

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño y construcción de contadora automatizada de electrodos para
ferreteria en Guatemala

Trabajo de graduación presentado por Mabel Andrea Colindres Hurtado
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica
Industrial

Guatemala,

2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



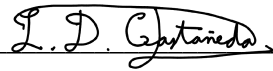
Diseño y construcción de contadora automatizada de electrodos para
ferreteria en Guatemala

Trabajo de graduación presentado por Mabel Andrea Colindres Hurtado
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica
Industrial

Guatemala,

2025

Asesor



Ing. Luis Diego Castañeda

Vo.Bo. Director



Ing. Gustavo Barrera
Ingeniería Mecánica Industrial

Fecha de presentación: Guatemala, 18 de noviembre del 2025..

Prefacio

Gracias a Dios, porque sin Él nada de esto habría sido posible. Su guía, fortaleza y compañía me permitieron culminar esta etapa tan importante de mi vida. Dios me envió a varias personas que fueron fundamentales para guiarme en este camino, gracias a ellas, hoy este proyecto es una realidad.

A mis padres, Víctor Manuel Colindres y Colindres y Mabel Miroslava Hurtado Álvarez de Colindres, por su apoyo incondicional. Gracias por darme la oportunidad de estudiar en la UVG y de cursar la carrera que realmente me apasiona y con la que soy muy feliz. Agradezco profundamente que siempre hayan creído en mí, por su esfuerzo constante y por estar conmigo en todo momento, tanto económica como emocionalmente.

A mi hermano Juan Pablo Colindres Hurtado, por su ayuda en la elaboración de mis planos; su dominio de Inventor Autodesk fue fundamental para este proyecto.

A mi querido perro Rocky, que me acompañó durante once años. Aunque ya no esté conmigo, su compañía fue una gran motivación; gracias a él, nunca me sentí sola.

También agradezco a Perfiles Colindres, por financiar el proyecto y apoyarme desde el inicio, haciendo posible que este trabajo se materializara; a su equipo Manuel y Carlos Hernández.

A mi tío Víctor, mi tía July y Cynthia María, quienes me abrieron las puertas de su casa durante seis años. Son personas increíbles, a quienes aprecio y respeto profundamente.

A Daniel Galindo, por acompañarme en mis momentos de estrés y tenerme siempre una gran paciencia. A mis amigos de UVG, Celeste Solano, Keiry Chang, Amy Toledo y Luis Pablo Salvatierra, quienes hicieron de mi vida universitaria una etapa llena de felicidad, risas y recuerdos que siempre llevaré en el corazón.

Mi agradecimiento para Gustavo Pineda, Nelson Fuentes y quienes me apoyaron en la construcción de la máquina, por darme esa guía que necesitaba, también agradezco a Carlos Hernandez, David Fuentes, Don Homero y Cristian Cano, por su apoyo y disposición durante todo el proceso.

Agradezco sinceramente al Ingeniero Estefan Morales, por su colaboración y asesoría en la programación de todo el sistema, su paciencia y gran corazón fueron de gran ayuda e inspiración. También expreso mi agradecimiento al Ingeniero Luis Diego Castañeda, asesor de este trabajo de graduación, por su orientación para el desarrollo de este proyecto.

Índice

Prefacio	v
Lista de figuras	ix
Lista de cuadros	xi
Resumen	xii
Abstract.....	xiii
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	3
3. Justificación.....	7
4. Objetivos.....	8
4.1 Objetivo generales	8
4.2 Objetivos específicos.....	8
5. Identificación de requisitos.....	9
5.1 Identificación de necesidades	9
5.2 Definición de requisitos.....	10
6. Marco metodológico	13
6.1 Descripción de metodología	13
6.2 Diseño preliminar	13
6.3 Cálculos y diseño.....	17
6.4 Programación.....	34

7. Fabricación.....	36
7.1 Estructura.....	36
7.2 Depósito de electrodo	36
7.3 Discos	37
7.4 Guías para electrodo	38
7.5 Sistema de recolección y almacenamiento	38
7.5 Montaje de chumaceras y motor.....	40
7.6 Conexiones eléctricas	41
8. Resultados.....	43
8.1 Costo y peso de la máquina	43
8.2 Pruebas de funcionamiento y conteo	43
9. Análisis de resultados	49
10. Conclusiones	51
11. Recomendaciones	52
12. Referencias.....	53
13. Anexos	54
Anexo 13.1 Código del programa con Arduino	54
Anexo 13.2. Diagramas eléctricos.....	68
Anexo 13.3. BOM de la máquina	70
Anexo 13.4. Guía para uso del operador	72
Anexo 13.5. Planos de inventor de la máquina	76

Lista de figuras

Figura 1. Espacio para conteo de electrodos en la ferretería de estudio.....	6
Figura 2. Discos contadores, versiones 1 y 2.....	14
Figura 3. Canasta de almacenamiento de electrodos, primera vs segunda versión	14
Figura 4. Canasta de almacenamiento de electrodos, vista inferior.....	15
Figura 5. Cambio de material de la canasta de almacenamiento	15
Figura 6. Placas para liberación de electrodo, versión 1	16
Figura 7. Guía para electrodo con lámina, versión 2	16
Figura 8. Guías para electrodo con cepillo de siza, versión 3	17
Figura 9. Estructura de máquina.....	17
Figura 10. Diseño de discos, guía con cavidades para electrodos	19
Figura 11. Acople para discos.....	20
Figura 12. Eje para discos.....	21
Figura 13. Sistema de depósito de electrodos.....	22
Figura 14. Topes torneados en aluminio.....	22
Figura 15. Dimensiones de pieza “U”	23
Figura 16. Empaquetamiento hexagonal compacto	23
Figura 17. Acople de cadena a “U”	25
Figura 18. Sistema para recolectar electrodos	26
Figura 19. Diseño de máquina.....	26
Figura 20. Acople de “U”	31
Figura 21. Estructura principal	36
Figura 22. Canasta móvil.....	37
Figura 23. Disco para recibir electrodo.....	37
Figura 24. Guía para electrodo con cepillo de siza	38
Figura 25. Fabricación de “U” para sistema de recolección y almacenamiento.....	39
Figura 26. Fabricación de acoples para “U”	39

