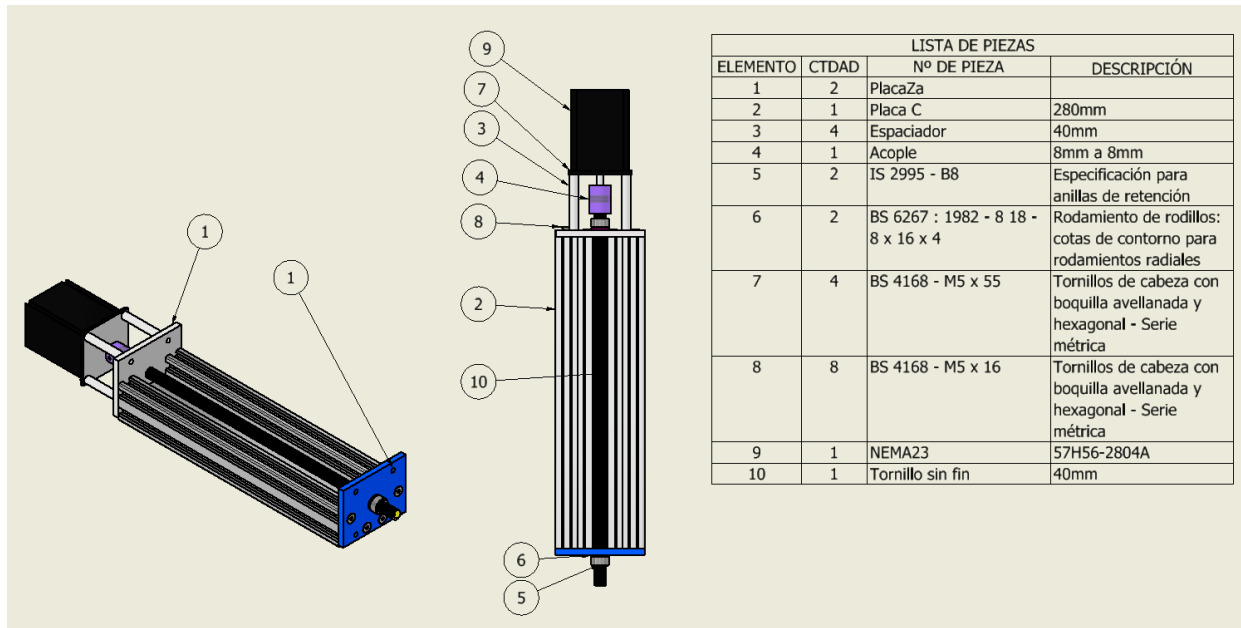


Figura 15. Eje Z fuente los Autores

Tomando los datos del fabricante, se sabe que por 1m lineal del perfil este tiene un peso de 2.65 Kg, en el caso del prototipo este perfil del eje Z mide 0.28m lo cual nos da un peso de 0.74kg (m_2), mientras que el peso del tornillo sin fin es de 0.5kg (m_1) por 1m lineal de material en el caso de 0.40cm tiene un peso de 0.2kg, el motor nema tiene un peso de 1.05kg (m_3), el peso de prueba m4 1kg (m_4) como se muestra en la figura 15.

Cálculo del peso del eje Z

$$m_t = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 \quad (1)$$

$$W_z = m_t * g \quad (2)$$

$$W_z = (0,2 + 0,74 + 1,05 + 1)kg * \frac{9,8m}{s} \quad (3)$$

$$W_z = 29,302N \quad (4)$$

VI-B2. Eje Y: Se entiende por Eje Y (viga viajera), el eje donde el eje Z descansa y ésta tendrá un movimiento lineal de derecha e izquierda. Dado que sobre éste eje, el Z se estará movimiento constantemente, es necesario conocer las fuerzas que actúan sobre él, de tal manera, que se pueda conocer los pesos máximos que los materiales puedan soportar, ya sea en reposo o con pesos de prueba.

VI-B3. Eje X: A diferencia de los dos ejes anteriores que eran unitarios, el eje Z tiene un perfil de cada lado en el cual se asienta el eje Y, de la misma forma tiene dos motores nema que estarán encargados del movimiento lineal el cual será de atrás y adelante, a esta viga se le llama viga carrilera.

VI-B4. Escenario 1: El eje Z se sitúa en el extremo del eje Y (viga viajera). Se analizará la viga carrilera (eje x) en la cual la carga de la viga viajera que se apoya en las ruedas de la placa testera actúa en el centro de ésta viga carrilera. En la figura 13 se ilustra el caso a analizar.

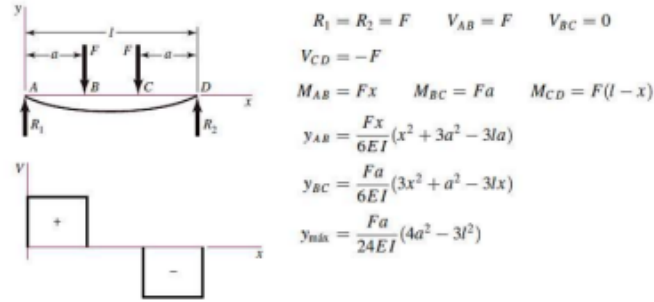


Figura 13. Diagrama momento. Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley 10ma edición

$$P = \frac{W_z + (\frac{\text{pesov.viajera}}{2})}{2} \quad (5)$$

$$P = \frac{29,302N + (\frac{3,18}{2} * 9,8m/s^2)}{2} \quad (6)$$

$$P = 22,44N \quad (7)$$

$$M_{total} = M_w + M_f \quad (8)$$

$$M_t = (\frac{w * x}{2}) * (l - x) + Pa \quad (9)$$

$$M_{total} = (\frac{2,65Kg/m * 9,8m/s^2 * 0,602m}{2}) * (1,204m - 0,602m) + (22,44N * 0,512m) \quad (10)$$

$$M_t = 97,33Nm \quad (11)$$

Cálculo de deflexión del eje X

$$\delta_1 = \frac{P * a}{24E * I}(3l^2 - 4a^2) \quad (12)$$

$$\delta_1 = \frac{22,44N * 0,512m}{24(69000000000N/m^2) * (5,6565 * 10^{-7})m^4}(3(1,204m)^2 - 4(0,512m)^2) \quad (13)$$

$$\delta_1 = \frac{37,91Nm^3}{936716,4Nm^2} \quad (14)$$

$$\delta_1 = 0,0000404m \quad (15)$$

$$(16)$$

$$\delta_2 = \frac{5wl^4}{384EI} \quad (17)$$

$$\delta_2 = -\frac{5 * (2,65Kg/m * 9,8m/s^2) * 1,204^4}{384 * (69000000000N/m^2) * (5,6565 * 10^{-7})m^4} \quad (18)$$

$$\delta_2 = \frac{327,4380518Nm^3}{14987462,40Nm^2} \quad (19)$$

$$s\delta_2 = 0,0000182m \quad (20)$$

$$\delta_{total} = \delta_1 + \delta_2 \quad (21)$$

$$\delta_{total} = 0,0000404m + 0,0000182m \quad (22)$$

$$\delta_{total} = 0,0000586m \quad (23)$$

$$(24)$$

Se compara el valor obtenido en los cálculos de la fórmula 24, con el valor conseguido en la simulación de inventor figura 19.

$$\delta = l/800mm \quad (25)$$

$$\delta = 1204mm/800 \quad (26)$$

$$\delta = 1,51mm \quad (27)$$

$$\delta_{max} = 0,00151m \quad (28)$$

$$\delta_{total} < \delta_{max} \quad (29)$$

$$0,0000586m < 0,00151m(secumple) \quad (30)$$

En la fórmula anterior, se corroboró el desplazamiento máximo de la viga carrilera que corresponde al eje X **XMax** δ que es de 0.00151m, cuyo valor es mayor al δ **total**, lo que indica que el desplazamiento que ocurre en el eje X es menor al permisible.

Con este dato se puede calcular el factor de seguridad y esfuerzo de flexión correspondiente a la viga carrilera, además se necesita la distancia que existe al eje neutro **c** que para este estudio es 0.04m, este valor corresponde a la separación que hay entre el límite de la viga y la placa que sostiene el eje X.

$$\sigma = \frac{M_{max} * c}{I} \quad (31)$$

$$\sigma = \frac{97,33Nm * 0,04m}{5,6565 * 10^{-7}m^4} \quad (32)$$

$$\sigma = 6882701,32N/m^2 \quad (33)$$

$$\sigma = 6,88MPa \quad (34)$$

$$(35)$$

La aleación del aluminio 6063 mantiene un esfuerzo de fluencia de 91MPa.

$$\sigma < 0,75S_y \quad (36)$$

$$6882701,32N/m^2 < 0,75(91MPa) \quad (37)$$

$$6,88MPa < 68,25MPa(Seccumple) \quad (38)$$

$$f_y = 0,75S_y/\sigma \quad (39)$$

$$f_y = 68,25MPa/6,88MPa \quad (40)$$

$$f_y = 9,92 \quad (41)$$

Para la viga viajera, con las cargas de prueba tenemos un factor de seguridad (**fy**) es 9.92

- **Escenario 2** El eje Z se sitúa en el extremo del eje Y (viga viajera). Se analizará la viga carrilera (eje x) en la cual la carga de la viga viajera que se apoya en las ruedas de la placa testera actúa en el centro de ésta viga carrilera. En la figura 13 se ilustra el caso a analizar.

Para este caso, el estudio se realiza sobre las ruedas que sirven de conexión entre las placas y el perfil de aluminio, las mismas que se encuentran separadas a 200mm, por esta razón la carga P_1 se encuentra a 504mm de la placa de la izquierda y la carga P_2 se encuentra a la misma distancia con respecto a la placa de la derecha como se muestra en la figura 14, por esta razón los momentos que ejercen sobre la viga viajera es la misma, por tal motivo y para facilitar los cálculos correspondientes a esta viga, situaremos el peso en el centro de la viga viajera que es 602mm

Al igual que en el primer caso, se tiene la tensión de Von Mises por el programa Inventor figura 21, este servirá de guía al momento de realizar los cálculos correspondiente para el caso 2.

Momento Flexionante de la viga viajera del eje Y cuando la carga se encuentra en la mitad

$$P = \frac{W_z}{2} \quad (42)$$

$$P = \frac{29,302N}{2} \quad (43)$$

$$(44)$$

$$P = 14,65N \quad (45)$$

$$M_{total} = M_w + M_f \quad (46)$$

$$M_t = \left(\frac{w * x}{2}\right) * (l - x) + Pa \quad (47)$$

$$M_{total} = \left(\frac{2,65Kg/m * 9,8m/s^2 * 0,602m}{2}\right) * (1,204m - 0,602m) + (14,65N * 0,5395m) \quad (48)$$

$$M_t = 12,60Nm \quad (49)$$

Cálculo de deflexión del eje Y

$$\delta_1 = \frac{P * a}{24E * I} (3l^2 - 4a^2) \quad (50)$$

$$\delta_1 = \frac{12,60N * 0,5395m}{24(69000000000N/m^2) * (5,6565 * 10^{-7}m^4)} (3(1,204m)^2 - 4(0,5395m)^2) \quad (51)$$

$$\delta_1 = \frac{21,64Nm^3}{936716,4Nm^2} \quad (52)$$

$$\delta_1 = 0,0000231m \quad (53)$$

$$(54)$$

Comparamos los datos calculados realizados en la formula 7, con la simulacion de inventor que se puede ver en la figura 22, donde se puede observar el desplazamiento generador por la simulacion es de 0.0079mm.

$$\delta_2 = \frac{5wl^4}{384EI} \quad (55)$$

$$\delta_2 = -\frac{5 * (2,65Kg/m * 9,8m/s^2) * 1,204^4}{384 * (69000000000N/m^2) * (5,6565 * 10^{-7})m^4} \quad (56)$$

$$\delta_2 = \frac{327,4380518Nm^3}{14987462,40Nm^2} \quad (57)$$

$$s\delta_2 = 0,0000182m \quad (58)$$

$$\delta_{total} = \delta_1 + \delta_2 \quad (59)$$

$$\delta_{total} = 0,0000231m + 0,0000182m \quad (60)$$

$$\delta_{total} = 0,0000413m \quad (61)$$

$$(62)$$

Comparativo de la deflexión total con el deflexión máxima.

$$\delta = l/800mm \quad (63)$$

$$\delta = 1204mm/800 \quad (64)$$

$$\delta = 1,51mm \quad (65)$$

$$\delta_{max} = 0,00151m \quad (66)$$

$$\delta_{total} < \delta_{max} \quad (67)$$

$$0,0000413m < 0,00151m(secumple) \quad (68)$$

Con este dato se puede calcular el factor de seguridad y esfuerzo de flexión correspondiente a la viga viajera, además se necesita la distancia que existe al eje neutro **c** que para este estudio es 0.04m, este valor corresponde a la separación que hay entre el límite de la viga y la placa que sostiene el eje Z.

$$\sigma = \frac{M_{max} * c}{I} \quad (69)$$

$$\sigma = \frac{12,60Nm * 0,04m}{5,6565 * 10^{-7}m^4} \quad (70)$$

$$\sigma = 157519,728N/m^2 \quad (71)$$

$$\sigma = 0,157MPa \quad (72)$$

$$(73)$$

La aleación del aluminio 6063 mantiene un esfuerzo de fluencia de 91MPa.

$$\sigma < 0,75S_y \quad (74)$$

$$157519,728N/m^2 < 0,75(91MPa) \quad (75)$$

$$0,157MPa < 68,25MPa(Secumple) \quad (76)$$

$$f_y = 0,75S_y/\sigma \quad (77)$$

$$f_y = 68,25MPa/0,157MPa \quad (78)$$

$$f_y = 434,71 \quad (79)$$

Para la viga viajera, con las cargas de prueba tenemos un factor de seguridad (**fy**) es 434.71

VI-B5. *Planteamiento analítico de los esfuerzos que se generan entre los motores y el tornillo sin fin:* En el caso de la interacción que se realiza entre el eje del motor que se encuentra suspendido en el aire mientras está unido al tornillo sin fin, es importante conocer, la deformación que se efectúa a razón del peso que será sometido en reposo, en este caso, el sistema se define por la fuerza ubicada en el motor y el apoyo fijo que vendría a ser el tornillo sin fin como se muestra en la figura 16 .

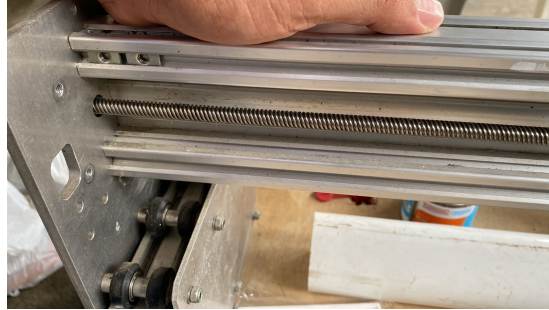


Figura 16. Fuerzas que actúan sobre el motor y el tornillo fuente los Autores

Para facilitar el cálculo de las fuerzas que interactúan sobre el motor y el tornillo, se representa el eje del motor como una viga en voladizo, Donde **P** es el fuerza aplicada por peso del motor, **R** es la reacción del apoyo fijo, **L1** la longitud del eje del motor, **E** modulo de elasticidad en esta caso es 190 y **A** area de la sección transversal.

■ Cálculo del tornillo de potencia

Los siguientes datos son el diámetro del tornillo de 8mm, un paso de 2mm, el coeficiente de fricción de 0,20, el fuerza obtenida anteriormente de 29.302N, la profundidad de 2mm

$$l = n * p(\text{al ser de 4 hilos el anillo}) \quad (80)$$

$$l = 2n * 4 \quad (81)$$

$$l = 8mm \quad (82)$$

$$d_m = d - \frac{p}{2} \quad (83)$$

$$d_m = 8mm - \frac{2mm}{2} \quad (84)$$

$$d_m = 7mm \quad (85)$$

$$d_r = d - p \quad (86)$$

$$d_r = 8mm - 2mm \quad (87)$$

$$d_r = 6mm \quad (88)$$

Cálculo de deformación

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad (89)$$

$$A = \frac{\pi * (0,008m)^2}{4} \quad (90)$$

$$A = 0,0000502m^2 \quad (91)$$

$$W_z = P = 29,302N \quad (92)$$

$$\delta = \frac{PL}{EA} \quad (93)$$

$$\delta = \frac{29,302N * 0,28m}{(190 * 10^9(N/m^2)) * 0,0000502m^2} \quad (94)$$

$$\delta = 8,6019 * 10^{-7}m \quad (95)$$

$$(96)$$

VI-B6. Cálculo de velocidad de avance del tornillo sin fin: En el caso del avance del tornillo, se debe tomar la configuración de número de pasos del Driver, con el diámetro (d) del tornillo sin fin que se va a usar, para este caso (d) es de 8mm y el número de pasos es 200, la elección de los 200 pasos es debido a que entre mayor sea el número de pasos, mayor será la precisión con que se trabaje, pero de la misma manera mayor será el tiempo que tardara la máquina en moverse, y para el prototipo es necesario mayor velocidad que precisión, dado que el transporte de carga debe ser rápido, para agilizar la producción.

En este caso, el driver enviará 200 pulsos por segundo para que el eje del motor de una vuelta completa, dado que el eje del motor está conectado al tornillo sin fin quiere decir, que por cada vuelta que del motor, la máquina se moverá 8mm a lo largo de su eje, esto quiere indicar que, a la máquina le tomara 125 segundos recorrer los 1000mm de distancia que tienen los ejes X e Y, mientras que para el eje Z se configura una velocidad diferente de tal forma que pueda recorrer 280mm en al menos 10s

Si se quisiera ser más preciso, se debería escoger la mitad del pulso, esto indicaría que el driver enviará 400 pulsos, lo cual es directamente proporcional al tiempo, por lo tanto, para completar una vuelta sobre su eje, el motor tardará 2 segundos, de tal forma, en el caso de los ejes X Y el recorrido completo tardaría 250 segundos.

■ Cálculo de velocidad de avance del tornillo a 200 pasos

$$v = \frac{d}{t} \quad (97)$$

$$v = \frac{8mm}{1s} \quad (98)$$

$$v = 8mm/s \quad (99)$$

VI-C. Selección de motores, con base en los cálculos de peso de cada eje

Para el cálculo del torque necesario del motor, se usarán los resultados obtenidos anteriormente, como la fuerza que interactúa cada eje y la velocidad a la que se moverá el motor, para esto se tomara en cuenta solo el eje X, ya que es eje donde mayor peso se necesita mover, para esta ocasión se usara la fórmula de torque (t), donde v es 8mm/s. Se considera el valor de F=22.44N que es el resultado del primer escenario de análisis, también se relaciona con radio del tornillo sin fin (r)= 4mm y el Coeficiente de fricción entre caucho del Nut Block y el tornillo es de 0.83.