Figura 27. Soldadura de “U” a acoples.....	39
Figura 28. Sprockets y cadenas del sistema de recolección y almacenamiento.	40
Figura 29. Colocación de chumaceras y motor stepper.	40
Figura 30. Colocación de roldanas para tensar cadenas	41
Figura 31. Sistema de recolección y almacenamiento anclado a cadenas	41
Figura 32. Conexiones eléctricas dentro de cajas plexo	42
Figura 33. Colocación de motores y sensor fotoeléctrico.....	42

Lista de cuadros

Cuadro 1. Comparación de máquinas contadoras industriales para electrodos o inciensos.	5
Cuadro 2. Tiempo de conteo de 11 libras de electrodo de 1/8", 2.15 minutos, velocidad promedio de 76.77 electrodos por minuto.	9
Cuadro 3. Identificación de códigos	10
Cuadro 4. Requisitos.....	10
Cuadro 5. Recursos necesarios	11
Cuadro 6. Dimensiones de electrodo ECA 6013 vs experimentales.	18
Cuadro 7. Materiales utilizados para la canasta de almacenamiento de electrodos	21
Cuadro 8. Pruebas manuales de cantidad de electrodos puestos en la canasta.....	44
Cuadro 9. Tiempos de procesamiento variando cantidad de electrodos ingresados en la canasta móvil.	45
Cuadro 10. Tiempos de procesamiento variando cantidad de electrodos ingresados en la canasta móvil.	46
Cuadro 11. Observaciones del sistema de recolección y almacenamiento.....	47
Cuadro 12. Cumplimiento de requisitos y su razón.....	48

Resumen

En una ferretería en Guatemala, venden paquetes de electrodos de una libra, los más demandados son los de 3/32" y de 1/8". Cada uno se cuenta de forma manual, lo que genera ineficiencias y retrasos en la atención al cliente. Este trabajo presenta el diseño y la construcción de una máquina automatizada para el conteo y la separación de electrodos de 1/8", equivalentes a 15 varillas por libra. Su implementación busca aumentar la velocidad y la precisión del conteo, para mejorar la atención al cliente. Para ello, se diseñó un mecanismo de alimentación y clasificación que asegura la agrupación correcta de los electrodos en paquetes.

Con esta solución, se espera mejorar la productividad de la ferretería, optimizar la gestión del inventario y elevar la satisfacción del cliente. La máquina cuenta con un sistema de alimentación con una canasta movable, un sistema de conteo por medio de un sensor fotoeléctrico y un mecanismo de separación de paquetes, lo que garantiza la disponibilidad inmediata del producto ya contabilizado. Además, se procuró que el equipo fuera de fácil operación y mantenimiento, con posibilidades de adaptación a distintos tipos de electrodos, fortaleciendo así la competitividad de la ferretería mediante la incorporación de nuevas tecnologías.

Palabras clave: automatización, conteo de electrodos, separación de paquetes, sensor fotoeléctrico, máquina automatizada, ferretería, mecanismo de alimentación.

Abstract

A hardware store in Guatemala sells welding electrodes in one-pound packages, with the most in demand sizes being 3/32" and 1/8". Currently, each package is counted manually, which generates inefficiencies and delays in customer service. This work presents the design and construction of an automated machine for counting and separating 1/8" electrodes, equivalent to 15 rods per pound. Its implementation aims to increase the speed and accuracy of the counting process, thereby improving customer service. To achieve this, a feeding and sorting mechanism was designed to ensure the correct grouping of electrodes into packages.

This solution is expected to improve the productivity of the hardware store, optimize inventory management, and enhance customer satisfaction. The machine features a feeding system with a movable basket, a counting system using a photoelectric sensor, and a package separation mechanism, which guarantees the immediate availability of the already-counted product. Furthermore, the equipment was designed for easy operation and maintenance, with the possibility of adapting to different types of electrodes in the future, thus strengthening the hardware store's competitiveness through the incorporation of new technologies.

Keywords: automation, electrode counting, package separation, photoelectric sensor, automated machine, hardware store, feeding mechanism, inventory management.

1. Introducción

En el ámbito de las pequeñas y las medianas empresas del sector ferretero en Guatemala el proceso de conteo y empaquetado de productos representa una actividad esencial para la venta y la atención al cliente. Sin embargo, se realiza de manera manual, lo que genera errores, tiempos improductivos y un uso ineficiente de los recursos humanos. En el caso particular de los electrodos de soldadura, comercializados por libra, la falta de un sistema automatizado de conteo ha ocasionado errores en la cantidad de unidades por paquete y demoras en el despacho de pedidos.

Hoy en día, las ferreterías locales carecen de tecnología adaptada a su escala y necesidades. Las soluciones industriales disponibles en el mercado presentan costos elevados y dimensiones muy grandes. Las máquinas contadoras de electrodos están diseñadas para grandes volúmenes de producción, ocupan amplios espacios de instalación y cuestan Q27,000 o más. Por lo tanto, se identificó la necesidad de desarrollar una alternativa accesible, compacta y eficiente que permita automatizar el conteo de electrodos, que garantice precisión, rapidez y facilidad de uso.

El desarrollo de este proyecto se centra en el diseño y la construcción de una máquina automatizada para el conteo de electrodos de 1/8", con capacidad para procesar cargas de hasta 60 unidades por ciclo. La propuesta integra un sistema de alimentación, conteo, separación y almacenamiento, controlado por un microprocesador Arduino y un sensor fotoeléctrico de alta sensibilidad. La automatización de este proceso optimiza el tiempo operativo y mejora el servicio al cliente.

La investigación parte de un análisis de campo realizado en una ferretería guatemalteca la cual decidió permanecer anónima. Se observaron las limitaciones del proceso actual. Los resultados mostraron que el conteo manual de 11 libras de electrodos de 1/8", requiere en promedio 2.15 minutos, con una velocidad de 76.77 electrodos por minuto. Además, las condiciones de trabajo, caracterizadas por un espacio reducido de 100 x 60 cm y la falta de

ergonomía, dificultan la eficiencia y la precisión en la tarea. A ello se suma el crecimiento proyectado de ventas en un 200 % en los próximos años (Colindres, 2023). Esto refuerza la necesidad de una solución automatizada que permita sostener la productividad ante una mayor demanda.

El diseño del proyecto se estructuró en fases de análisis, diseño, fabricación, programación y validación experimental. Se emplearon herramientas como Autodesk Inventor para el modelado tridimensional y Arduino IDE para la programación del sistema de control. El mecanismo de conteo fue desarrollado con base en un sistema de discos rotatorios con cavidades dimensionadas para el electrodo ECA 6013 de 1/8", controlados mediante motores stepper. El sistema de almacenamiento utiliza piezas en forma de "U" acopladas a una cadena de transporte, que recolectan los electrodos ya contados y los separan en paquetes dependiendo de la cantidad que escoja el usuario.

Durante la etapa de pruebas se evaluaron distintas combinaciones de velocidad del motor y cantidad de electrodos en la canasta de alimentación. Los resultados demostraron que la operación más estable se obtiene a una velocidad de 68 Hz con una carga de 70 electrodos en la canasta de depósito móvil, alcanzando una velocidad promedio de 60 electrodos por minuto y un error promedio del 3%. Además, el costo de fabricación fue de Q3,298.80, significativamente inferior al de las máquinas industriales existentes en otros mercados.

Este proyecto responde a la necesidad de modernizar los procesos de conteo y separación de paquetes en las ferreterías guatemaltecas mediante una solución tecnológica accesible, eficiente y adaptable. La máquina contadora automatizada de electrodos desarrollada contribuye a la reducción de tiempos de operación. Asimismo, su diseño modular y compacto permite trasladarla fácilmente de lugar.

2. Antecedentes

La automatización en el conteo y empaquetado de productos pequeños, como los electrodos de soldadura, ha experimentado un crecimiento de nuevas tecnologías. Sin embargo, la mayoría de las soluciones existentes están diseñadas para grandes industrias, dejando un vacío en el mercado para pequeñas y medianas empresas como ferreterías locales.

Al examinar los sistemas de conteo existentes, se ha encontrado que los sistemas de conteo por peso han sido una de las primeras soluciones automatizadas para el conteo de objetos pequeños. Según la información proporcionada por (PCE INSTRUMENTS 2024), estos sistemas utilizan básculas de precisión para determinar el peso unitario y luego cuentan el lote completo basándose en el peso total. A pesar de su eficiencia para objetos de peso uniforme, presentan limitaciones significativas cuando se trata de productos con variaciones de peso.

En la búsqueda de alternativas más precisas, se tienen los sensores de proximidad, dispositivos esenciales en la automatización industrial. Los sensores inductivos, se especializan en la detección de objetos metálicos, mientras que los capacitivos pueden detectar una variedad más amplia de materiales, pues detectan la presencia de objetos, tanto metálicos como no metálicos, al medir cambios en la capacitancia que se produce cuando un objeto se acerca a la superficie del sensor, pudiendo así detectar hasta líquidos y polvos. Los sensores optoelectrónicos, que utilizan luz infrarroja han demostrado ser versátiles en la detección de objetos no metálicos funcionando mediante la emisión y detección de luz reflejada. (Jimenez, 2023)

En el contexto específico del conteo de electrodos de soldadura, los sensores capacitivos podrían ofrecer una solución prometedora. Su capacidad para detectar objetos metálicos, incluso a través de recubrimientos no conductores, podría ser particularmente útil dado que los electrodos de soldadura típicamente tienen un núcleo metálico con

recubrimiento. Sin embargo, es importante considerar que la precisión de los sensores capacitivos puede verse afectada por variaciones en la composición o el tamaño de los objetos, la humedad y la temperatura detectados, lo que podría requerir una calibración cuidadosa para su uso en el conteo de electrodos (Ma Yu, 2023).

La búsqueda de soluciones más precisas ha llevado a examinar tecnologías utilizadas en industrias con requerimientos similares de precisión y manejo de objetos pequeños. Un área particularmente relevante es la industria farmacéutica, donde el conteo exacto de pastillas es crucial. En este sector, los sensores ópticos han demostrado ser altamente efectivos. Un sistema de conteo equipado con sensores ópticos puede alcanzar una precisión general del 99.87% en el conteo de objetos pequeños, (Adlan, 2015).

Profundizando en los sensores fotoeléctricos, que forman parte del grupo de los sensores ópticos. Funcionan basándose en el principio de que un objeto interrumpe o refleja la luz. A diferencia de los sensores de proximidad, estos no se limitan únicamente a detectar objetos metálicos, lo que les permite identificar prácticamente cualquier tipo de objeto. Además, su tiempo de respuesta es muy veloz, ya que la luz viaja a gran velocidad y no hay operaciones mecánicas involucradas. Gracias a su fino haz de luz, estos sensores pueden detectar objetos con tamaños tan pequeños como 1 mm sin necesidad de que el objeto sea magnético o metálico, (OMRON Corporation, 2024).