Cálculo de Fuerza en el tornillo sin fin en el eje X.

$$F = 2 * P \quad (100)$$

$$F = 2 * 22,44N \quad (101)$$

$$F = 44,88N \quad (102)$$

$$F_k = \mu_k * 44,88N \quad (103)$$

$$F_k = 0,83 * 44,88N \quad (104)$$

$$F_k = 37,25N \quad (105)$$

■ Cálculo de torque de subida

$$T_r = \frac{F * d_m}{2} * \left(\frac{l + \pi * \mu * d_m}{\pi * d_m - \mu * l} \right) \quad (106)$$

$$T_r = \frac{37,25N * 7mm}{2} * \left(\frac{8mm + \pi * 0,20 * 7mm}{\pi * 7mm - 0,20 * 8mm} \right) \quad (107)$$

$$T_r = 65,18Nmm * \frac{12,39}{20,39} \quad (108)$$

$$T_r = 39,606Nmm \quad (109)$$

$$T_r = 0,0396Nm \quad (110)$$

■ Cálculo de torque de bajada

$$T_r = \frac{F * d_m}{2} * \left(\frac{\pi * \mu * dm - l}{\pi * d_m + \mu * l} \right) \quad (111)$$

$$T_r = \frac{34,25N * 7mm}{2} * \left(\frac{\pi * 0,20 * 7mm - 8mm}{\pi * 7mm + 0,20 * 8mm} \right) \quad (112)$$

$$T_r = 65,18Nmm * \frac{-3,601}{23,591} \quad (113)$$

$$T_r = -9,949Nmm \quad (114)$$

$$T_r = -0,00994Nm \quad (115)$$

■ Factor de seguridad

$$f = 1,8Nm / 0,0396Nm \quad (116)$$

$$f = 45,45 \quad (117)$$

En este caso, se usará motores Nema 23 de 1.8Nm, obteniendo un factor de seguridad elevado de 45.45, se debe tomar en cuenta que estos valores son referenciales, por esta razón, al seleccionar un motor de esta capacidad, permitiendo que se puedan agregar pesos extras sin afectar su funcionamiento.

VI-C1. Análisis estructural por simulación de Inventor: Para la simulación del tornillo sin fin, que se encuentra a lo largo del eje X, se usa la fuerza encontrada en la fórmula 7 (22.44N), que es la carga que deberá mover cuando el motor NEMA empiece a rotar.

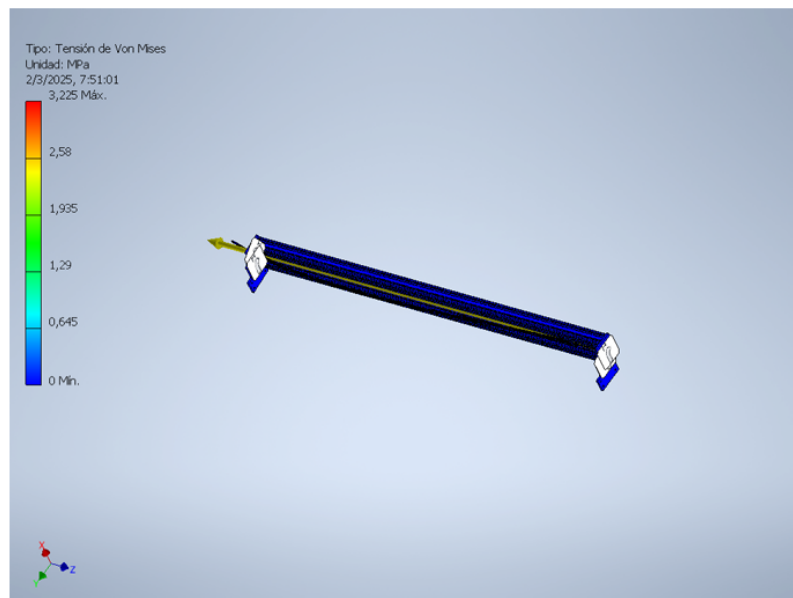


Figura 17. Tensión de Von Mises de una carga axial en el tornillo del eje X, fuente los Autores

Con el diagrama de Tensión de Von Mises, conseguido en la simulación de Inventor como se observa en la figura 17, se determina cuál serían las deformaciones a la que está sujeto la viga carrilera del puente grúa de izaje. Con la respectiva simulación nos da a conocer que el tornillo sin fin, tendrá un esfuerzo máximo de 3.225MPa y un esfuerzo mínimo de 0.645MPa bajo la carga de análisis de 22.44N.

- Escenario 1: Análisis en viga carrilera, con carga en el extremo de la viga viajera

El peso encontrado en la fórmula 7 (22.44N), será ingresado en el simulador de inventor para el estudio correspondiente en cada uno de los casos, como se ve en la figura 24, esto permitirá conocer los resultados de Tensión de Von Mises, desplazamiento, coeficiente de seguridad y tensión en la viga carrilera. Esto sucede cuando el eje Z sitúa en el centro de la viga carrilera.

La tensión de Von Mises en Autodesk Inventor es un criterio de fallo utilizado en análisis de esfuerzos, en este caso el metal utilizado en el puente de izaje como lo es el aluminio 6061-T5. Se basa en la teoría de la energía de distorsión cuándo un material alcanza su límite elástico, como se observa en la figura 18 el valor máximo de esfuerzo es 0.2207MPa.

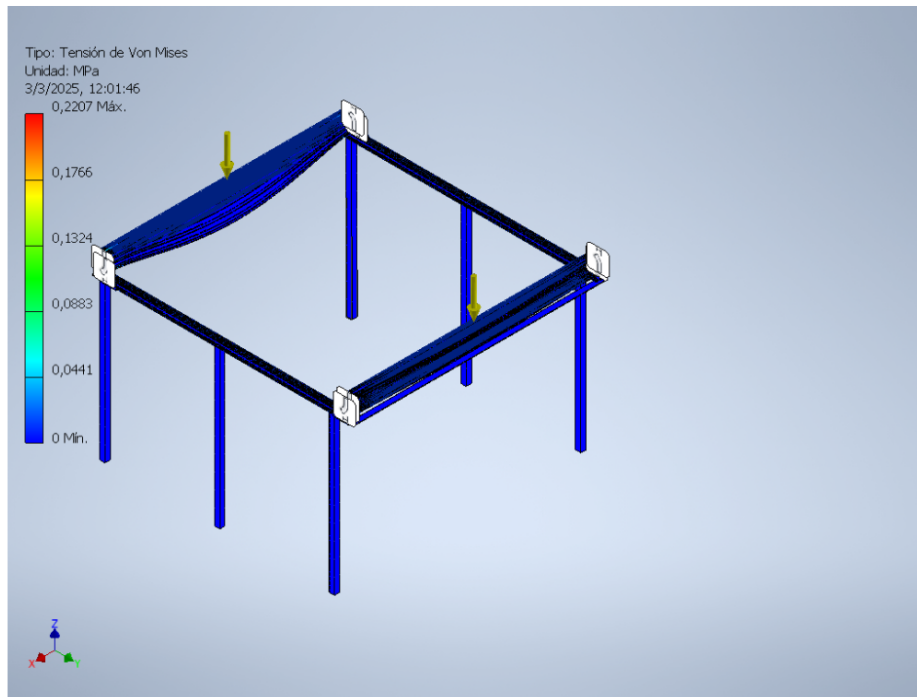


Figura 18. Tensión de Von Mises caso1,fuente los Autores

En el Escenario 1 de la simulación de Inventor, se observa en la figura 19 cómo se deformará un objeto bajo la carga aplicada de 22.44N. Se observa que la deformación máxima es de 0.002298mm.

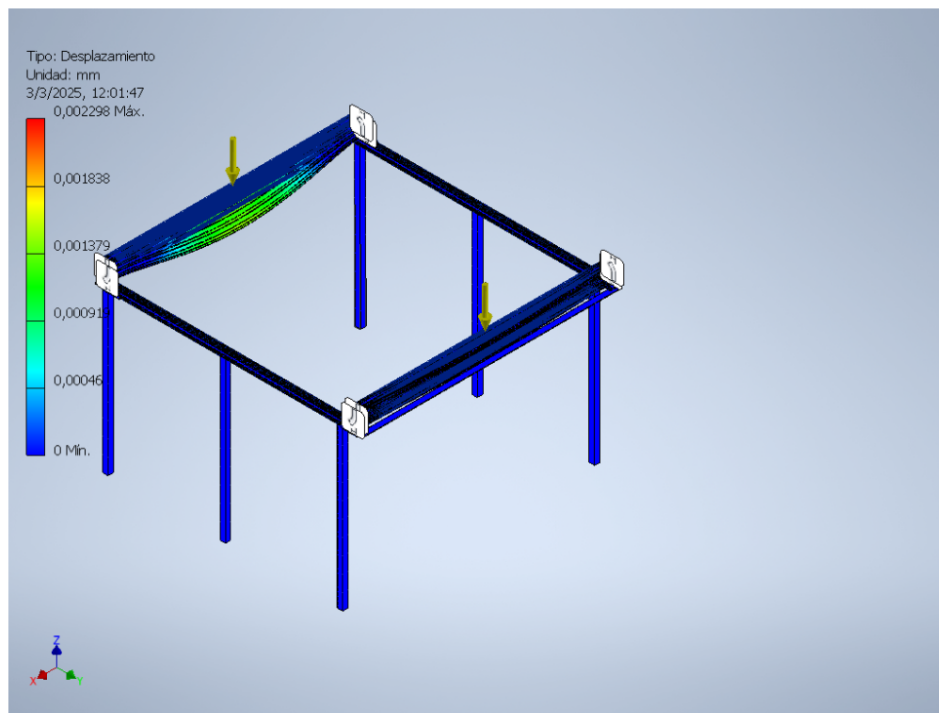


Figura 19. Desplazamiento en el eje Y caso 1, fuente los Autores

En comparación al factor de seguridad encontrado en la formula 41 ($f_y=9.92$), se puede observar que el de la simulación de inventor mostrado en la figura 20, se encuentra en la gráfica de simulación de color azul claro, el cual lo sitúa dentro del rango permisible de diseño (9 a 15).

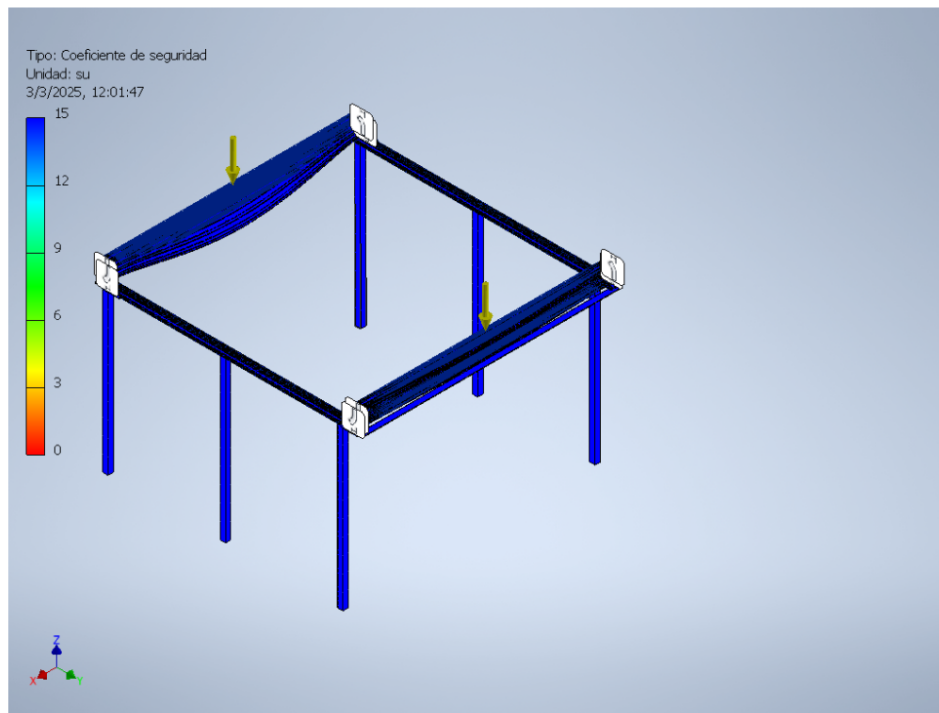


Figura 20. Coeficiente de seguridad en el caso 1, fuente los Autores

- Escenario 2: Con carga en la viga viajera

En el Escenario 2 de la simulación de Inventor, se observa en la figura 21 los esfuerzos generados por la carga aplicada de 14.65N. Se observa que toda la estructura el esfuerzo normal de operación con la respectiva simulación es menor que 0.0889MPa y el máximo esfuerzo estructural es de 0.4496MPa.

Tensión de Von Mises

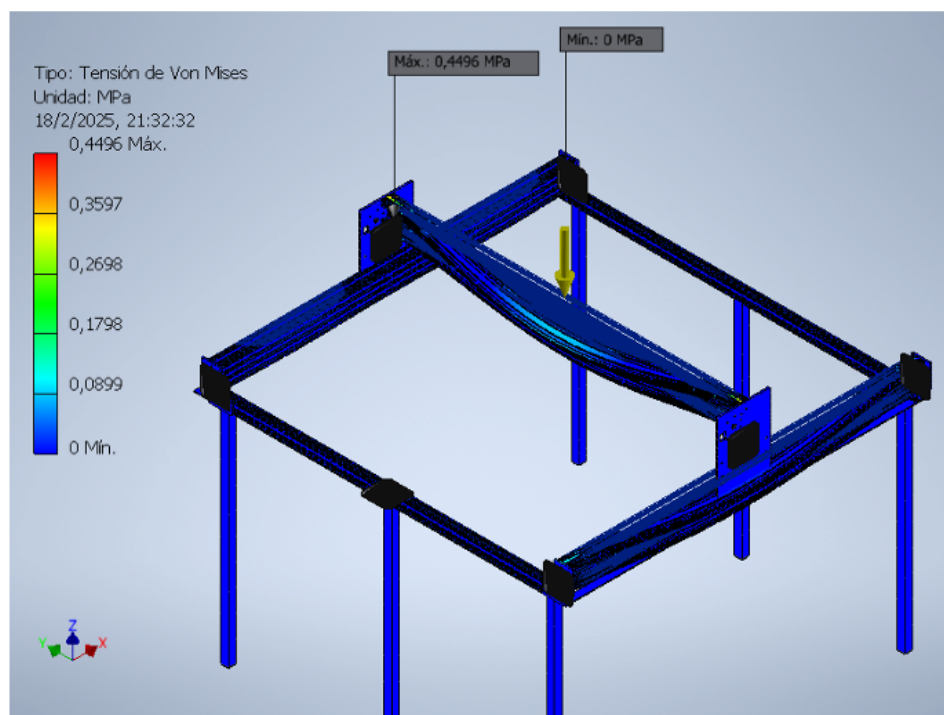


Figura 21. Tensión de Von Mises cuando el peso se sitúa en el centro de la viga fuente los Autores

Desplazamiento

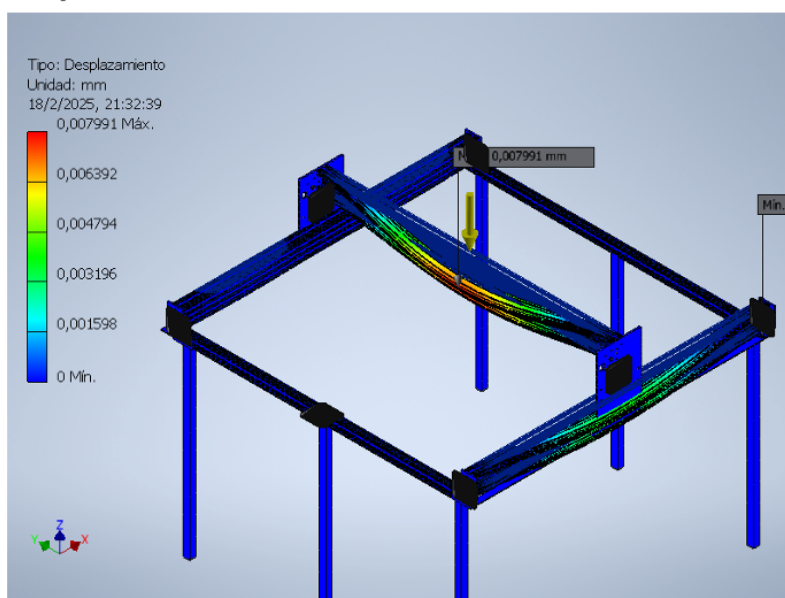


Figura 22. Tensión de Von Mises caso 2, fuente los Autores

Con los datos que nos brinda la simulación figura 22, nos da a conocer que la viga viajera tendrá una deformación máxima de 0,007991mm con una carga aplicada de 14.65N.

- Coeficiente de seguridad

Los valores obtenidos en el respectivo análisis de la figura 23, nos da a conocer que la estructura de la viga viajera se mantiene en un rango de 9 a 15 de factor de seguridad, por lo tanto cumple el diseño para la respectiva carga de 14.65N.

Coeficiente de seguridad

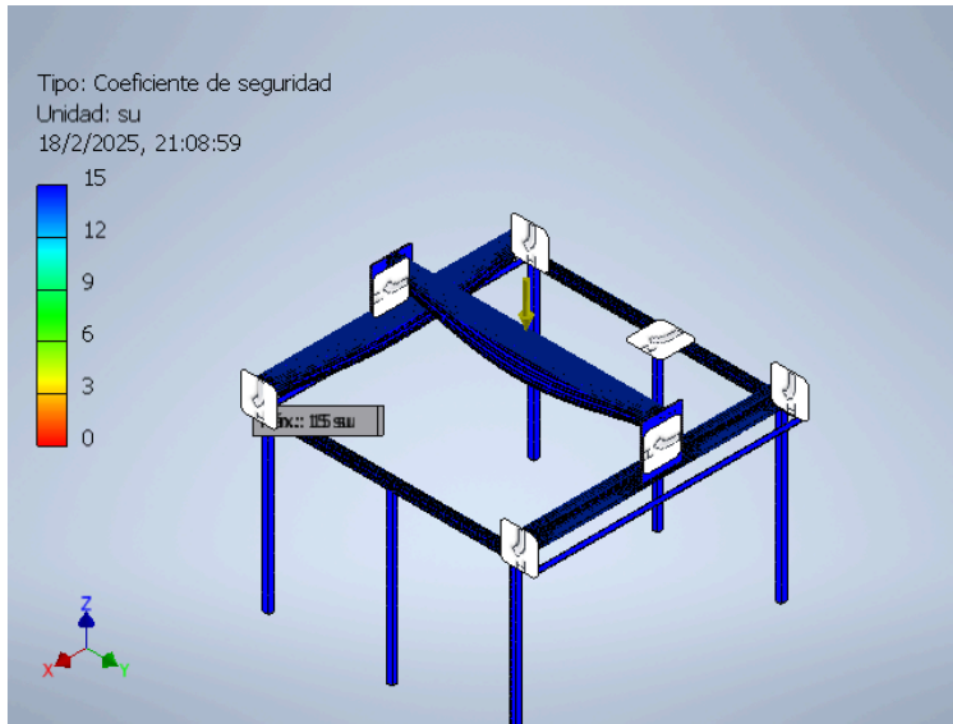


Figura 23. Factor de seguridad cuando la carga se encuentra en la mitad de la viga carrilera, fuente los Autores

Para la simulación de Inventor, se uso el valor de la fuerza externa de 29.302N como se muestra en la figura 24, donde se observa las condiciones de funcionamiento que el Autodesk Inventor utilizó para las imágenes correspondientes.

Condiciones de funcionamiento

Fuerza remota:1

Tipo de carga	Fuerza remota
Magnitud	29,302 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-0,000 N
Vector Z	-29,302 N
Punto remoto X	0,000 mm
Punto remoto Y	550,000 mm
Punto remoto Z	650,000 mm

Figura 24. Fuerza externa para la simulación de inventor, fuente los Autores

VI-D. Diseño de detalle de la máquina

■ Eje X

Con respecto al eje X, se usan 2 placas "Placa3 y PlacaZa" que se encuentran en el Anexo XI-B y XI-B, los cuales se encuentran a los finales del perfil en C y unen el perfil en V mediante tornillos M5 de cabeza plana. Además estas placas permiten el paso del tornillo sin fin, el mismo que descansa sobre rodamientos de bola 688ZZ que restringen la vibración del tornillo cuando la máquina está en movimiento. Así mismo este tornillo se encontrara unido por un acople flexible de aluminio, el cual también disminuir a las vibraciones causadas al momento de que el motor Nema gira y accionar el movimiento.