Los sensores ópticos fotoeléctricos ofrecen un rango de detección desde unos pocos milímetros hasta varios metros, con un tiempo de respuesta tan rápido como 0.5ms, operando a frecuencias de hasta 5kHz en algunos modelos. Dado que los electrodos no son objetos completamente metálicos y tienen un diámetro de sólo 3.7mm, la precisión en el manejo de elementos tan pequeños es crucial para el sistema de conteo en estudio. Este tipo de sensor podría representar una solución factible.

Se realizó un estudio de mercado para evaluar las soluciones industriales disponibles para el conteo y empaquetado de electrodos y productos similares, como palillos de incienso, que pueden tener características físicas comparables. Las soluciones existentes generalmente están diseñadas para grandes volúmenes de producción, con capacidades que exceden significativamente las necesidades de una ferretería local. La Cuadro 1 resume las máquinas que se encontraron, sus precios, velocidades de conteo y pesos totales.

Cuadro 1. Comparación de máquinas contadoras industriales para electrodos o inciensos.

Modelo	Velocidad de conteo	Peso (Kg)	Precio (quetzales)	Proveedor
DHDS-300	1000-1200 pcs/min	270	27,516.72	Henan Daheng Machinery
DD-600-1	600pcs/min	260	78,175.61	Suzhou deedo machinery
DL-300	300-500 pcs/min	500	52,374.40	Chic Packaging machinery
Welding rod counting	450 pcs/min	150	46,433.68	Horizon Packtech

Nota. Elaboración propia

Todas las máquinas de conteo de incienso y de electrodo usan Sensores Fotoeléctricos de Reflexión Difusa, de Barrera o de reflexión.

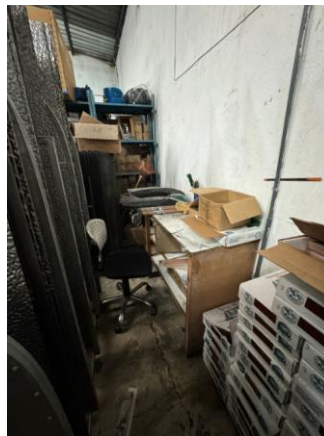
La máquina propuesta debe ser capaz de contar electrodos $\frac{1}{8}$ ", con diámetro exterior de 4.6mm. Los datos de ventas del 2024 de la ferretería de estudio en Guatemala indican un volumen mensual de 138 libras de electrodos de $\frac{1}{8}$ ", distribuidas de lunes a sábado. La libra de electrodo tiene 15 unidades lo que equivale a un total de 2,025 varillas que deben ser contadas mensualmente.

En el análisis de tiempos se encontró que el conteo manual de 11 libras de electrodos requiere en promedio de 2.16 minutos para el de $\frac{1}{8}$ ". El proceso de empaclado consume un tiempo adicional de 4.18 minutos por cada 11 libras. Curiosamente se detectó un error sistemático en el conteo donde se estaban empaclando 16 varillas por libra en lugar de las 15 requeridas, generando pérdidas durante más de un año.

Las entrevistas con el personal revelaron que la responsabilidad del conteo recae en el encargado de transporte, quien dedica entre 4 y 6 horas semanales a esta tarea, realizada de manera intermitente debido a la necesidad de atender otras responsabilidades. "Siempre lo hago con pausas porque salen pedidos y necesito salir", (Carlos, comunicación personal, 9 septiembre del 2024), evidenciando la fragmentación del proceso. Con las proyecciones de crecimiento para los próximos dos años, se anticipa una mayor limitación del tiempo disponible para esta tarea, un crecimiento de venta del 200%, (Colindres, 2023).

Las limitaciones de espacio constituyen otro desafío significativo. El área destinada al conteo de electrodos, con dimensiones de 100 x 60 cm, resulta insuficiente para que los trabajadores realicen su labor cómodamente. La configuración actual impide que los empleados puedan sentarse debido al escaso espacio detrás de ellos y la altura inadecuada de la mesa. Además, la presencia de diversos objetos sobre la superficie de trabajo restringe aún más el espacio disponible, obstaculizando la eficiencia del proceso.

Figura 1. Espacio para conteo de electrodos en la ferretería de estudio.



Nota. Elaboración propia

La combinación de limitaciones de espacio, errores de conteo, presión sobre el tiempo del personal y el crecimiento futuro proyectado de la empresa señala la necesidad crítica de desarrollar un sistema automatizado. Este sistema no solo deberá aumentar la precisión y eficiencia, sino también adaptarse a las limitaciones espaciales y operativas específicas de esta ferretería. La solución ideal tendrá que ser compacta, además de integrarse sin problemas en el flujo de trabajo existente.

3. Justificación

Los clientes, principalmente soldadores locales, solicitan electrodos por libra. Los empleados de la ferretería, en sus tiempos libres, cuentan y empacan los electrodos en cantidades de 15 unidades lo que equivale a una libra de 1/8". Sin embargo, el constante crecimiento de la empresa ha reducido significativamente el tiempo disponible para esta tarea, generando retrasos en la atención al cliente. En ocasiones, debido a la falta producto empacado disponible, los clientes deben esperar mientras se cuentan los electrodos, los cuales se entregan sin empaquetar, sueltos en una bolsa. (Colindres, comunicación personal, 10 de septiembre del 2024).

El conteo y empaquetado manual de electrodos en paquetes de una libra es una práctica laboriosa y propensa a errores humanos, lo que resulta en una variabilidad en el tamaño de los paquetes. También genera retrasos en la atención al cliente debido a la falta de disponibilidad inmediata del producto empacado. Esta práctica tradicional no permite un crecimiento eficiente del negocio. Ante un aumento en la demanda, puede no darse abasto para el conteo y embalaje de los paquetes, lo que ocasionará retrasos en la entrega de pedidos.