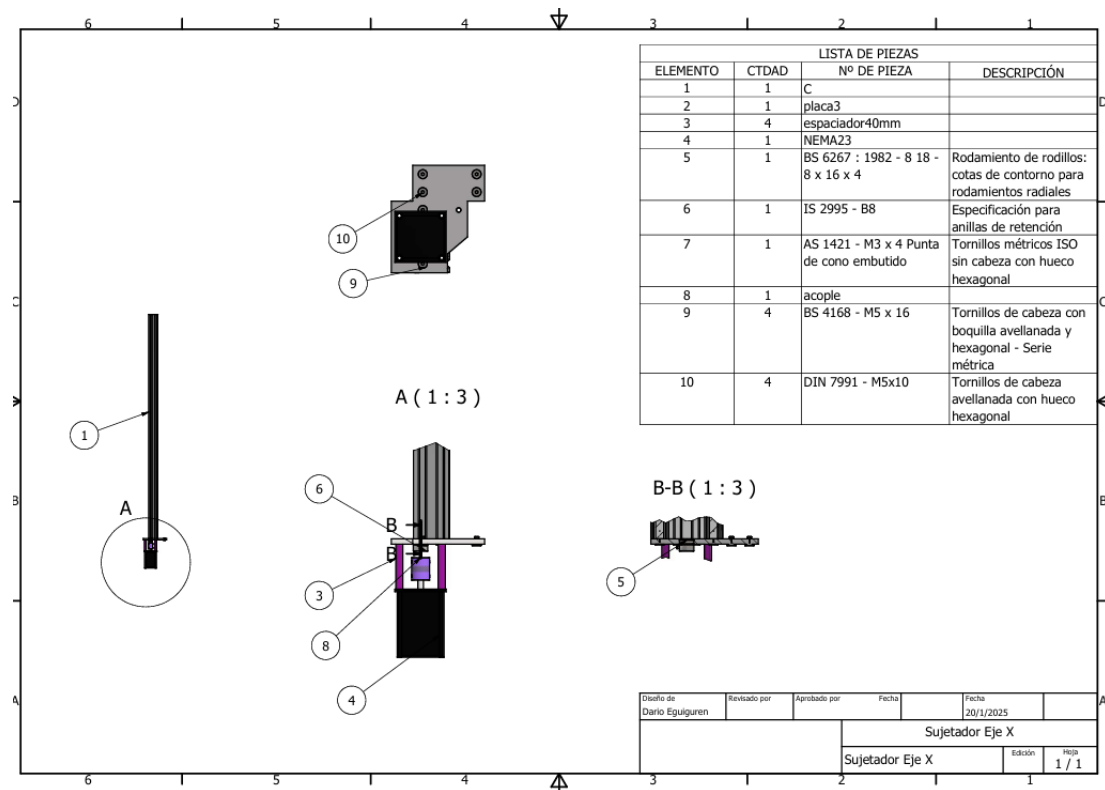


Figura 25. Placas del Eje X fuente los Autores

■ Eje Y

Para el armado del Eje Y, se usan 2 pares de placas para cada lado, estas 4 placas las cuales están unidas por llantas, espaciadores y tornillos como se muestran en la figura 26, las mismas que descansan sobre el perfil C del eje X. El par de placas tendrán el trabajo de unir el Perfil C respectivo a su eje Y, además del motor Nema que se ubica en cualesquiera de sus lados. Para este proyecto se encuentra del lado izquierdo, de hecho, todo el cableado eléctrico estará diseccionado al lado izquierdo del proyecto con el objetivo de que se encuentre en un mismo lado.

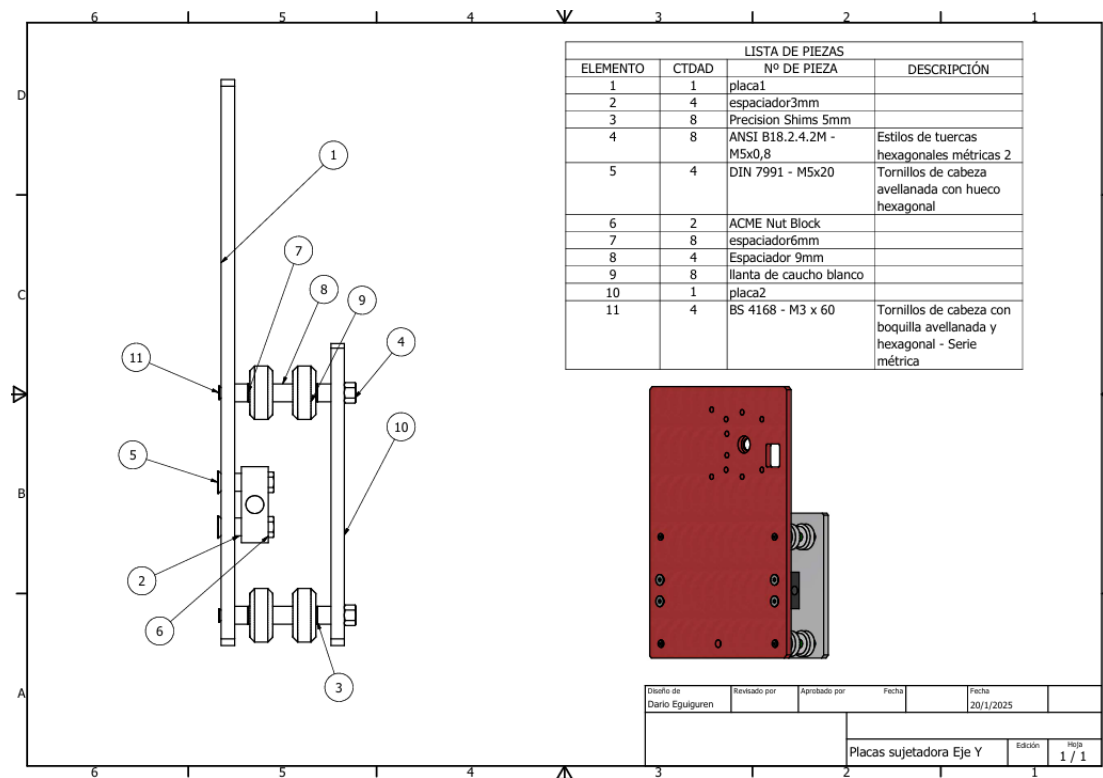


Figura 26. Placas del Eje Y fuente los Autores

Para que estas placas puedan moverse, debe unirse al tornillo sin fin por medio del Nut Block de 8mm, estos se encuentran a los extremos de las placas como se ve en la figura 26, el mismo que está fabricado en caucho con la finalidad de evitar dañar el tornillo sin fin mientras este se encuentra en movimiento. De la misma manera que el eje X, esta placa alberga el espacio para colocar tornillo de bolas donde pasara el tornillo sin fin como se muestra en la figura 27.

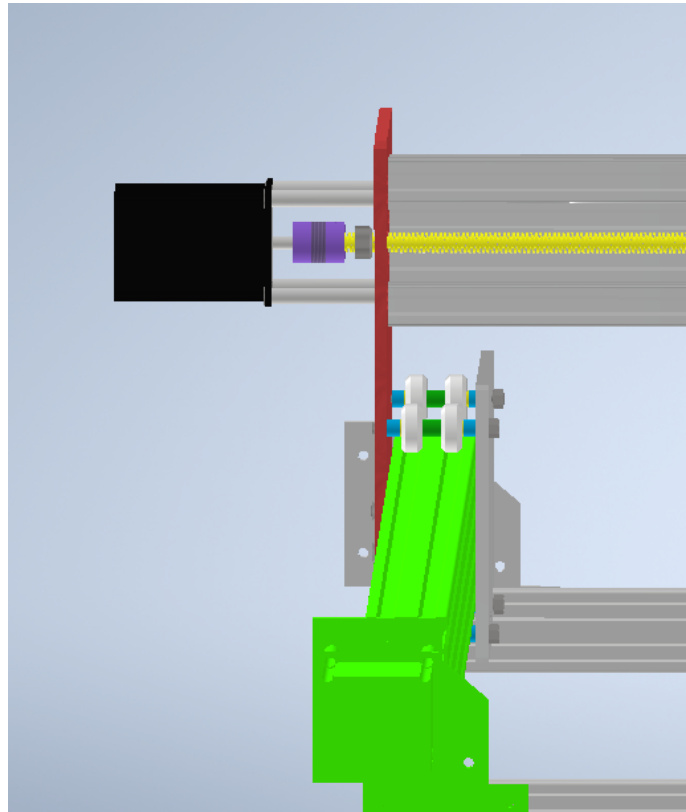


Figura 27. Traslación por el eje Y fuente los Autores

▪ Eje Z

A diferencia de los otros dos Ejes, el eje Z está formada por 3 placas, donde 2 de estas placas son las que descansan sobre el perfil C del eje Y, para su respectivo movimiento por medio del tornillo sin fin, el nut bloock y de las ruedas de caucho, las mismas que están unidas por un tornillo M5 de cabeza plana como se muestra en la figura 15. La tercera placa está encargada de servir de sujetador para el perfil del eje Z, que actúa de la misma manera que los ejes anteriores.

Debido a la orientación vertical del eje Z va a desarrollar un momento que es generado por el peso de la carga que actúan sobre el largo del perfil como se muestra en la figura 28. Con el objetivo de evitar vibraciones al instante de su movimiento, el eje Z utiliza dos rodamientos de bolas junto a sus sujetadores.

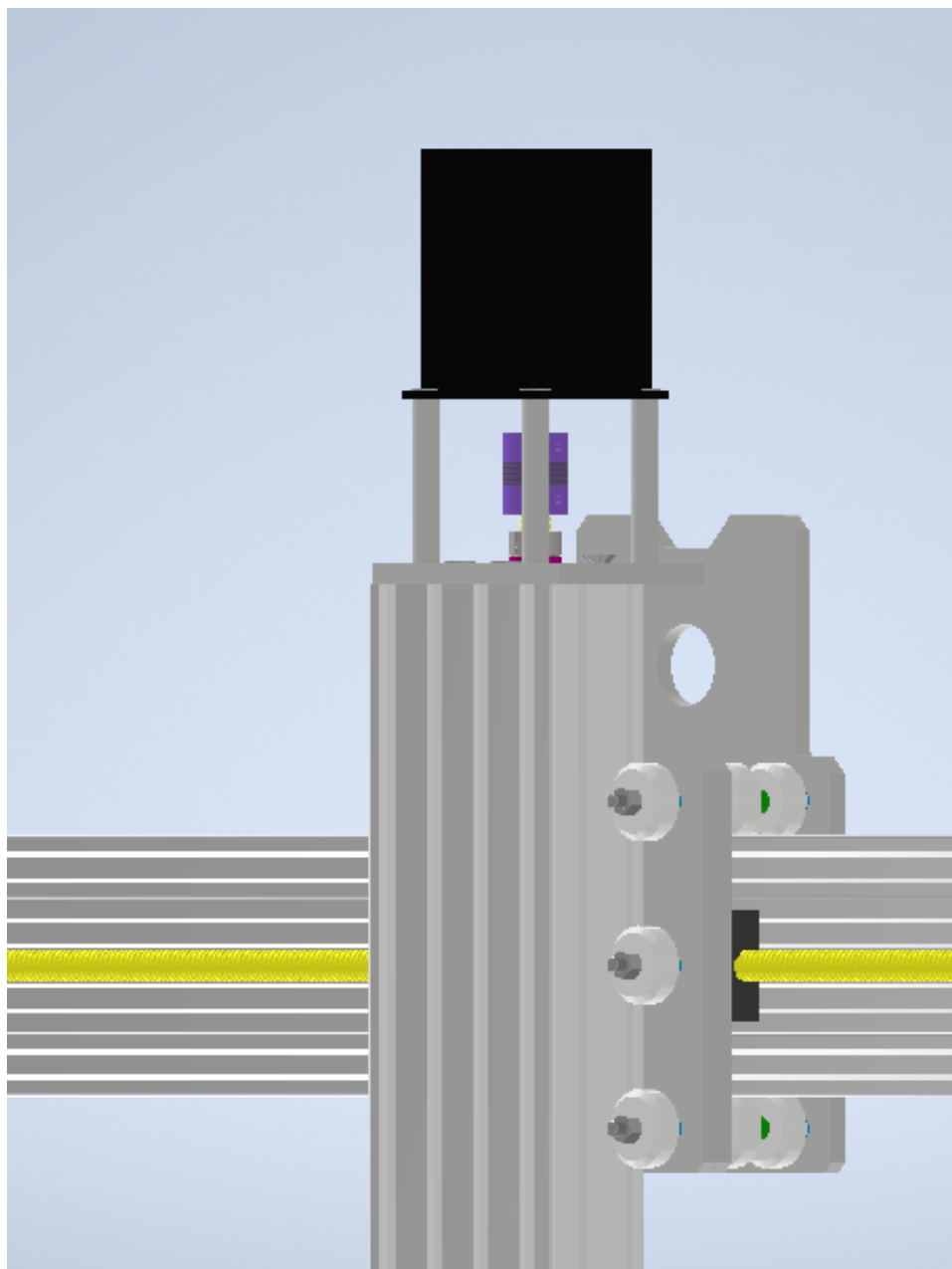


Figura 28. Traslación de las Placas del Eje Z

■ **Ensamble Final**

En el ensamble final, se realiza la sujeción usando tornillos M5 de cabeza plana de diferentes tamaños, que unirán las placas metálicas correspondiente a cada eje con su respectivo perfil y tornillo sin fin, como se muestra en la figura 29. La máquina de izaje tendrá una estructura sólida, capaz de soportar pesos de carga por encima de los 5kg sin que está presente deformación o averías en los motores. Esto gracias a los estudios realizados por las simulaciones en Autodesk Inventor como se muestra en el Anexo E.

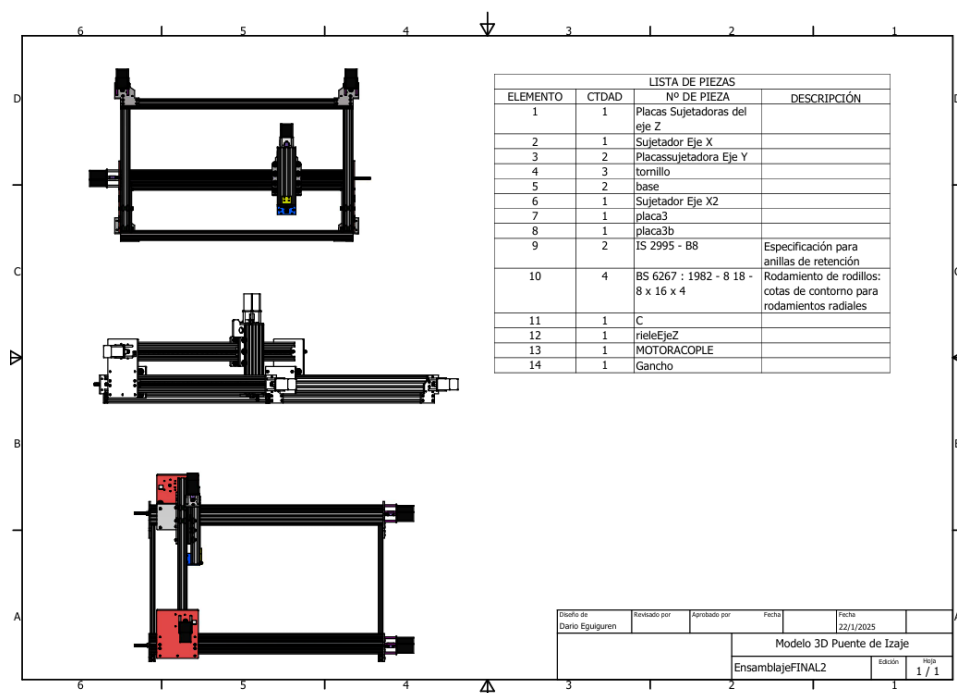


Figura 29. Dimensiones generales del Prototipo fuente los Autores

VI-D1. Diagrama Eléctrico:

■ Diagrama de conexión entre la controladora y el driver

La controladora CNC, cuenta con una pantalla para visualizar y configurar los parámetros de operación, por la cual se pueden ingresar comando o mover los motores de manera individual, con los pulsadores. Al momento de accionar uno de estos pulsadores, la controladora envía los pulsos al driver por los puertos PUL- (Pulso negativo) encargado de generar pulsos que hacen que el motor avance un paso cada vez que se activa con un pulso alto y Dir- (Dirección negativa) que controla la dirección hacia donde gira el motor NEMA, como se muestra en la figura 30.

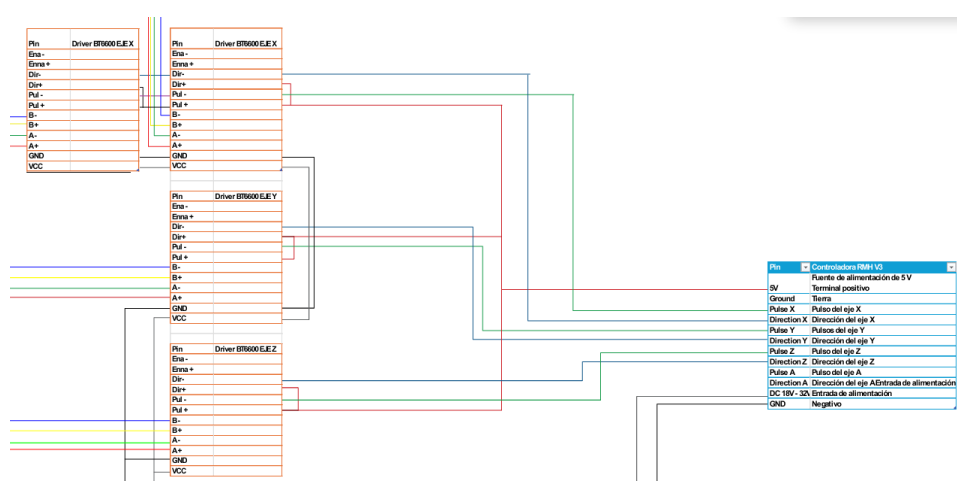


Figura 30. Diagrama de conexión entre la controladora y Driver fuente los Autores

La controladora tiene la capacidad de conectar hasta 4 drivers para moverlos de manera individual. En este punto

se puede optar por dos maneras de controlar el eje X: una es duplicando las señales enviadas por los puertos DIR y Pul correspondiente al eje X hacia ambos driver como se muestra en la figura 31 y la segunda opción es configurar la controladora de tal manera que los pulsos que se envían al eje A sean esclavos del eje X. Para este proyecto en particular se optó por la primera opción, siendo está más sencilla y fácil de trabajar.

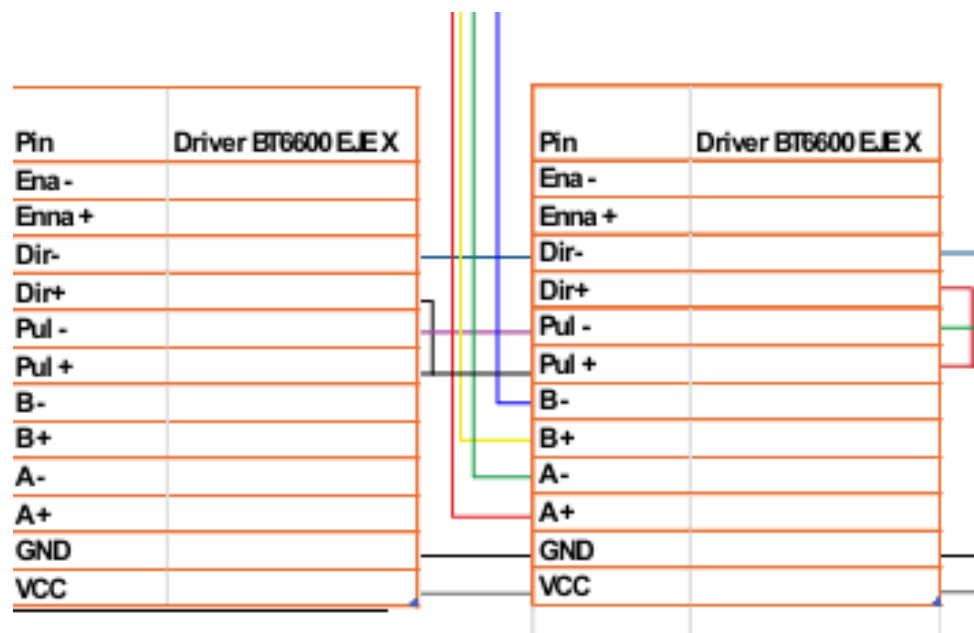


Figura 31. Diagrama de clonación de señales de pulso y dirección para el eje X fuente los Autores

Mientras que para los puertos de los drivers Pul + y Dir+, la controladora envía directamente y constantemente un pulso positivo de 5V VCC +, por ello el driver de los ejes X, Y, Z comparten un mismo cable de alimentación. Siendo esta las recomendaciones que aporta el fabricante para el control de los motores.

■ Diagrama de conexión entre los motores Nema y el Driver

En el caso de los motores NEMA 23 que poseen dos bobinas (A+ A- , B+ B-), las cuales se activan dependiendo del lado en que deseamos girar mediante los pulsos que envía el Driver. Estos pulsos dependen de la configuración de pasos y amperaje que se configura en ellos utilizando las perillas. Para el proyecto actual el driver están configurados en 3200 pasos, lo que equivale a un giro, en el caso del eje X hay dos motores encargados del movimiento lineal de la CNC como se muestra en la figura 32. Dado que este eje es el que más peso debe de mover, las conexiones deben mantener la misma orientación para que se muevan al unísono, esto, con el objetivo de que ejerzan un movimiento continuo e igualitario.

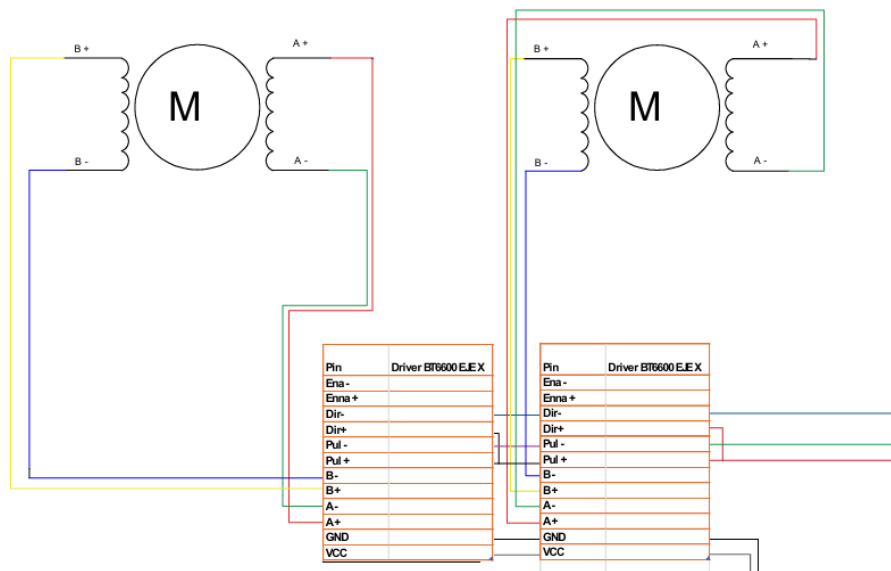


Figura 32. Diagrama de conexión de los motores nema del eje X fuente los Autores

En cambio, los ejes Y, Z usan un único motor para su movimiento, por lo cual la conexión eléctrica con sus respectivos drivers, es similar al eje X como se muestra en la figura 33. Como los motores seleccionados para el proyecto trabajan con 3amp, los drivers están configurados para entregar hasta un máximo de 3.5amp pico y 3amp en trabajo continuo, de tal manera que los motores funcionen sin complicaciones, siendo el eje Z el que deberá realizar un torque de subida y bajada.

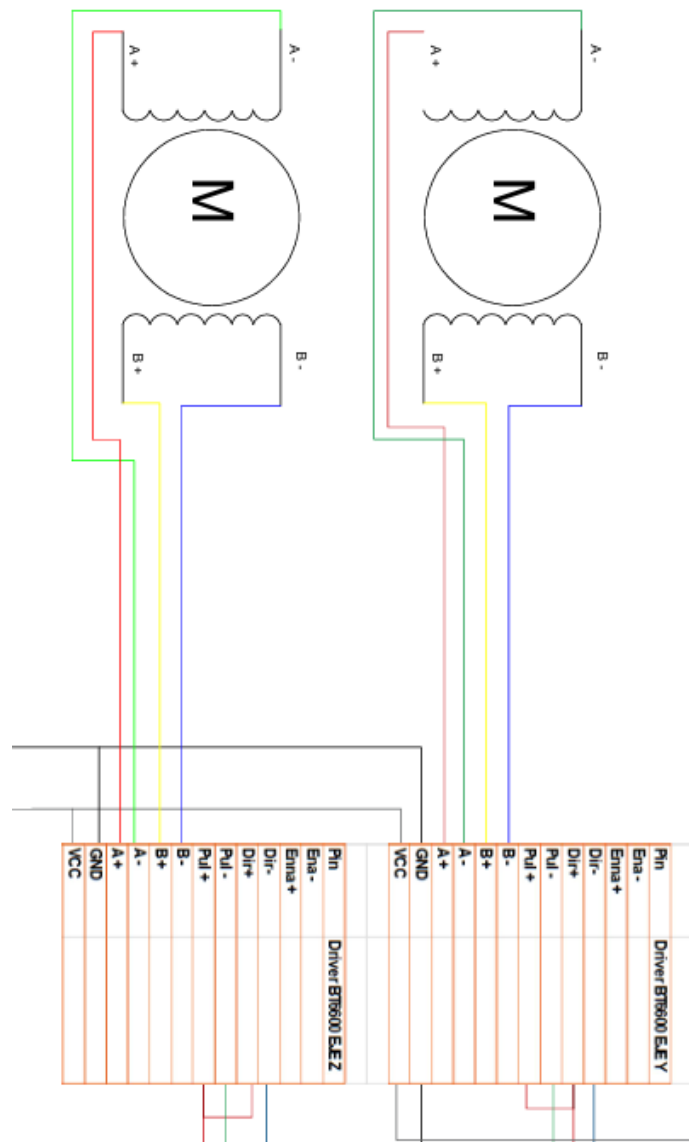


Figura 33. Diagrama de conexión de los motores nema del eje Y, Z fuente los Autores

■ Diagrama de conexión entre los motores Nema, el Driver y la fuente de alimentación

Si sumamos los valores picos amperaje y de voltaje de cada driver que trabaja a 24v a 3amp, tenemos una suma de 72w por motor, siendo 4 suman 288w de consumo, más el driver que consume 1amp a 24v, nos da un total de 312w de consumo por parte del prototipo sin considerar el consumo de los finales de carrera e iluminación. Por esta razón se escogió una fuente de alimentación de 650w para el proyecto, la cual nos da una holgura de trabajo considerable en caso de que se desee conectar ya sea motor más grande o electrónica adicional, siendo esta única fuente la que alimenta toda la maquina como se muestra en la figura 34

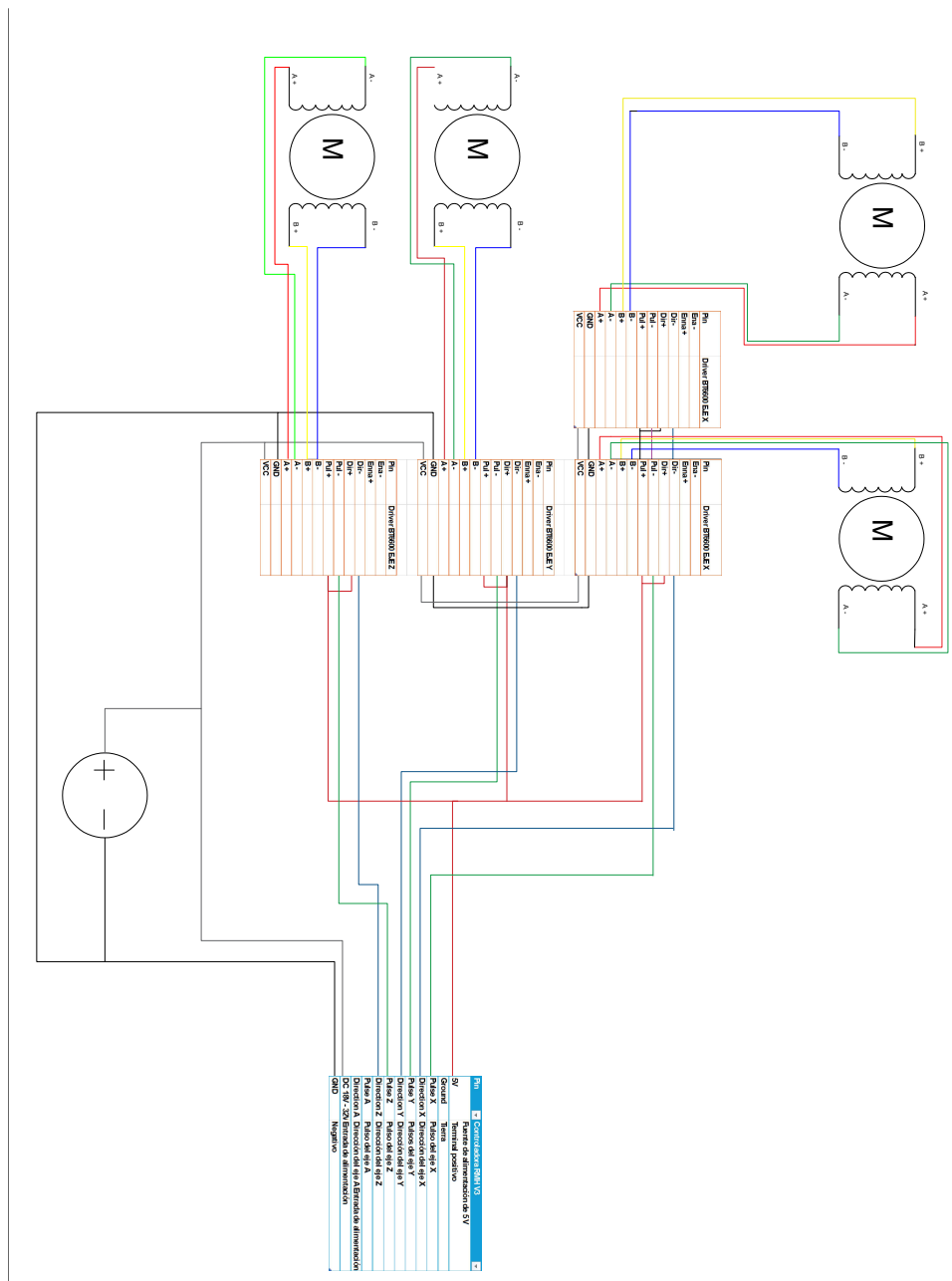


Figura 34. Diagrama de conexión eléctrica fuente los Autores

VII. RESULTADOS

Como se mencionó en la sección de Marco teórico, las investigaciones preliminares que se realizaron de proyectos similares, como lo son “Diseño de puente grúa de 5 Toneladas” [15], “Diseño de un puente grúa de 2 toneladas” [22], donde se encontró información importante que ayudaron a la toma de decisiones, la misma que fue utilizada para seleccionar los DRIVERS BT6600 por su bajo costo y su rango de amperaje de trabajo, motores NEMA 23 los cuales permiten mover cargas desde el reposo (torque) de 1.8 Nm.

Además de estos trabajos fueron de gran peso, al momento de seleccionar el movimiento por banda dentada

GT2 sobre los tornillos de 4 hilos como se muestra en la figura 35, ya que presentan ventajas importantes como lo son; precio, peso, mantenimiento entre otros, el mismo que necesita un acople flexible para su unión con el motor nema 23.

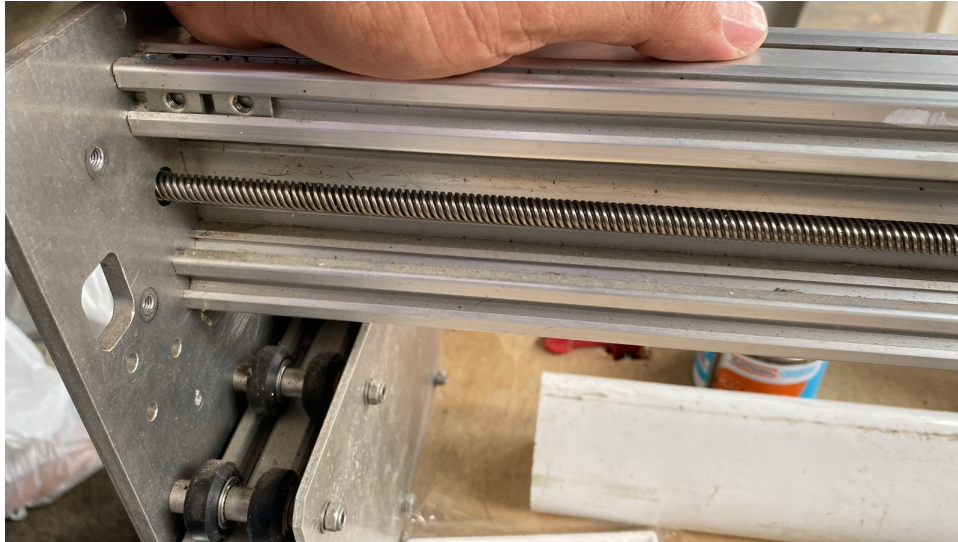


Figura 35. Tornillo sin fin en el prototipo

En base en esta información obtenida, se tomó la decisión de usar una controladora CNC, ya que esta presenta la ventaja de operar de manera ágil el prototipo, sumado que ya viene integrada el programa de control de código G y permite configurar la velocidad de traslación de la máquina configurando los valores de avance y velocidad como se muestra en la figura 36. Además de que posee la capacidad de configurar los límites de la máquina de manera virtual, teniendo de esta manera un seguro al momento de que los límites de carrera puedan fallar.



Figura 36. Tablero de control pruebas iniciales fuente Los Autores

Además en el tablero de control, se instalaron pulsador de "Paro de emergencia" que tiene como objetivo detener el trabajo que realiza el prototipo en caso de emergencia ya que corta entrada de la fase de CA, el cual va a un breaker de 1 polo 6amp, un indicador led "Panel de energizado". Este último verifica la existencia de energía para la operación del prototipo ya que se encuentra conectado a la fuente de poder de 24VDC/600watts. Un pulsador Controlador CNC Pause,^{el} cual esta destinado a pausar un trabajo y que este se pueda reanudar luego. En este caso y a diferencia del pulsador "Paro de emergencia,"^{el} cual no permite que el trabajo se reanude, sino que necesita que se efectúe todo desde el comienzo como se muestra en la figura 37.



Figura 37. Pulsadores en el Tablero de control, fuente los Autores

Tomando esta información, se espera que el prototipo pueda mover cargas de 3.2 kg/cm (44 oz-in) debido a los motores seleccionados, además que al trabajar a baja velocidades por el traslado de las bandas sumado a los pulsos enviados por el driver BT6600, los mismos que están conectados de la forma descrita en la figura 32. abe mencionar

que para su movilidad se colocó un conector en él case de tal forma que se pueda desconectar el cableado de los motores figura 38, estos sockets son GX16 de 8 pines que pueden soportar corrientes de 5amp.



Figura 38. Conexión por socket entre los motores y drivers

Para le caso particular del eje X que usa dos motores, fue necesario que el cableado tenga el mismo largo con el objetivo de evitar una impedancia desigual. Para los ejes Y, Z no presenta este problema, ya que ellos mantienen un único motor para su trabajo figura 39, para el cableado eléctrico se usó cable N16 de 4 hilos de color azul, rojo, verde y negro, los cuales se conectan a las bobinas del motor de esta manera: A+ (azul), A- (rojo), B+ (verde), B- (negro).



Figura 39. Cableado motor eje Y

Con el objetivo de evitar que el cable se cruce mientras se mueve, se decidió usar Drag Chain de 30mmx15mm el cual además de proteger el cableado evita que este se salga y pueda ocasionar problemas Figura 40, que además al momento del avance le da a la maquina una vista minimalista.



Figura 40. Cableado ingresado en el Drag Chain

Siguiendo el diagrama eléctrico Figura 34, se realizó la conexión dentro de un case de marca Riotoro CR1280 el cual trae consigo, un acrílico transparente el que permite visualizar las conexiones. Dentro del case se puede observar los 4 drivers bt6600 conectados a la fuente de alimentación de 24v 25amp 600w de la marca Boystro, que estará encargada de suministrar energía a la controladora CNC, cooler de ventilación, drivers y demás componentes electrónicos como se puede observar en la figura 41.