Existen contadoras industriales de electrodos diseñadas para grandes producciones (ImanPack, 2023). A diferencia de las grandes industrias, las ferreterías locales requieren soluciones más compactas y económicas. El alto costo y las grandes dimensiones de las contadoras industriales de electrodos las hacen inviables para el uso en ferreterías a escala comercial. Es necesario desarrollar una solución a medida que se adapte a las necesidades específicas de las ferreterías locales.

Se propone desarrollar una solución automatizada de menor escala, que tenga una capacidad de proceso de 60 electrodos por ciclo. Esta máquina permitirá optimizar el proceso de conteo de electrodo en una ferretería local. Además, esta innovación posicionará a la ferretería como una empresa comprometida con la calidad y la eficiencia, mejorando su imagen y satisfacción del cliente.

4. Objetivos

4.1 Objetivo generales

Construir una máquina automatizada que sea capaz de contar electrodo de un diámetro de 1/8 de pulgada.

4.2 Objetivos específicos

- Diseñar un mecanismo capaz de separar al menos 4 paquetes de electrodos simultáneamente.
- Desarrollar un prototipo que alcance una velocidad de conteo de al menos 60 electrodos por minuto.
- Construir una máquina con una capacidad de carga de al menos 75 electrodos por ciclo de producción.
- Verificar que el sistema de conteo automatizado mantenga un margen de error menor al 15 % bajo condiciones controladas de operación.
- Construir una máquina que quepa en un espacio de 1 m³.

5. Identificación de requisitos

5.1 Identificación de necesidades

Para identificar los principales problemas que tenía la empresa, se realizaron entrevistas al personal de la ferretería. Estas permitieron conocer que el conteo manual de electrodos es una de las tareas más tediosas y propensas a errores, lo que genera inconsistencias en el inventario y retrasos en la entrega a los clientes. Hoy en día, la ferretería maneja un volumen mensual de 138 libras de electrodos de 1/8", lo que equivale a un total de 2,070 varillas contadas de manera manual cada mes. Se proyecta que, con la apertura de la nueva sucursal, esta cifra aumente a 6,210 varillas mensuales.

Se realizaron cinco conteos por trabajador de 11 libras de electrodo de 1/8", para evaluar la variabilidad en el tiempo requerido para completar el proceso, (Cuadro 2). El conteo manual requiere aproximadamente 2.15 minutos en promedio por libra de electrodo la cual contiene 15 varillas, esto representa un consumo significativo de tiempo y recursos humanos. Además, la falta de un sistema automatizado genera inconsistencias en la cantidad de electrodos entregados, lo que puede afectar la satisfacción del cliente.

Cuadro 2. Tiempo de conteo de 11 libras de electrodo de 1/8", 2.15 minutos, velocidad promedio de 76.77 electrodos por minuto.

Nombre del trabajador	Electrodo 1/8
Carlos	2.15
Alex	2.14
Calin	2.15
Promedio	2.15

Nota. Elaboración propia

Por medio de las entrevistas realizadas al gerente y visitas de campo, se obtuvieron las dimensiones generales de la máquina y especificaciones de peso y de movilidad para dicha construcción. Con estas, definieron los requisitos para este proyecto.

5.2 Definición de requisitos

Cuadro 3. Identificación de códigos

ID	Significado
CR	Construcción
DI	Dimensiones
PR	Producción

Nota. Elaboración propia

Cuadro 4. Requisitos

Código	Descripción
CR01	Debe ser capaz de recibir mínimo 5 libras de electrodo en el sistema de alimentación.
CR02	Proveer una guía sobre cómo operar la máquina.
CR0	El costo de fabricación de la máquina no debe exceder los Q6,000.
DIM01	La máquina debe ocupar como máximo un espacio de $1 m^3$.
DIM02	La máquina debe de tener un peso total menor a 50 Kg.
DIM03	Debe poder conectarse a una distancia máxima de 2m del tomacorriente.
OP01	La máquina debe ser capaz de poder contar por lo menos 60 electrodos por minuto.
OP0 2	Debe ser capaz de operar con un voltaje de 120V y una frecuencia de 60Hz.
OP03	Debe de ser capaz de separar por lo menos 4 paquetes por ciclo.
OP05	Capaz de contar electrodos con un diámetro de 1/8 de pulgada.

Nota. Elaboración propia

Cuadro 5. Recursos necesarios

Recursos	Etapas
Programas	
Excel y cronometro	Investigación bibliográfica y de campo
Autodesk Inventor	Diseño mecánico
Ultimaker Cura	Prototipado
Inkscape	
Canva	Manual de uso
Materiales	
Arduino	Selección de interfaz
LCD	
MDF	Construcción Prototipo
PLA	
Sensor	
Acero inoxidable	
Cable para conexión a electricidad	Construcción de máquina final
Acrílico	
Máquinas y equipo	
Impresoras 3D	Prototipado
Cortadoras láser	
Fresa	Máquina final
Dobladora de lámina	
Dobladora de acrílico	
CNC	

Recursos	Etapas
Tiempo	
2 semanas de investigación de campo y entrevistas.	Trabajo de campo
4 semanas de diseño de prototipo en inventor.	Diseño de prototipo
5 semanas para construcción del prototipo.	Construcción de prototipo
2 semanas para validar la funcionalidad en la ferretería.	Validación del prototipo
4 semanas de la construcción final ya aplicando los cambios necesarios encontrados.	Diseño de máquina final

Nota. Elaboración propia

6. Marco metodológico

6.1 Descripción de metodología

El diseño y construcción de la contadora automatizada de electrodos se dividió en cinco partes generales; diseño y construcción de la estructura general, sistema de alimentación de electrodo en la canasta móvil, discos contadores (los cuales tienen cavidades para la toma de electrodos), sistema de recolección y separación de electrodos y por último programación del sistema de control.

6.2 Diseño preliminar

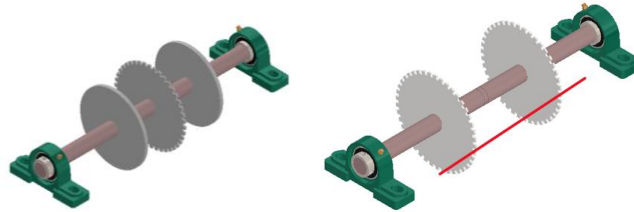
El diseño de la máquina se realizó tomando en cuenta los requisitos mencionados en el capítulo 5. Uno de estos requisitos es que la máquina sea un diseño compacto y que permita operar dentro del espacio disponible en la ferretería sin afectar otras operaciones. La estructura debe de ser independiente, lo que significa que la máquina puede moverse fácilmente sin necesidad de estar anclada a una mesa. Para optimizar costos y facilitar la manufactura, se seleccionaron materiales que se tuvieran a la venta en la ferretería y que pudieran ser trabajados con herramientas de la universidad.

A continuación, se enlistan las modificaciones a partir del diseño preliminar

6.2.1 Cambios a discos

Se realizaron modificaciones en el diseño de los discos contadores. En la versión inicial, el sistema contaba con dos discos lisos y uno con cavidades; sin embargo, durante las pruebas se observó que los electrodos tendían a desplazarse, resbalar y caer torcidos. Para corregir esta situación, se realizó un segundo diseño en el cual ambos discos tienen cavidades, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Discos contadores, versiones 1 y 2.

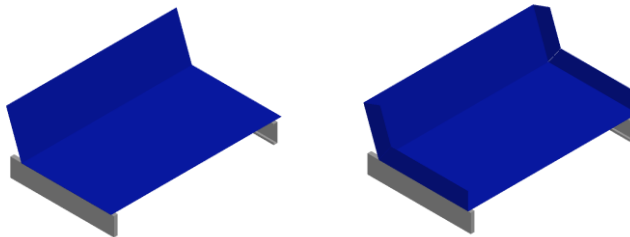


Nota. Imagen adaptada por Autodesk Inventor (2024).

6.2.2 Cambios del sistema de depósito de electrodos

Se modificó el diseño de la canasta móvil incorporando aletas laterales, con el objetivo de sostener y guiar de mejor manera los electrodos. Esta adaptación garantiza que los electrodos se mantengan en la trayectoria correcta y que no se salgan por los costados Figura 3.

Figura 3. Canasta de almacenamiento de electrodos, primera vs segunda versión



Nota. Imagen adaptada por Autodesk Inventor (2024).

Para los soportes que sostienen la canasta de depósito y la conectan a los rieles se empleó inicialmente hierro redondo de $\frac{1}{2}$ de pulgada, pero este material incrementaba de manera significativa el peso de la estructura, por lo que fue remplazado por tubos de acero inoxidable de $\frac{1}{2}$ de pulgada, Figura 4, lo que permitió reducir el peso total.

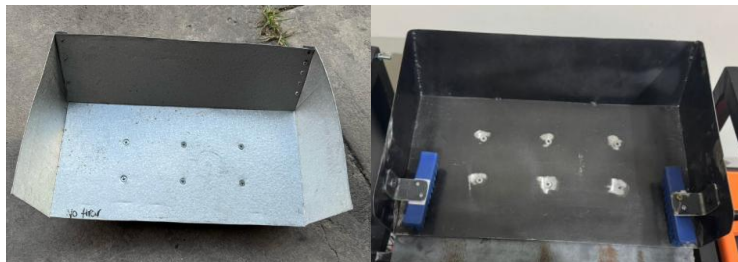
En cuanto al material de la canasta, en un inicio se construyó con lámina galvanizada de 0.38 mm de espesor. Este espesor resultaba muy delgado, hacía que la canasta se pandeara por el peso de los electrodos, provocando que ingresaran de forma incorrecta a los discos. Para solucionar este inconveniente, se fabricó una nueva canasta con lámina de 1.20 mm de espesor, lo que incrementó la rigidez estructural, Figura 5.

Figura 4. Canasta de almacenamiento de electrodos, vista inferior



Nota. Elaboracion propia

Figura 5. Cambio de material de la canasta de almacenamiento



Nota. Elaboracion propia

6.2.3 Cambios de las guías de electrodo

Para asegurar que los electrodos se liberaran de forma controlada y de uno en uno, se fabricaron inicialmente dos piezas adicionales con perfiles planos de 1 pulgada, Figura 6. Estas placas se anclaron a la estructura mediante un perno de $\frac{1}{4}$ de pulgada. Sin embargo, durante las pruebas se observó que los electrodos tendían a cruzarse y trabarse al pasar por la guía, lo que ocasionaba obstrucciones al momento de ingresar en los discos.

Figura 6. Placas para liberación de electrodo, versión 1



Nota. Imagen adaptada por Autodesk Inventor (2024).

Al retirar las placas de liberación de la versión 1, los electrodos se acumulaban en la salida, provocando que ingresaran uno sobre el otro en los discos. Se fabricó una segunda iteración utilizando una lámina más larga que cubría un área mayor, Figura 7. Sin embargo, esta solución tampoco resultó efectiva, ya que los electrodos se quedaban atascados debajo de la guía.