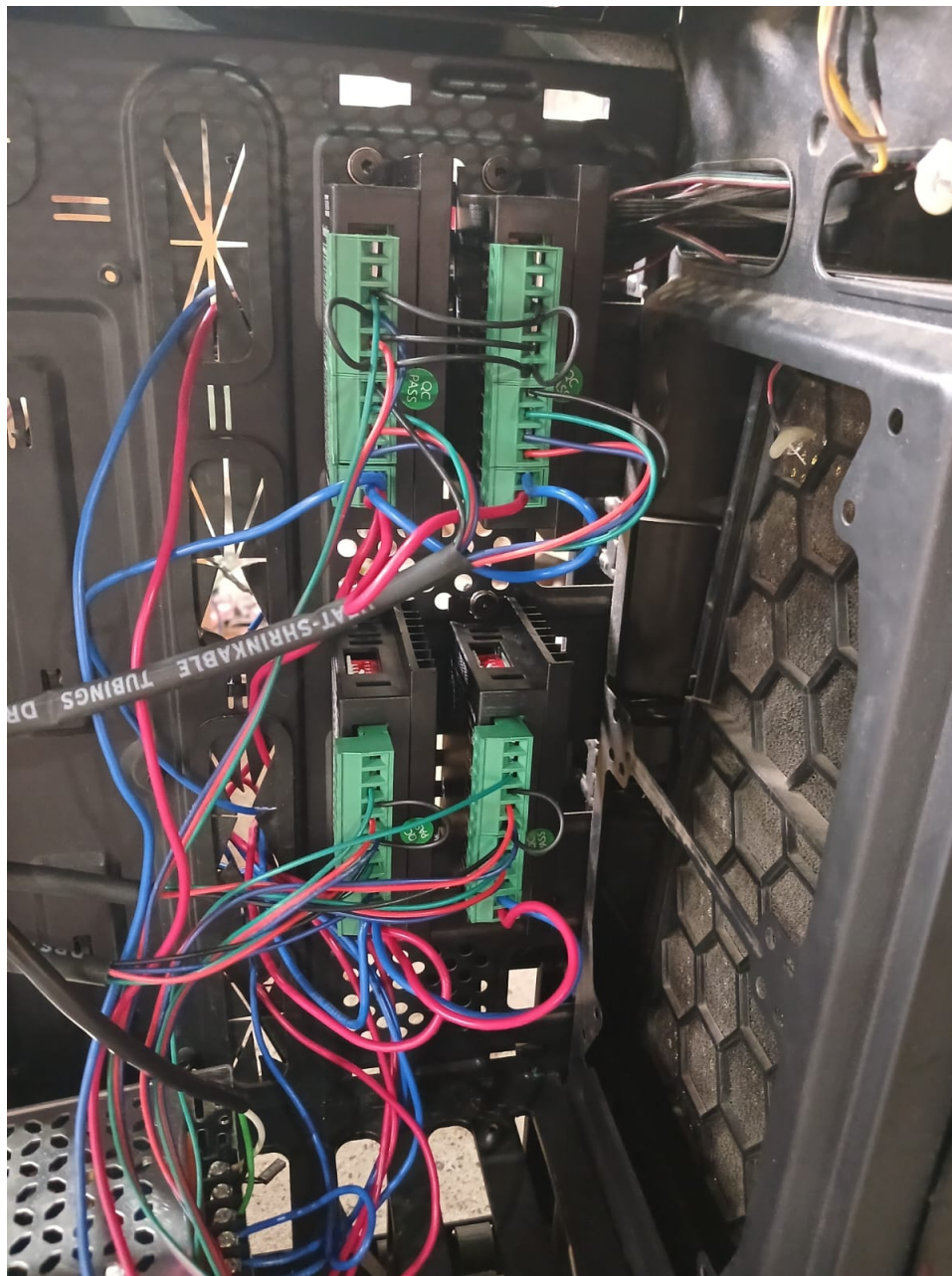


Figura 41. Conexión eléctrica de componentes dentro del case

En cuanto a la estructura, con el objetivo de darle una altura de trabajo para este proyecto, se decidió fabricar una mesa, con fondo hueco en el medio por donde se movería el gancho o fabricar un cubo con perfiles de CNC donde se simula la estructura de un galpón como el que tiene la universidad y donde estaría el proyecto trabajando, esta estructura está fabricada en tubo cuadrado galvanizado de 40mmx20mm

Se realizó pruebas con el driver configurado a 3200 pasos y una configuración por parte de la controladora de 400pul/s se configuró la velocidad en los ejes desde la controladora CNC en 400pulse/mm, por lo cual la máquina le toma alrededor de 20.2s recorrer los 1000mm de distancia que tienen los ejes X y Z, cabe destacar que esto es solo el movimiento utilizando los pulsadores de pantalla y que al momento de ingresar el código G, esta podría ir más rápido dependiendo de la programación que se desee configurar figuras 42 y 43, cabe destacar que estas pruebas fueron realizadas en vacío (sin carga).

```

T1 Código G.NC+
1 G21 ; Establecer unidades en milímetros (mm)
2 G90 ; Establecer posicionamiento absoluto
3
4 Movimiento 1era carga de 500gr
5
6 G0 X0 Y0 Z0 ; Home
7 G0 Z200 ; Subir la herramienta a 200 mm sobre la pieza
8 G0 X950 Y950 ; Mover rápido al punto X950, Y950
9 G1 Z-200 F200 ; Bajar la herramienta a Z-200 mm a una velocidad de avance de 200 mm/min
10 G4 P5000 ; Pause de 5seg
11 G1 X950 Y950 Z-30 F200 ; Mover al punto X900, Y700, Z-30 mm mientras corta
12 G0 Z200 ; Subir la herramienta a Z5 mm (finaliza el corte)
13
14 ; Movimiento 2da carga de 500gr
15
16 G0 X0 Y0 Z0 ; Regresar a la posición de "casa" (X0, Y0, Z0)
17 G0 Z200 ; Subir la herramienta a 200 mm sobre la pieza
18 G0 X950 Y950 ; Mover rápido al punto X950, Y950
19 G1 Z-200 F200 ; Bajar la herramienta a Z-200 mm a una velocidad de avance de 200 mm/min
20 G4 P5000 ; Pause de 5seg
21 G1 X950 Y950 Z-30 F200 ; Mover al punto X900, Y700, Z-30 mm mientras corta
22 G0 Z200 ; Subir la herramienta a Z5 mm (finaliza el corte)
23 G0 X0 Y0 Z0 ; Regresar a la posición de "casa" (X0, Y0, Z0)
24
25
26 Movimiento 3era carga de 500gr
27
28 G0 X0 Y0 Z0 ; Home
29 G0 Z200 ; Subir la herramienta a 200 mm sobre la pieza
30 G0 X950 Y950 ; Mover rápido al punto X950, Y950
31 G1 Z-200 F200 ; Bajar la herramienta a Z-200 mm a una velocidad de avance de 200 mm/min
32 G4 P5000 ; Pause de 5seg
33 G1 X950 Y950 Z-30 F200 ; Mover al punto X900, Y700, Z-30 mm mientras corta
34 G0 Z200 ; Subir la herramienta a Z5 mm (finaliza el corte)
35

```

Figura 42. Programación base de código G parte 1, fuente los Autores

```

35
36 ; Movimiento 4ta carga de 1Kg
37
38 G0 X0 Y0 Z0 ; Regresar a la posición de "casa" (X0, Y0, Z0)
39 G0 Z200 ; Subir la herramienta a 200 mm sobre la pieza
40 G0 X850 Y850 ; Mover rápido al punto X850, Y850
41 G1 Z-200 F200 ; Bajar la herramienta a Z-200 mm a una velocidad de avance de 200 mm/min
42 G4 P5000 ; Pause de 5seg
43 G1 X850 Y850 Z-30 F200 ; Mover al punto X850, Y850, Z-30 mm mientras corta
44 G0 Z200 ; Subir la herramienta a Z5 mm (finaliza el corte)
45 G0 X0 Y0 Z0 ; Regresar a la posición de "casa" (X0, Y0, Z0)
46
47 Movimiento 5ta carga de 1Kg
48
49 G0 X0 Y0 Z0 ; Regresar a la posición de "casa" (X0, Y0, Z0)
50 G0 Z200 ; Subir la herramienta a 200 mm sobre la pieza
51 G0 X850 Y850 ; Mover rápido al punto X850, Y850
52 G1 Z-200 F200 ; Bajar la herramienta a Z-200 mm a una velocidad de avance de 200 mm/min
53 G4 P5000 ; Pause de 5seg
54 G1 X850 Y850 Z-30 F200 ; Mover al punto X850, Y850, Z-30 mm mientras corta
55 G0 Z200 ; Subir la herramienta a Z5 mm (finaliza el corte)
56 G0 X0 Y0 Z0 ; Regresar a la posición de "casa" (X0, Y0, Z0)
57
58 ; Movimiento 6ta carga de 1 Kg
59
60 G0 X0 Y0 Z0 ; Regresar a la posición de "casa" (X0, Y0, Z0)
61 G0 Z200 ; Subir la herramienta a 200 mm sobre la pieza
62 G0 X850 Y850 ; Mover rápido al punto X850, Y850
63 G1 Z-200 F200 ; Bajar la herramienta a Z-200 mm a una velocidad de avance de 200 mm/min
64 G4 P5000 ; Pause de 5seg
65 G1 X850 Y850 Z-30 F200 ; Mover al punto X850, Y850, Z-30 mm mientras corta
66 G0 Z200 ; Subir la herramienta a Z5 mm (finaliza el corte)
67 G0 X0 Y0 Z0 ; Regresar a la posición de "casa" (X0, Y0, Z0)
68

```

Figura 43. Programación base de código G parte 2, fuente los Autores

Para las pruebas realizadas con carga de 1kg, la máquina mantuvo el tiempo de trabajo de 40s, sin que escuche un sobre esfuerzo por parte de los motores. También se hicieron pruebas con peso de 2kg obteniendo los mismos resultados que las pruebas anteriores, pero en el caso de pruebas de 3kg, se pudo observar un calentamiento por parte de los motores y el esfuerzo que estaban realizando fue mayor a las pruebas anteriores. Por esta razón podemos asumir que de realizar pruebas con pesos superiores a 3kg la máquina podría sobre calentarse o peor aún desconfigurarse.

Figura 44. Cronograma de actividades.

ACTIVIDAD	ESTADO	Asignado a	may-24	jun-24	jul-24	ago-24	sep-24	oct-24	nov-24	dic-24	ene-25	feb-25
Presentación del tema del proyecto	Finalizado	Ruben Eguiguren	X									
Charla con el Tutor	Finalizado	Ruben Eguiguren	X									
Desarrollo de los Temas	Finalizado	Ruben Eguiguren	X									
Elaboración de objetivos	Finalizado	Alain Garcia		X								
Elaboración del Planteamiento del Problema	Finalizado	Alain Garcia		X								
Elaboración de la Justificación del proyecto	Finalizado	Ruben Eguiguren			X							
Elaboración Marco Teórico	Finalizado	Alain Garcia			X							
Elaboración del Marco Metodológico	Finalizado	Ruben Eguiguren			X							
Desarrollo del Prototipo	No comenzado	Alain Garcia				X						
Diseño en Autodesks Inventor	No comenzado	Alain Garcia				X						
Análisis y cotización de materiales	Finalizado	Ruben Eguiguren				X						
Entrega de avances del anteproyecto	Finalizado	Ruben Eguiguren					X					
Exposición del anteproyecto	No comenzado	Ruben Eguiguren					X					
Entrega del anteproyecto (TT1)	No comenzado	Ruben Eguiguren						X				
Desarrollo TT2	No comenzado	Alain Garcia						X	X	X	X	X
Trabajo Consolidado	No comenzado	Alain Garcia						X				
Elaboración de la Metodología	No comenzado	Alain Garcia							X			
Elaboración de conclusiones	No comenzado	Ruben Eguiguren								X		
Elaboración del Cronograma final	No comenzado	Alain Garcia								X	X	X
Pruebas del Prototipo	No comenzado	Ruben Eguiguren								X	X	X
Corrección final del TT2	No comenzado	Alain Garcia								X	X	X
Entrega del proyecto (TT2)	No comenzado	Ruben Eguiguren										X

VIII. PRESUPUESTO

Tabla II
PRESUPUESTO DEL PROYECTO.

Item	Descripción	Unidades	Precio / unidad	Precio
1	Controladora CNC RMHV3.1	1	\$ 250,00	\$ 250,00
2	Motor NEMA 17	4	\$ 60,00	\$ 240,00
3	Perfil de aluminio tipo C (80*40*1204)mm	3	\$ 30,00	\$ 90,00
4	Perfil de aluminio tipo C (40*20*1204)mm	2	\$ 25,00	\$ 50,00
5	Driver BT6600	4	\$ 15,00	\$ 60,00
6	Placas workbee de ensamblaje	12	\$ 8,00	\$ 96,00
7	Case de conexiones eléctricas	1	\$ 30,00	\$ 30,00
8	Eje de tornillo sin fin de (8*1204)mm /4 entradas	3	\$ 25,00	\$ 75,00
9	Pulsadores de emergencia y operación	3	\$ 5,00	\$ 15,00
10	Selector de 2P	1	\$ 3,00	\$ 3,00
11	Accesorios eléctricos para cableado	1	\$ 60,00	\$ 60,00
12	Cables de conexiones para motores NEMA	5	\$ 2,00	\$ 10,00
13	Gancho y accesorios de las 6 cargas de prueba	1	\$ 30,00	\$ 30,00
14	Pies de amigo de soporte	8	\$ 4,00	\$ 32,00
15	Playwood de área de trabajo	1	\$ 20,00	\$ 20,00
16	Base de tubos cuadrado de 1"	1	\$ 80,00	\$ 80,00
17	Ruedas de transporte del proyecto	36	\$ 2,00	\$ 72,00
18	Accesorios de montaje	1	\$ 60,00	\$ 60,00
19	Salarios	2	\$ 1.000,00	\$ 2.000,00
20	Materiales de oficina	1	\$ 60,00	\$ 60,00
21	Viáticos	2	\$ 25,00	\$ 50,00
22	Gastos Varios	1	\$ 40,00	\$ 40,00
			Subtotal	\$ 3.423,00
			15,00% IVA	\$ 513,45
			Total	\$ 3.936,45

IX. CONCLUSIONES

- El trabajo realizado por el puente de izaje con control por código G, aumenta la versatilidad y reduce los costos por errores humanos, lo cual ha llevado a una mayor eficiencia y calidad en la producción, ya que estas pueden realizar trabajos repetitivos sin necesidades de descanso continuos. Esto queda demostrado en los 125 segundos que le toma al prototipo efectuar un trabajo, lo cual se transmite a 224 ciclos de trabajo en las dentro de las 8 horas laborables que tendría que hacer un operador o 672 ciclos al día sin descanso. Cabe mencionar que estos tiempos son modificables según la necesidad.
- Es cierto que emiten varios métodos de control para una maquina CNC como lo son software Mach3, Arduino, tarjetas electrónicas de control, pero estos mencionados necesitan de una interfase de para funcionar como lo son pantallas, computadores o controles remotos, por esta razón la controladora CNC ahorra el uso de estos sistemas, además de tener un software que no necesita de licencias para su uso, representando un ahorro al cliente, también aporta que tenga la posibilidad de configurar los pulsos, velocidades y hasta el ingreso de un control remoto que permite al operador controlar de manera lejana las velocidades y movimientos.
- Mientras se trabajó dentro de los factores de seguridad encontrados para cada componente, el funcionamiento del puente de grúa será eficiente, también fue necesario probar con diferentes tipos de velocidades, considerando el tiempo en que el prototipo realizaba su operación y la temperatura que aumentaba o disminuía respecto a este. Siento este valor el influyente en la toma de los 40s de trabajo, ya que a esta velocidad de trabajo los motores pueden trabajar durante mayor tiempo sin calentarse, lo cual permite una mayor productividad de trabajo y menos tiempos de descanso.
- Los cálculos iniciales de torque, peso, velocidad de avance y otros parámetros fueron fundamentales para la selección de los componentes del puente grúa de izaje, asegurando que estos cumplieran con los requisitos establecidos. Esta información resultó crucial para evitar compras innecesarias. Se enfatiza la importancia de que, en la construcción de cualquier prototipo, estos cálculos sean considerados desde el inicio del diseño. En el caso particular de este proyecto, el puente de izaje superó las pruebas de carga y de relación de avance, permitiendo su configuración a diferentes velocidades mientras se mantiene el peso dentro de los márgenes de seguridad establecidos.
- El desarrollo de la interfaz y del sistema de control no fue un proceso sencillo, debido a la dificultad de encontrar los componentes necesarios en el mercado ecuatoriano y a los prolongados tiempos de importación. Sin embargo, una vez adquiridos los componentes, se dispuso de abundante información en línea sobre su fabricación y conexión, lo que facilitó el posicionamiento y transporte mediante código G. Esto permitió realizar una configuración personalizada con los valores requeridos. Este hecho evidencia que muchas compañías han optado por la implementación de sistemas mecánicos para la movilización de mercancías, ya que estos reducen la necesidad de personal y minimizan los periodos de inactividad.

X. RECOMENDACIONES

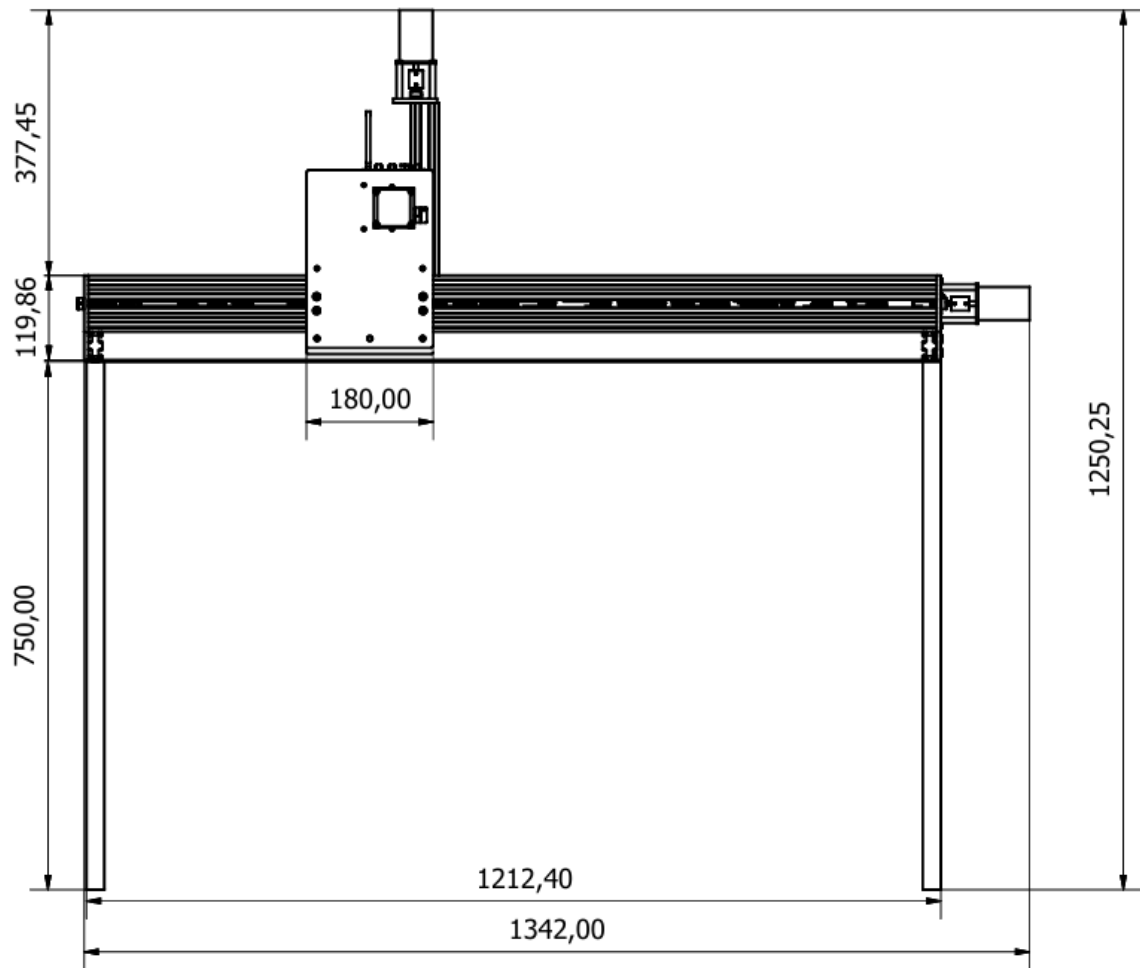
- Con el objetivo de que el área de trabajo sea de 1 m², fue necesario construirla con perfiles de 1200 mm, dado que las placas de unión reducen la superficie útil en 200 mm. Por esta razón, al fabricar un puente grúa, es fundamental estimar el espacio requerido por los distintos componentes, considerando tanto su ubicación como sus dimensiones. De este modo, se garantiza que el área de trabajo cumpla con los requerimientos establecidos.
- El desarrollo del proyecto fue un desafío desde el inicio, especialmente en la adquisición de los materiales necesarios. Debido a las especificaciones técnicas y la calidad requerida para el proyecto, se tuvo que importar varios componentes del exterior, lo que implicó largos tiempos de espera y costos adicionales.
- Durante el proceso de calibración del sistema CNC en el prototipo de puente grúa, un factor clave es la configuración de los drivers con el controlador, por motivo que debe ser directamente relacionado en el tornillo sin fin en la relación de avance por revolución del motor NEMA.
- Antes de realizar las pruebas de operación, se debe establecer en primer lugar el punto HOME, ya que será el inicio de la programación a realizar. Además, es necesario configurar los valores límite de los motores NEMA en los tres ejes (X, Y, Z) para evitar colisiones y daños físicos.
- Al realizar las pruebas de operación en el prototipo, se debe comprobar el comportamiento de los motores en los tres ejes de coordenadas con la programación en código G realizada. Para las simulaciones correspondientes, se utilizó el programa CIMCO. Una vez verificado el correcto funcionamiento, se copia el archivo en un USB para realizar las pruebas en el prototipo.

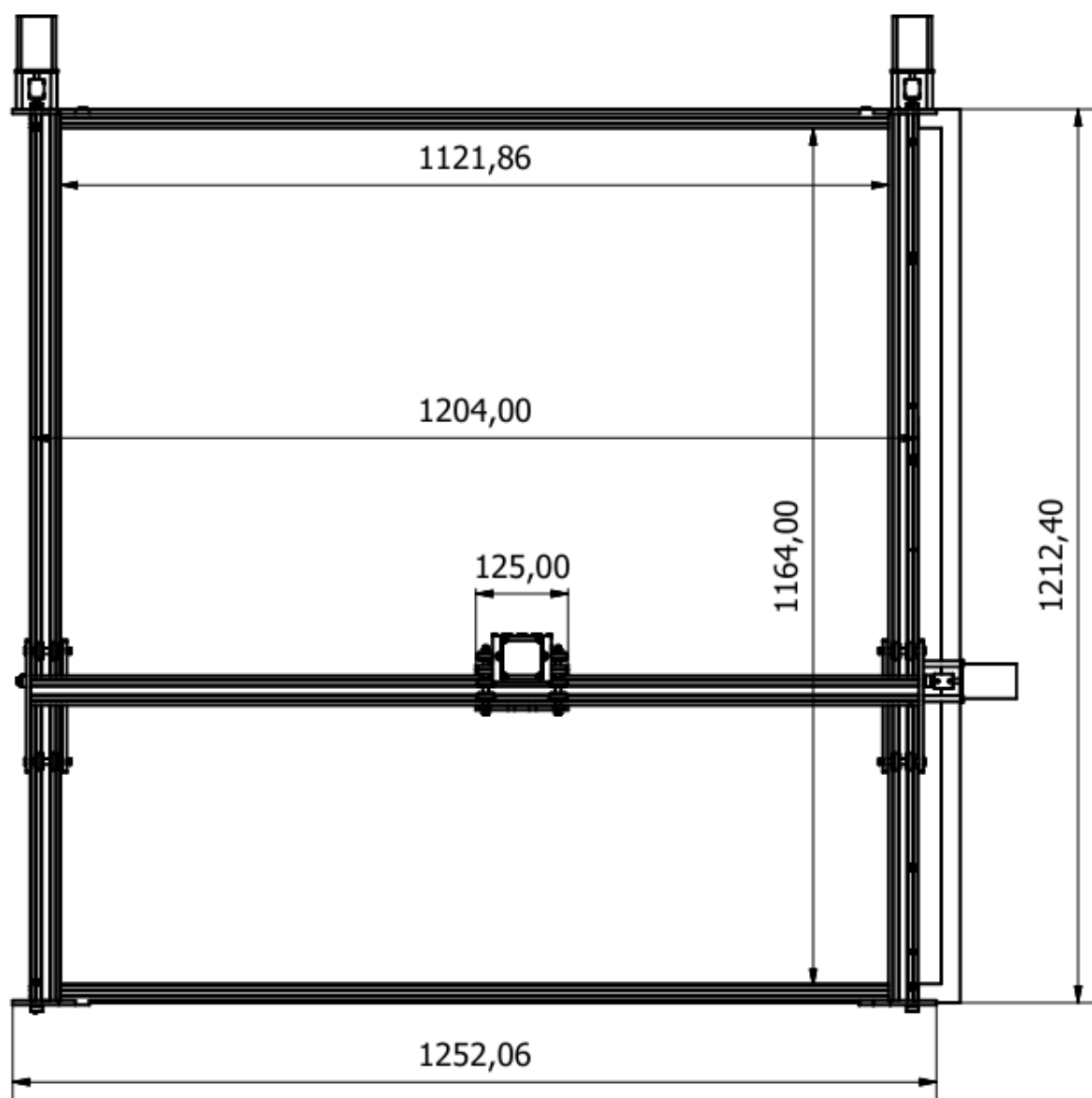
REFERENCIAS

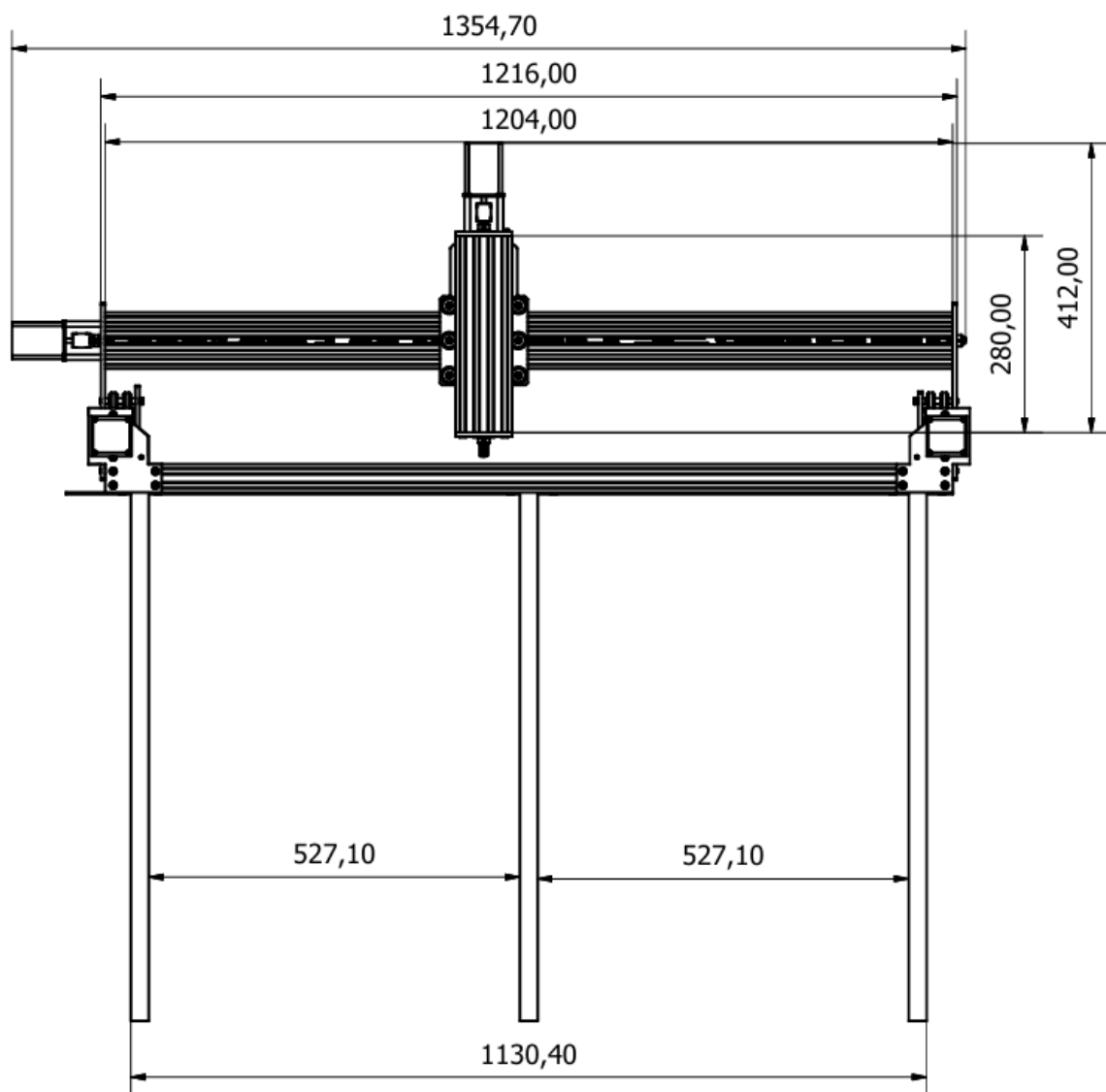
- [1] C. R. Asfahl, «Seguridad industrial,» *Mexico, Monterrey, Mexico*, 2010.
- [2] M. Vaca, «Ecuador enfrenta desafíos en seguridad laboral según datos del IESS,» *Puntonet Empresas*, vol. 171, 2024.
- [3] P. Ponsa y A. Granollers, «Diseño y automatización industrial,» *Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña*, 2009.
- [4] M. O. F.R. Rubio y F. Gordillo, «Control de posición e inercial de plataforma de dos grados de libertad,» *Revista Iberoamericana de automática e informática*, 2010. DOI: 10.1016/s1697-7912(10)70061-3.
- [5] S. A. Medrano, «Ecuador avanza hacia la automatización, el uso de robots es más habitual en las industrias,» *VISTAZO*, vol. 171, 2023.
- [6] A. Palacios Gonzalo et al., «EL IMPACTO DE LA AUTOMATIZACIÓN EN LA SUSTITUCIÓN DE MANO DE OBRA HUMANA POR ROBOTS EN LA INDUSTRIA.,» 2024.
- [7] C. C. Salas-Tanchiva, «Repercusión e importancia de la automatización del trámite documentario en las instituciones públicas,» *Revista científica de sistemas e informática*, vol. 2, n.º 1, e266-e266, 2022.
- [8] J. L. Sampedro y S. Sequeiros, *El mercado y la globalización*. Destino Madrid, 2002, vol. 103.
- [9] J. L. Galán González y J. Vecino Gravel, «Las fuentes de rentabilidad de las empresas,» 1997.
- [10] P. Smid, *Fanuc CNC Custom Macros: Programming Resources for Fanuc Custom Macro B Users*. Industrial Press Inc., 2004.
- [11] Changzhou, *CNC MOTION SYSTEM Controller*. RATTM MOTOR., 2020.
- [12] C. M. V. Joaquín, C. R. R. Brayan, C. C. S. Enzo et al., «PERFIL ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE FRESADORA CNC EN LA EMPRESA METALMECÁNICA EXTINTORES E. MENDOZA EIRL,» *IEEE*, 2024.
- [13] M. Haque, «Determination of NEMA design induction motor parameters from manufacturer data,» *IEEE transactions on Energy conversion*, vol. 23, n.º 4, págs. 997-1004, 2008.
- [14] R.-T. R. de Jesus, H.-R. Gilberto, T.-V. Ivan y J.-C. J. Carlos, «Driver current analysis for sensorless tool breakage monitoring of CNC milling machines,» *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 43, n.º 15, págs. 1529-1534, 2003.
- [15] R. E. Collado, «Diseño de puente grúa de 5 Toneladas,» Tesis doct., Hochschule Mittweida, 2010.
- [16] R. E. Collado, «Diseño de puente grúa de 5 Toneladas,» Tesis doct., Hochschule Mittweida, 2010.
- [17] B. J. Marcelo Machay, «Diseño de una grúa puente monorriel con capacidad de 02 toneladas aplicando las normas AISC y CMAA para la empresa Sedapal-Lima,» 2017.
- [18] B. A. Davila Sepulveda, «Diseño de una grúa pórtico con capacidad de 5 toneladas para la empresa de mantenimiento industrial Heros sas,» 2022.
- [19] C. E. Logroño Romero, «Desarrollo de una aplicación para el diseño de vigas carrileras para puentes grúa según la especificación CMAA,» 2024.
- [20] R. G. Budynas et al., «Diseño en ingeniería mecánica de Shigley,» 2012.
- [21] Crane Manufacturers Association of America (CMAA), *Specifications for Top Running and Under Running Bridge and Gantry Type Multiple Girder Electric Overhead Cranes (CMAA 70)*, Rev. 2020. Charlotte, NC, USA: Crane Manufacturers Association of America, Inc., 2020. dirección: <https://www.mhi.org/cmaa>.
- [22] G. Y. Vilchez, «Diseño de un puente grúa de 2 toneladas,» *Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Ingeniería Mecánica*, 2020.