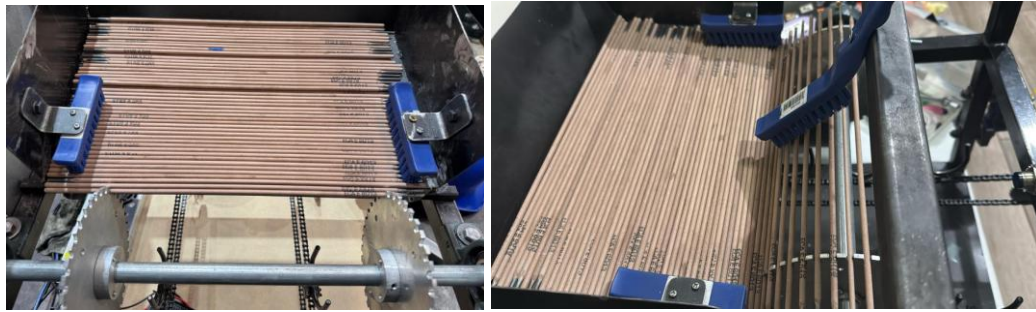
Figura 7. Guía para electrodo con lámina, versión 2



Nota. Elaboracion propia

En una tercera iteración se incorporaron cepillos de siza colocados a los costados de la mesa, Figura 8, con esto se redujo la superposición, ya que los cepillos guían los electrodos. Los cepillos se fijaron con tornillos de rosca, lo que facilita su ajuste o sustitución en caso necesario. Además, se añadió un segundo cepillo en la parte superior, que actúa como filtro adicional; en caso de que un electrodo pase de manera incorrecta por la guía lateral, este cepillo superior lo regresa para que busque su cavidad en el disco.

Figura 8. Guías para electrodo con cepillo de siza, versión 3



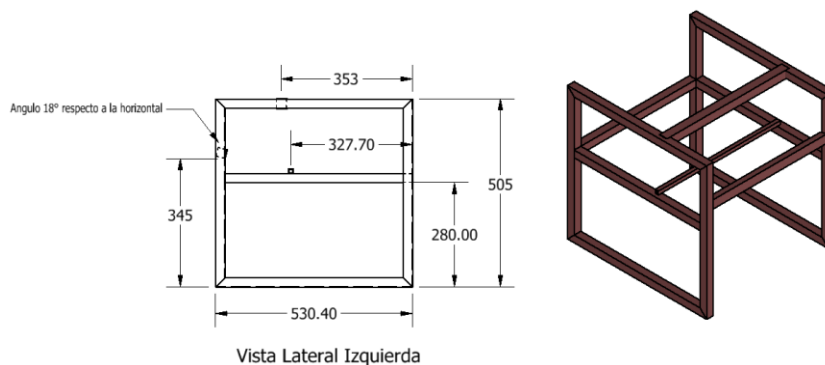
Nota. Elaboracion propia

6.3 Cálculos y diseño

6.3.1 Estructura

La máquina está diseñada para cumplir con ciertas restricciones de tamaño, que especifican un volumen máximo de 1 m³. Sus dimensiones son 49 cm de ancho, 53.4 cm de largo y 50.5 cm de alto, lo que garantiza que sea lo suficientemente compacta para adaptarse al espacio disponible. Está fabricada con tubos cuadrados de hierro negro de chapa calibre 20, de 1 pulgada y chapa calibre 18 de ½ pulgada, esta tubería fue escogida porque es la que se tiene a la venta en la empresa así se cumple con los requisitos estructurales y la disponibilidad de materiales del lugar. Figura 9. Debido a que no están bajo cargas significativas no se le realiza un análisis estructural detallado.

Figura 9. Estructura de máquina.



Nota. Imagen adaptada por Autodesk Inventor (2024).

6.3.2 Diseño de discos

Se diseñaron dos discos que comparten un mismo eje. Cada disco cuenta con cavidades en su perímetro, específicamente dimensionadas para adaptarse al electrodo ECA 6013 de 1/8". Según las especificaciones del fabricante ECA, el diámetro nominal de este electrodo es de 3.2 mm; sin embargo, dicho valor corresponde únicamente al electrodo sin recubrimiento.

En la Cuadro 6, se presentan los valores teóricos y experimentales obtenidos para los electrodos ECA 6013 de 1/8". Se incluyen también las dimensiones del electrodo de 3/32", con el propósito de considerar su posible incorporación en una futura fabricación de discos que permitan el conteo automatizado de este segundo tipo de electrodo.

Cuadro 6. Dimensiones de electrodo ECA 6013 vs experimentales.

Diámetro (in)	Diámetro teórico (mm)	Diámetro experimental (mm)	Largo teórico (mm)	Largo experimental (mm)
3/32	2.4	3.7	350	355
1/8	3.2	4.56	350	355

Nota. Adaptada por ECA electrodos, 2025.

El diámetro de las cavidades en los discos se diseñó con 5 mm de diámetro y 5.39 mm de profundidad, permitiendo que el electrodo encaje perfectamente.

Para calcular cuántas cavidades caben en el disco se realizó el siguiente cálculo:

$$\text{Perímetro} = \pi * d$$

d es el diámetro del disco

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Perímetro} = \pi * 150\text{mm} = 471.23\text{mm}$$

$$\text{Cavidades} = \frac{\text{Perímetro}}{\text{Diámetro cavidad}} = \frac{471.23\text{mm}}{5} / 2 = 47 \text{ cavidades}$$

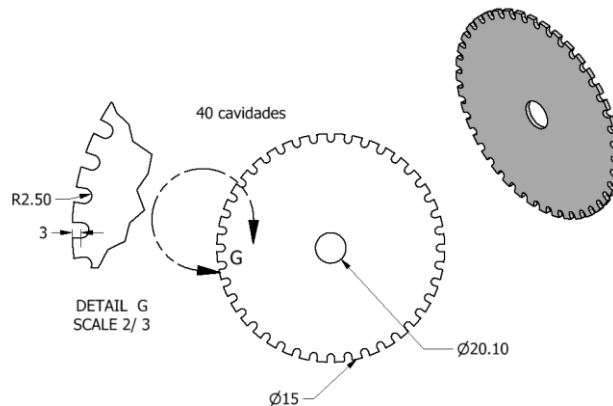
Se calculó que caben 94 cavidades en el perímetro del círculo; sin considerar la distancia entre ellas. Para permitir un espacio entre las cavidades, se divide este número entre 2, lo que resulta en 47 cavidades, dejando una separación de 5 mm entre cada una. Se quiere tener un numero de cavidades par, para que la distancia entre cada una sea un ángulo entero por tema de mecanizado. Por lo tanto, se realizó un nuevo análisis suponiendo que las cavidades tendrían un diámetro de 6 mm, lo que incrementa la separación entre ellas.