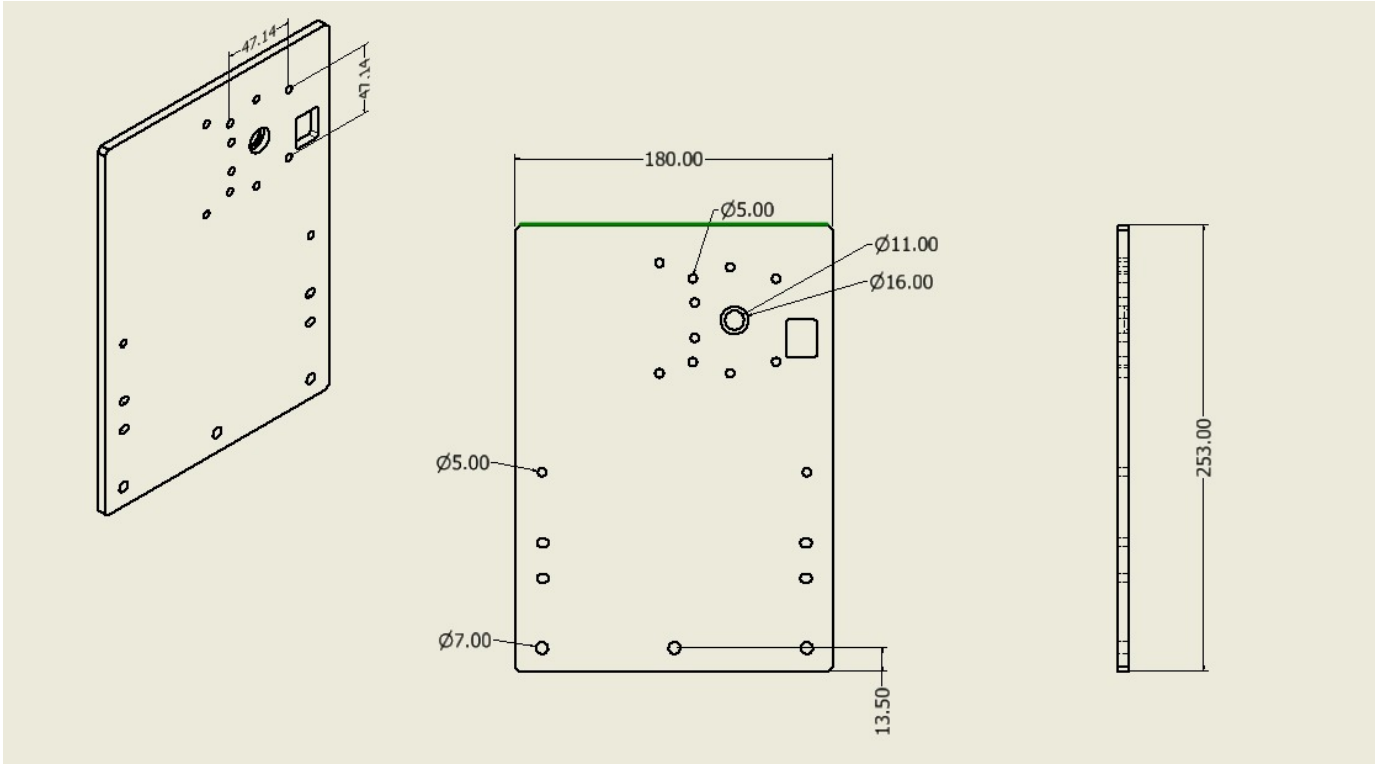
XI. ANEXOS

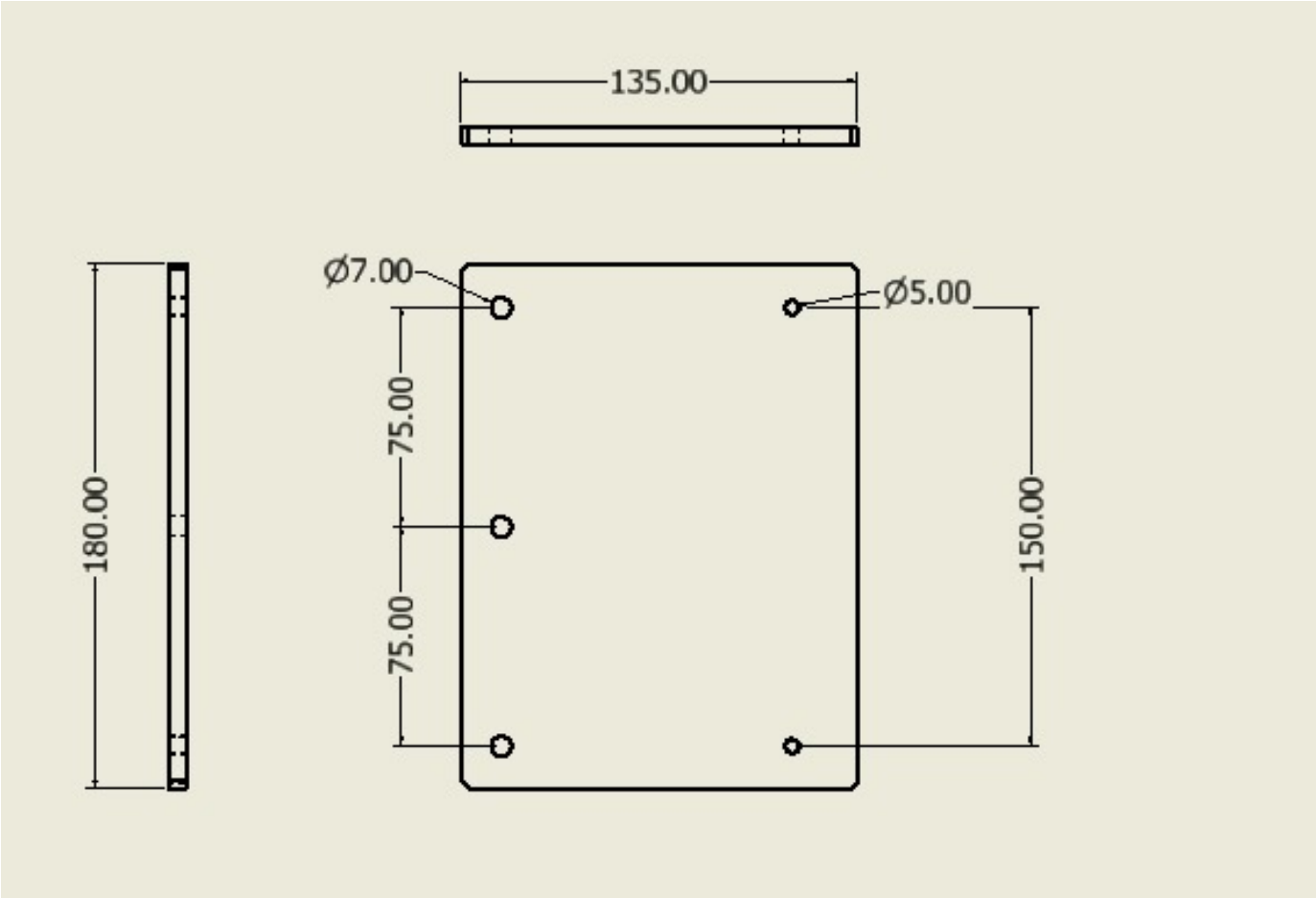
XI-A. Anexo E: Plano Ensamble

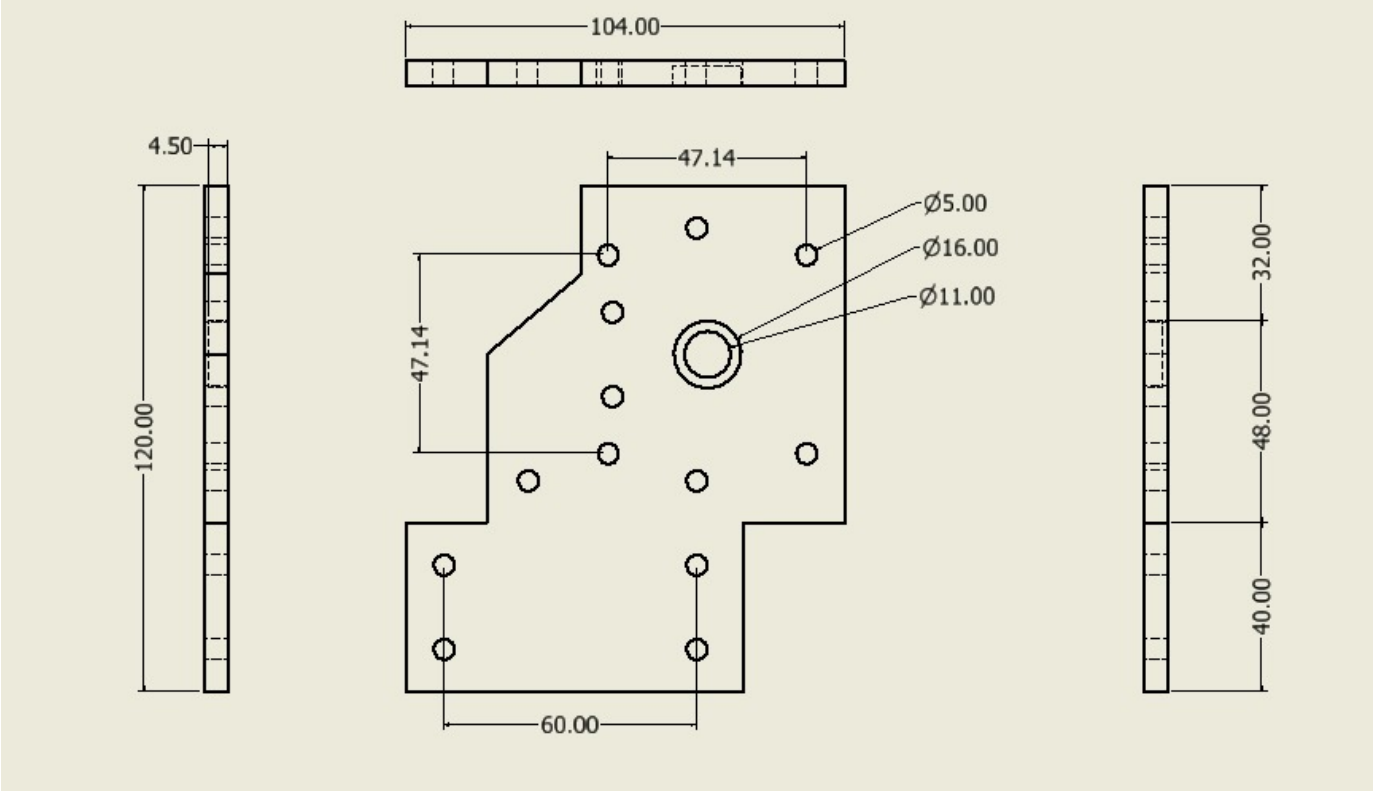


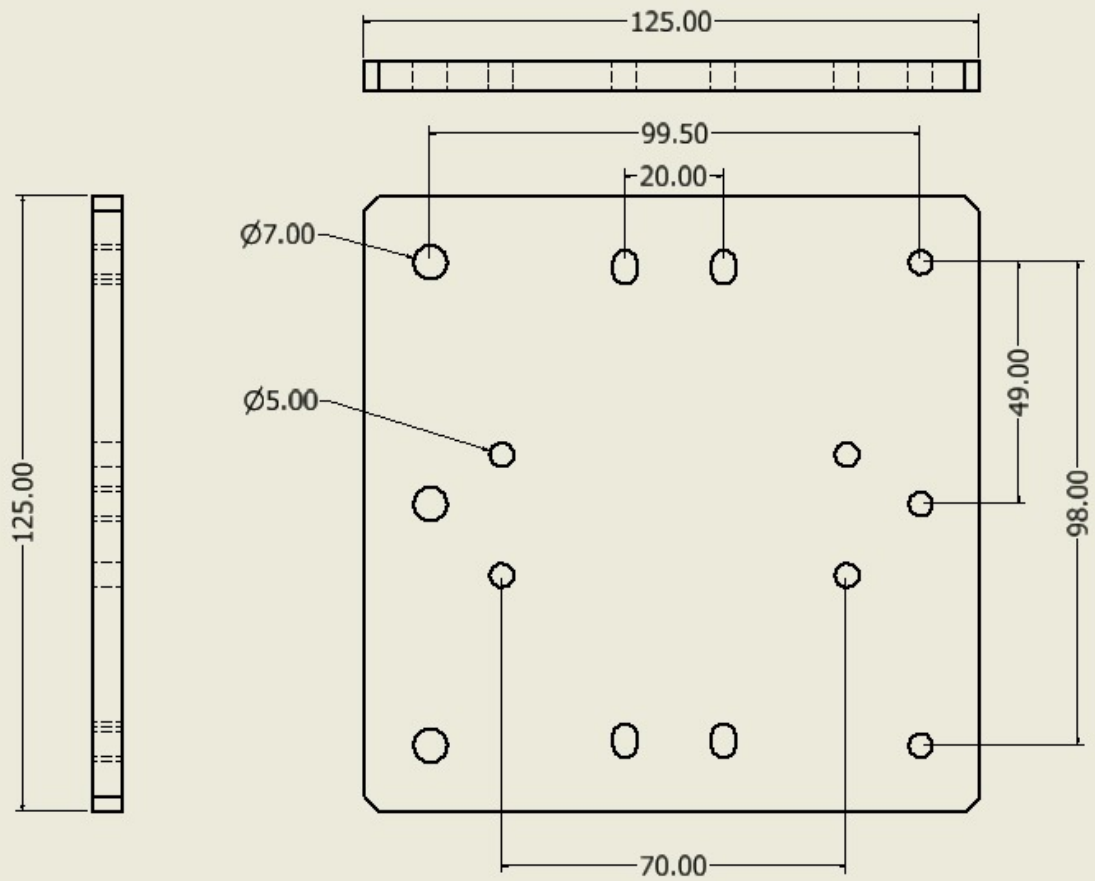


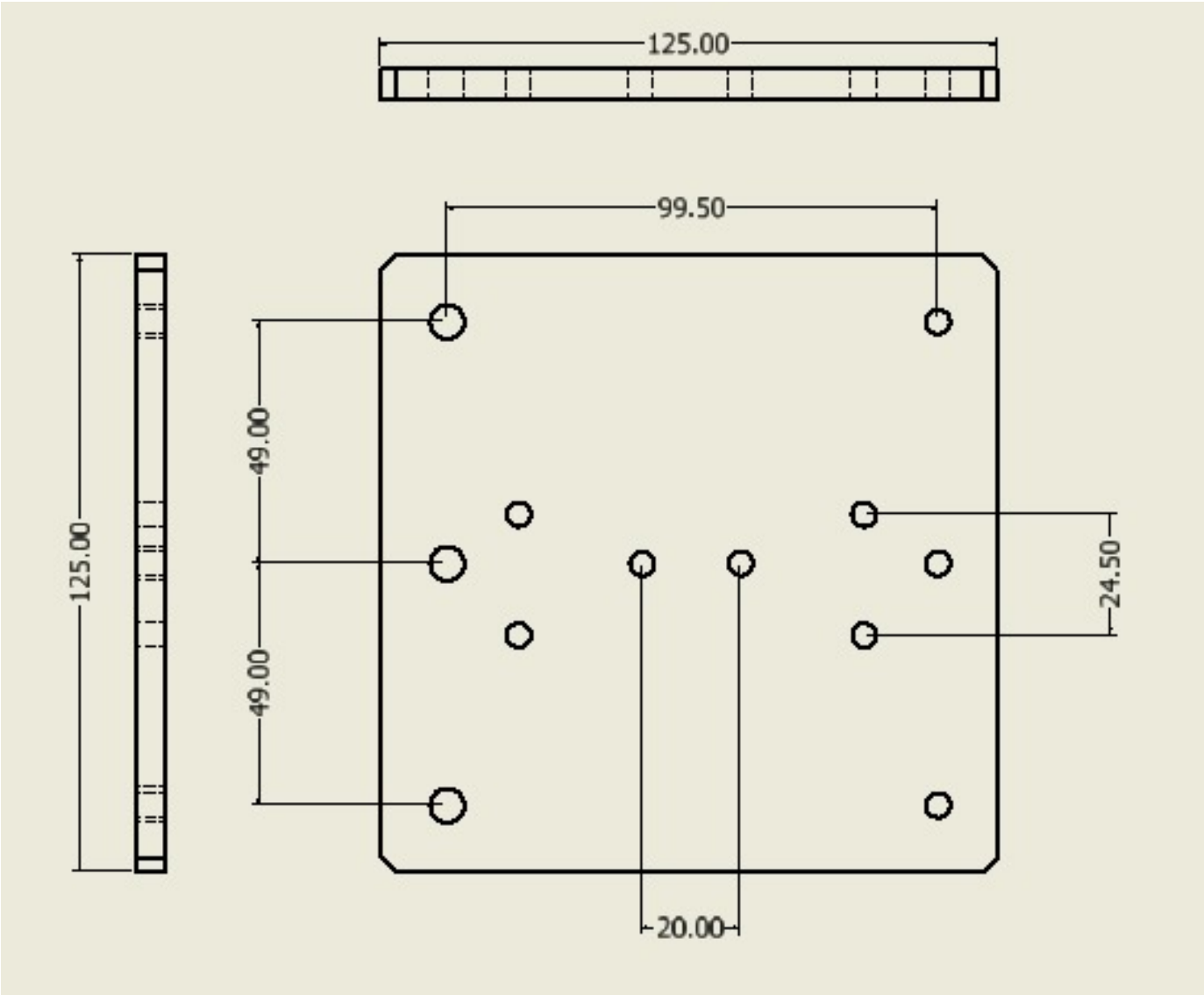


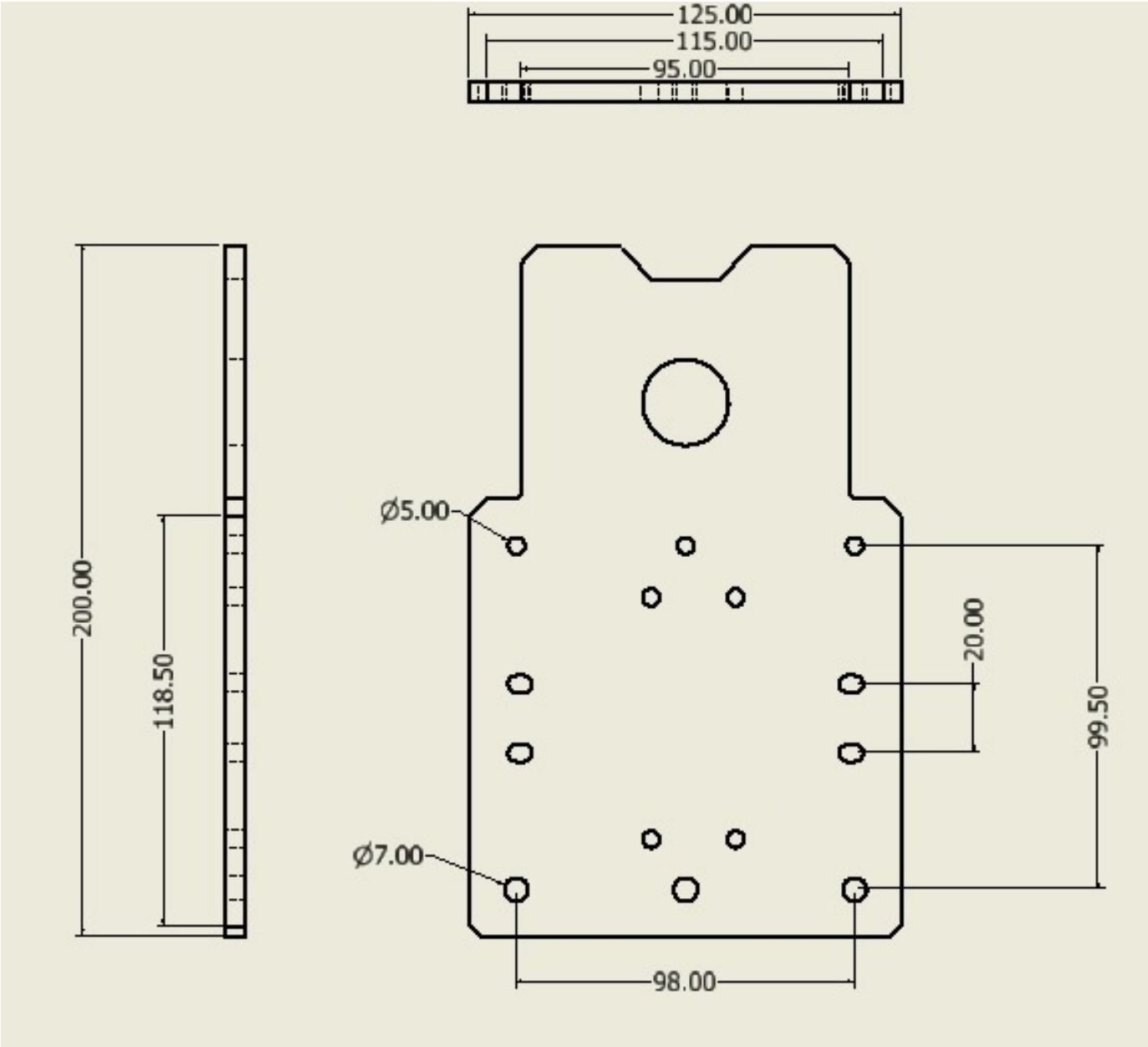


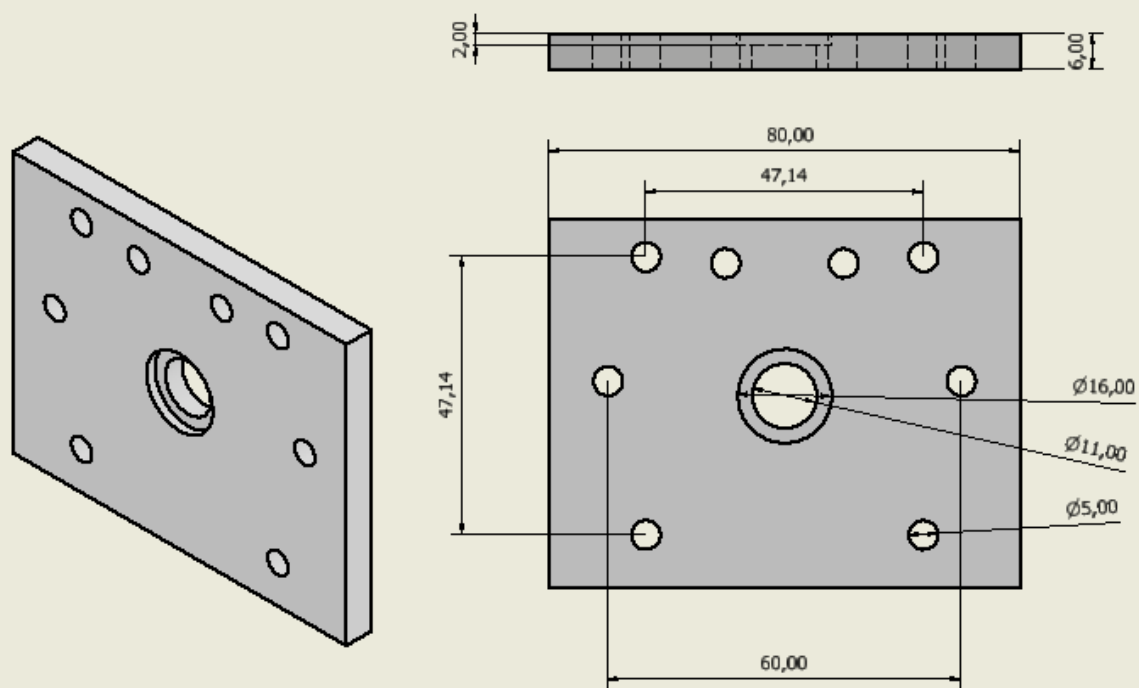


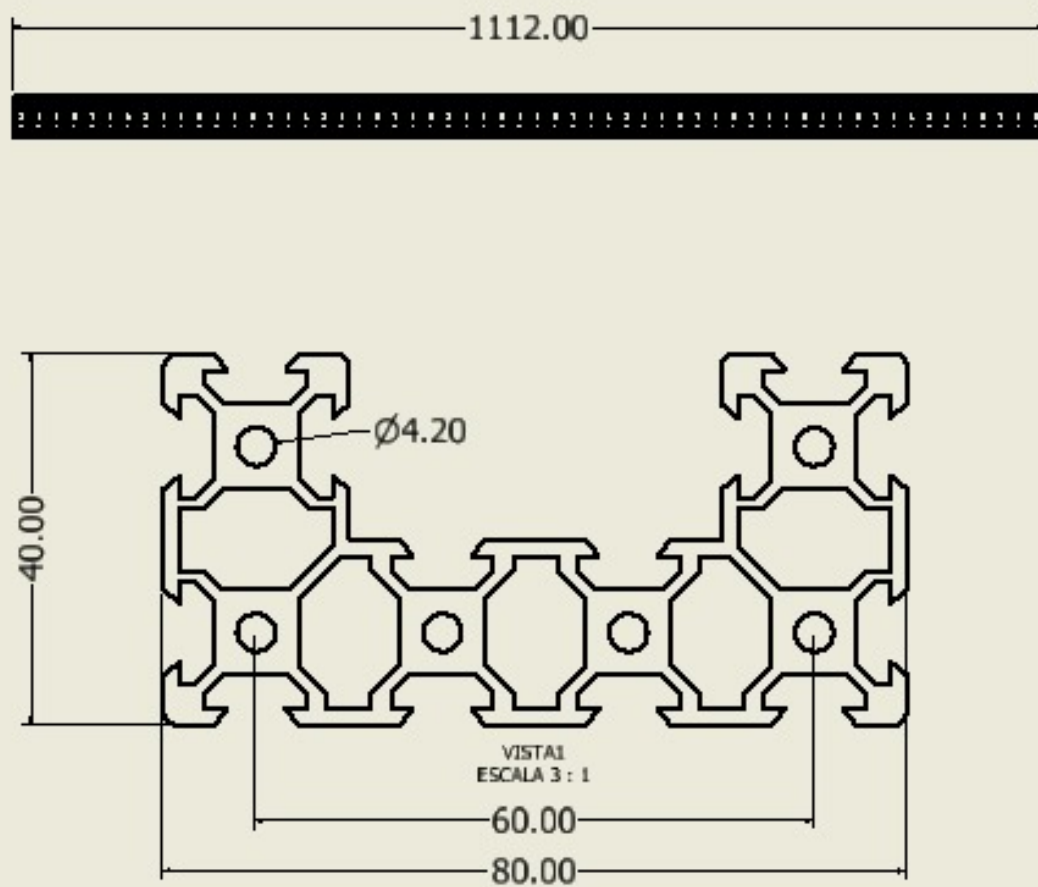












XI-C. Anexo B: Motor Nema23 23HS8430B

Specifications:

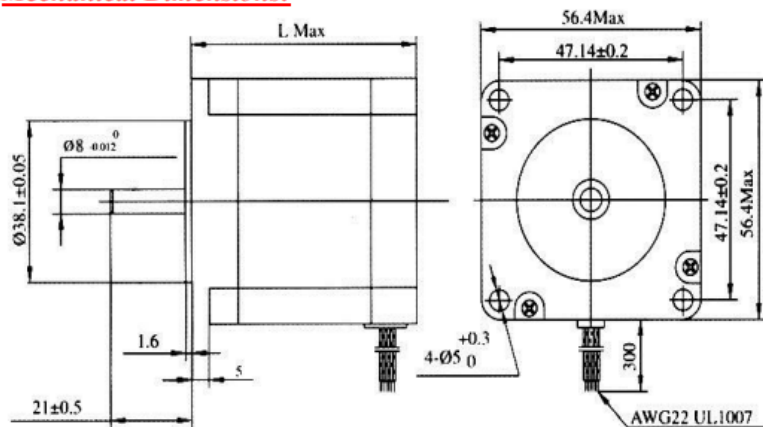
- Step Accuracy: $\pm 5\%$
- Resistance Accuracy: $\pm 10\%$
- Inductance Accuracy: $\pm 20\%$
- Temperature Rise: 80°C MAX.
- Ambient Temperature Range: $-20^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$
- Storage Temperature Range: $-30^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$
- Insulation Resistance: $100\text{M } \Omega$ MIN. 500V DC
- Dielectric Strength: 500V AC 1min
- Radial Play: 0.02mm MAX. (450g Load)
- End Play: 0.08mm MAX. (450g Load)
- Max. Radial force: 75N
- Max. Axial force: 15N



Electrical Specifications:

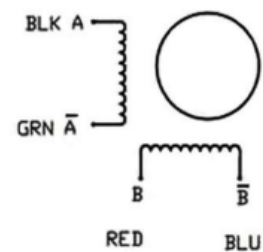
Model	Step Angle ($^{\circ}$)	Motor Length (mm)	Rated Current (A)	Phase Resistance (Ω)	Phase Inductance mH	Holding Torque(MIN) (N.cm)	Detent Torque(MAX) (N.cm)	Rotor Torque (g.cm2)	Lead Wire	Motor Weight (KG)
23HS8430	1.8	76	3.0	1.0	3.5	180	6	440	4	1.05

Mechanical Dimensions:



Wiring:

- Red: A+
- Green: A-
- Yellow: +
- Blue: B-



Pin mark	definition	Note (common-positive wiring method)	Note (Common-negative wiring method)
+5V-S	5V power supply positive terminal	Common positive terminal	Not used
Ground	ground	Not used	Common ground terminal
	Note: Strictly prohibit to directly connect +5V-S with the GND		
Pulse X	X axis pulse	X axis pulse signal negative terminal	X axis pulse signal positive terminal
Direction X	X axis direction	X axis direction signal negative terminal	X axis direction signal positive terminal
Pulse Y	Y axis pulses	Y axis pulse signal negative terminal	Y axis pulse signal positive terminal
Direction Y	Y axis direction	Y axis direction signal negative terminal	Y axis direction signal positive terminal
Pulse Z	Z axis pulse	Z axis pulse signal negative terminal	Z axis pulse signal positive terminal
Direction Z	Z axis direction	Z axis direction signal negative terminal	Z axis direction signal positive terminal
Pulse A	A axis pulse	A axis pulse signal negative terminal	A axis pulse signal positive terminal
Direction A	A axis direction	A axis direction signal negative terminal	A axis direction signal positive terminal

CONT		REDAY	/udisk-sda1/NCTEST/2m	00:00:00
No.	Param Name	Value	Unit	
[Setting of motor]				
33	speed of motor start running	50.000	mm/min	
34	pulse equivalency of X axis	1280.000	pulse/mm	
35	pulse equivalency of Y axis	1280.000	pulse/mm	
36	pulse equivalency of Z axis	1280.000	pulse/mm	
38	pulse equivalency of A axis	640.000		4
39	pulse unit of A axis	pulse/degree		
390	level of X axis DIR signal	High		
391	level of Y axis DIR signal	Low		
392	level of Z axis DIR signal	High		
393	level of A axis DIR signal	Low		
416	time between DIR & pulse	300	ns	
417	width of pulse signal(include	2000	ns	
Main Page		File Page	Param Page	DDCSV1.1@DDREAM

Keys Icon	Function Number	Definition	Notes
	1	Start operation	After correctly loading the G code file, please press this key to start the automatic processing operation. Or at the status of pause, please press this key to recovery the processing operation.
	1	Pause operation	In the process of processing, please press this key to pause the operation.
	1	ESTOP reset	Under the status of reset ("reset "flashing), please press this key to enter the ready condition status; In the status of processing, please press this key to stop processing urgently.
	1	Page switch	Switch the file management page, processing main page and parameter configuration page.
	1	Tool path display switch	Switch the display into coordinate display or tool path tracking display.
	1	Spindle manual start/close	Under the status of ready condition (REDAY), please press this key to manually off/on the spindle. Under the reset status (reset) and processing status (busy), it cannot operate this function.

	3	1: X axis moves left; 2: Cursor moves left; 3: Goto zero function	Under the status of ready condition(REDAY), when you switch the mode into "CONT", the X axis will Continuously move left after pressing this key; When you switch to "step", it will be the left manual step; when you enter status of the processing line editing or the default F/S value modification, this key has the function of cursor left movement; When you start the second function, this key has the goto zero function;
	3	1: X axis moves right; 2: Cursor moves right; 3: X axis select	Under the status of ready condition(REDAY), when you switch the mode into "CONT", the X axis will Continuously move right after pressing this key; When you switch to "step", it will be the right manual step; when you enter the status of the processing line editing or the default F/S value modification, this key has the function of cursor right movement; Under the 3 functions of home/zero-clearing/ gotoz, this key has the X axis select function when you need to start the single-axis operation.
	3	1: Y axis moves forward; 2: Parameter value increases; 3: Y axis select	Under the status of ready condition(REDAY), when you switch the mode into "CONT", the Y axis will Continuously move forward after pressing this key; When you switch to "step", it will be the forward manual step; when you enter the status of the processing line editing or the default F/S value modification, this key has the function of increasing the current value; Under the 3 functions of home/zero-clearing/ gotoz, this key has the Y axis select function when you need to start the single-axis operation.
	3	1: Y axis move backward; 2: Parameter value decreases; 3: Start the current coordinate 0-clearing	Under the status of ready condition(REDAY), when you switch the mode into "CONT", the Y axis will Continuously move backward after pressing this key; When you switch to "step", it will be the backward manual step; when you enter the status of the processing line editing or the default F/S value modification, this key has the function of decreasing the current value; When you start the second function, this key has the current coordinate 0-clearing function;
	3	1: Z axis Plummer block; 2: Z axis select 3: Cancel	Under the status of ready condition (REDAY), when you switch the mode into "CONT", the Z axis will Continuously be uplifted after pressing this key; When you switch to "step", it will be the uplift of manual step; Under the 3 functions of home/zero-clearing/ gotoz, this key has the Z axis select function when you need to start the single-axis operation. When you enter the status of the start line or the F/S default editing or file management page, this key has the function of cancel;
	3	1: Z axis down; 2: Home 3: Enter/select	Under the status of ready condition (REDAY), when you switch the mode into "CONT", the Z axis will continuously be down after pressing this key; When you start the second function, this key has the search machine tool coordinate 0-point function; When you enter the status of the start line or the F/S default editing or file management page, this key has the function of enter or select;

	4	1: A axis rotates in forward direction; 2: A axis select; 3: Parameter increases; 4: F/S default select/cancel	Under the status of ready condition (REDAY), when you switch the mode into "CONT", the A axis will Continuously be rotated in forward direction after pressing this key; When you switch to "step", it will be the rotate in forward direction of manual step; Under the 3 functions of home/zero-clearing/ gotoz, this key has the X axis select function when you need to start the single-axis operation. Under the status of FRO/ SRO/ SJR parameter modification, the current parameter value will increase after pressing this key. When you switch to the status of F or S, this key will select the default value as the effective value or select G code setting value as the effective value;
	4	1: A axis rotates in inversion direction; 2: Probefunction 3: Parameter decreases; 4: F/S default modification	Under the status of ready condition (REDAY), when you switch the mode into "CONT", the A axis will Continuously be rotated in inversion direction after pressing this key; When you switch to "step", it will be the rotate in inversion direction of manual step; Under the status of starting the second function, this key has the probefunction; Under the status of FRO/ SRO/ SJR parameter modification, the current parameter value will decrease after pressing this key. When you switch to the status of F or S, this key will enter the default value editing status after pressing this key;
	2	1:FRO/SRO/SJR/F/ S/G; 2: File copy	Under the processing page and the status of ready condition (REDAY), it will switch to the 8 status of processing parameter FRO/ SRO/SJR/F/S/G soft limit and ready condition; under the processing status(busy), it can only switch to the 3 status of FRO/SROand processing status; Under the file management page, it is the function of copying the current selected files;
	2	1: Second function start 2: File paste	Under the processing page and the status of ready condition (REDAY), it will switch to the 2nd mode status; Under the 2nd mode status, you can press the corresponding pieces to start the 4 functions of home, zero-clearing and gotoz as well as probe; When you press this key again, it will quit; Or some operation can automatically quit the 2nd mode. Under the file management page, it will paste the files which have been copied to the current folder after pressing this key;
	2	1: Mod switch 2: File delete	Under the processing page and the status of ready condition (REDAY), it can switch the manual mode of each axis. Totally there are 3 manual mode, which are "step", "CONT", "MPGpattern"; Under the file management page, it will have the function of deleting the current selected file after pressing this key;

Material(es)

Nombre	Hierro, fundido	
General	Densidad de masa	7,15 g/cm ³
	Límite de elasticidad	758 MPa
	Resistencia máxima a tracción	884 MPa
Tensión	Módulo de Young	120,5 GPa
	Coeficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	46,3462 GPa
Nombre(s) de pieza	BASE DE ESTRUCTURA.ipt	
Nombre	Aluminio 6061	
General	Densidad de masa	2,7 g/cm ³
	Límite de elasticidad	275 MPa
	Resistencia máxima a tracción	310 MPa
Tensión	Módulo de Young	68,9 GPa
	Coeficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	25,9023 GPa
Nombre(s) de pieza	C.ipt placa3b.ipt placa3.ipt base.ipt	
Nombre	Aluminio 6061, soldado	
General	Densidad de masa	2,7 g/cm ³
	Límite de elasticidad	55 MPa
	Resistencia máxima a tracción	62 MPa
Tensión	Módulo de Young	68,9 GPa
	Coeficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	25,9023 GPa
Nombre(s) de pieza	placa1.ipt	

Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	11363500 mm ³	
Masa	45,2385 kg	
Tensión de Von Mises	0,00000000513999 MPa	0,498053 MPa
Primera tensión principal	-0,219376 MPa	0,726022 MPa
Tercera tensión principal	-0,633088 MPa	0,219565 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,00810705 mm
Coeficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-0,330057 MPa	0,277322 MPa
Tensión XY	-0,114019 MPa	0,205265 MPa
Tensión XZ	-0,165548 MPa	0,197422 MPa
Tensión YY	-0,61087 MPa	0,647592 MPa
Tensión YZ	-0,137601 MPa	0,219605 MPa
Tensión ZZ	-0,503093 MPa	0,271664 MPa
Desplazamiento X	-0,00224197 mm	0,00221718 mm
Desplazamiento Y	-0,00134171 mm	0,00129082 mm
Desplazamiento Z	-0,00782291 mm	0,00000955927 mm
Deformación equivalente	0,0000000000000786066 su	0,00000698215 su
Primera deformación principal	-0,00000000505389 su	0,00000831241 su
Tercera deformación principal	-0,0000077356 su	0,000000299977 su
Deformación XX	-0,00000419781 su	0,00000369968 su
Deformación XY	-0,00000220095 su	0,0000039623 su
Deformación XZ	-0,00000319563 su	0,0000038109 su
Deformación YY	-0,00000671509 su	0,00000712558 su
Deformación YZ	-0,00000265615 su	0,00000423911 su
Deformación ZZ	-0,00000583361 su	0,00000251352 su
Presión de contacto	0 MPa	2,5167 MPa
Presión de contacto X	-1,39714 MPa	1,92117 MPa
Presión de contacto Y	-1,31861 MPa	1,44584 MPa
Presión de contacto Z	-1,39945 MPa	2,22821 MPa

Material(es)

Nombre	Hierro, fundido	
General	Densidad de masa	7,15 g/cm ³
	Límite de elasticidad	758 MPa
	Resistencia máxima a tracción	884 MPa
Tensión	Módulo de Young	120,5 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	46,3462 GPa
Nombre(s) de pieza	BASE DE ESTRUCTURA.ipt	
Nombre	Aluminio 6061	
General	Densidad de masa	2,7 g/cm ³
	Límite de elasticidad	275 MPa
	Resistencia máxima a tracción	310 MPa
Tensión	Módulo de Young	68,9 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	25,9023 GPa
Nombre(s) de pieza	C.ipt placa3b.ipt placa3.ipt base.ipt	
Nombre	Aluminio 6061, soldado	
General	Densidad de masa	2,7 g/cm ³
	Límite de elasticidad	55 MPa
	Resistencia máxima a tracción	62 MPa
Tensión	Módulo de Young	68,9 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	25,9023 GPa
Nombre(s) de pieza	placa1.ipt	

Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	11363500 mm ³	
Masa	45,2385 kg	
Tensión de Von Mises	0,00000000070931 MPa	0,449608 MPa
Primera tensión principal	-0,217506 MPa	0,60451 MPa
Tercera tensión principal	-0,627383 MPa	0,217675 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,0079905 mm
Coefficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-0,321223 MPa	0,261697 MPa
Tensión XY	-0,0914698 MPa	0,0993895 MPa

C:\Users\Marcelo\Documents\Inventor\Ensamblaje1 Informe de análisis de tensión 18_2_2025.html

5, 9:33 p.m.

Informe de análisis de la estructura Puente de Izaje

Tensión XZ	-0,18618 MPa	0,176083 MPa
Tensión YY	-0,605371 MPa	0,588777 MPa
Tensión YZ	-0,136123 MPa	0,139752 MPa
Tensión ZZ	-0,448725 MPa	0,25638 MPa
Desplazamiento X	-0,00221737 mm	0,00219818 mm
Desplazamiento Y	-0,00134044 mm	0,00129233 mm
Desplazamiento Z	-0,0077084 mm	0,00000914567 mm
Deformación equivalente	0,000000000000110682 su	0,00000599432 su
Primera deformación principal	-0,00000000187248 su	0,00000676618 su
Tercera deformación principal	-0,00000684722 su	0,000000010481 su
Deformación XX	-0,00000420415 su	0,00000363825 su
Deformación XY	-0,00000176567 su	0,00000191855 su
Deformación XZ	-0,0000035939 su	0,00000339898 su
Deformación YY	-0,0000064714 su	0,00000644394 su
Deformación YZ	-0,00000262764 su	0,00000269768 su
Deformación ZZ	-0,00000521047 su	0,00000262265 su
Presión de contacto	0 MPa	2,79158 MPa
Presión de contacto X	-1,49224 MPa	1,90347 MPa
Presión de contacto Y	-1,18302 MPa	1,09245 MPa
Presión de contacto Z	-1,50191 MPa	2,48898 MPa

XI-F. Anexo D: Interfaz del proyecto

Código G

G21 ; Establecer unidades en milímetros (mm)

G90 ; Establecer posicionamiento absoluto

■ **Movimiento de la 1era carga de 500g**

G0 X0 Y0 Z0 ; Home

G0 Z200 ; Subir la herramienta a 200 mm sobre la pieza

G0 X950 Y950 ; Mover rápido al punto X950, Y950

G1 Z-200 F1 00 ; Bajar la herramienta a Z-200 mm a una velocidad de avance de 200 mm/min

G4 P5000 ; Pause de 5seg

G1 X950 Y950 Z-30 F200 ; Mover al punto X900, Y700, Z-30 mm mientras corta

G0 Z200 ; Subir la herramienta a Z5 mm

■ **Movimiento de la 2da carga de 500g**

G0 X0 Y0 Z0 ; Regresar a la posición de casa”(X0, Y0, Z0)

G0 Z200 ; Subir la herramienta a 200 mm sobre la pieza

G0 X950 Y950 ; Mover rápido al punto X950, Y950

G1 Z-200 F1 00 ; Bajar la herramienta a Z-200 mm a una velocidad de avance de 200 mm/min

G4 P5000 ; Pause de 5seg G1 X950 Y950 Z-30 F200 ; Mover al punto X900, Y700, Z-30 mm mientras corta

G0 Z200 ; Subir la herramienta a Z5 mm

G0 X0 Y0 Z0 ; Regresar a la posición de casa”(X0, Y0, Z0)

■ **Movimiento de la 3era carga de 500g**

G0 X0 Y0 Z0 ; Home

G0 Z200 ; Subir la herramienta a 200 mm sobre la pieza

G0 X950 Y950 ; Mover rápido al punto X950, Y950

G1 Z-200 F200 ; Bajar la herramienta a Z-200 mm a una velocidad de avance de 200 mm/min

G4 P5000 ; Pause de 5seg

G1 X950 Y950 Z-30 F200 ; Mover al punto X900, Y700, Z-30 mm

G0 Z200 ; Subir la herramienta a Z5 mm (finaliza el corte)

■ **Movimiento de la 4ta carga de 1Kg**

G0 X0 Y0 Z0 ; Regresar a la posición de casa”(X0, Y0, Z0)

G0 Z200 ; Subir la herramienta a 200 mm sobre la pieza

G0 X950 Y950 ; Mover rápido al punto X950, Y950

G1 Z-200 F1 00 ; Bajar la herramienta a Z-200 mm a una velocidad de avance de 200 mm/min

G4 P5000 ; Pause de 5seg

G1 X950 Y950 Z-30 F200 ; Mover al punto X900, Y700, Z-30 mm mientras corta

G0 Z200 ; Subir la herramienta a Z5 mm

G0 X0 Y0 Z0 ; Regresar a la posición de casa”(X0, Y0, Z0)

■ **Movimiento de la 5ta carga de 1Kg**

G0 X0 Y0 Z0 ; Regresar a la posición de casa”(X0, Y0, Z0)

G0 Z200 ; Subir la herramienta a 200 mm sobre la pieza

G0 X950 Y950 ; Mover rápido al punto X950, Y950

G1 Z-200 F1 00 ; Bajar la herramienta a Z-200 mm a una velocidad de avance de 200 mm/min

G4 P5000 ; Pause de 5seg

G1 X950 Y950 Z-30 F200 ; Mover al punto X900, Y700, Z-30 mm mientras corta
G0 Z200 ; Subir la herramienta a Z5 mm
G0 X0 Y0 Z0 ; Regresar a la posición de casa”(X0, Y0, Z0)

■ **Movimiento de la 6ta carga de 1Kg**

G0 X0 Y0 Z0 ; Regresar a la posición de casa”(X0, Y0, Z0)
G0 Z200 ; Subir la herramienta a 200 mm sobre la pieza
G0 X950 Y950 ; Mover rápido al punto X950, Y950
G1 Z-200 F1 00 ; Bajar la herramienta a Z-200 mm a una velocidad de avance de 200 mm/min
G4 P5000 ; Pause de 5seg
G1 X950 Y950 Z-30 F200 ; Mover al punto X900, Y700, Z-30 mm mientras corta
G0 Z200 ; Subir la herramienta a Z5 mm
G0 X0 Y0 Z0 ; Regresar a la posición de casa”(X0, Y0, Z0)

XI-G. Anexo D: Tablero de Control