$$Cavidades = \frac{Perímetro}{Diámetro\ cavidad\ supuesto} = \frac{471.23mm}{6\ mm} / 2 = 39\ cavidades$$

Con este nuevo cálculo, se obtuvo que caben 39 cavidades; para que la separación entre ellas sea un ángulo par, se diseña con 40 cavidades. La distancia entre cada cavidad es de 9°, (Figura 10. Diseño de discos, guía con cavidades para electrodos

$$\phi = \frac{360^\circ}{Cantidad\ de\ cavidades} = \frac{360^\circ}{40} = 9^\circ$$

Figura 10. Diseño de discos, guía con cavidades para electrodos



Nota. Imagen adaptada por Autodesk Inventor (2024).

Los discos guía se maquinaron en aluminio para realizar las piezas en la CNC de la Universidad del Valle de Guatemala.

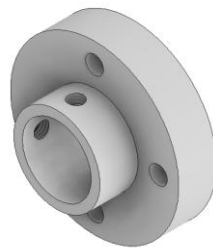
6.3.3 Diseño de eje

El eje que conecta los dos discos guía para los electrodos se fabricó con un tubo redondo de acero inoxidable de $\frac{3}{4}$ de pulgada, seleccionado por su circunferencia más precisa en comparación con el tubo de hierro negro, cuya geometría presenta irregularidades. Este material fue donado por la Universidad del Valle de Guatemala.

Considerando que la longitud de un electrodo es de 355 mm, y el ancho de la máquina es de 49cm, se definió que el eje debía tener una longitud total de 50 cm, con el fin de proporcionar un margen adecuado para la instalación del motor stepper y garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

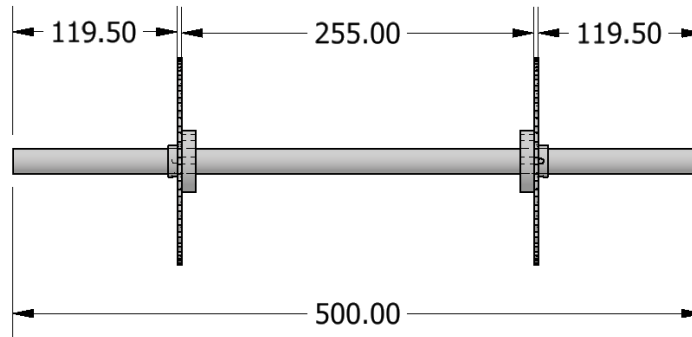
La colocación de los discos se realizó mediante un adaptador fabricado en aluminio, maquinado en el torno de la Universidad del Valle de Guatemala. Este adaptador cuenta con tres orificios roscados que aseguran el disco, así como dos orificios adicionales, también roscados, que permiten fijarlo al eje mediante castigadores, Figura 11. Los discos fueron posicionados a una distancia de 255 mm entre sí como se observa en la Figura 12.

Figura 11. Acople para discos



Nota. Imagen adaptada por Autodesk Inventor (2024).

Figura 12. Eje para discos



Nota. Imagen adaptada por Autodesk Inventor (2024).

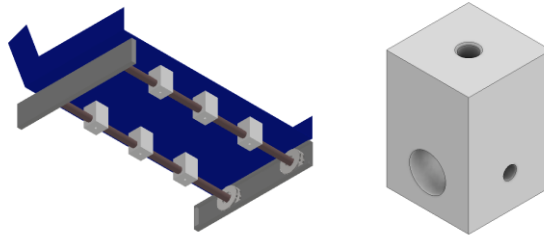
6.3.4 Sistema de depósito de electrodo

En la Figura 13, se muestra el sistema de depósito de los electrodos, el cual consiste en un riel por donde se desplazan cojinetes conectados a los extremos de un tubo redondo de $\frac{1}{2}$ pulgada, los cojinetes están sostenidos por topes torneados en aluminio con un diámetro interno de $\frac{1}{2}$ pulgada, grosor de 8.1 pulgada y un espesor de 2.4 mm, Figura 14. Los tubos se fijan a la canasta por medio de soportes cuadrados, los cuales se encuentran atornillados a la estructura.

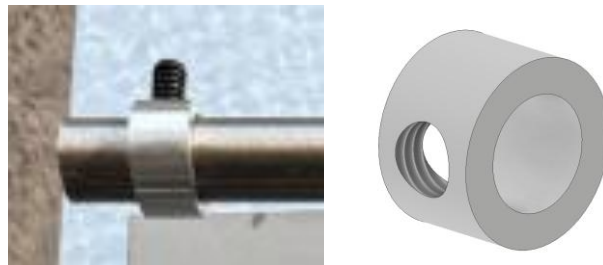
Los soportes cuadrados se maquinarán en aluminio utilizando la fresadora de la Universidad del Valle de Guatemala. Se anclarán al tubo redondo mediante castigadores y se asegurarán a la mesa con tornillos de cabeza plana. Los materiales utilizados se detallan en la Cuadro 7.

Cuadro 7. Materiales utilizados para la canasta de almacenamiento de electrodos

Descripción	Cantidad
Castigadores de 3/16 x 1/4	6
Tornillos cabeza plana 3/16x3/4, rosca ordinaria	6
Cojinetes Dext: 4in, Din: $\frac{1}{2}$ in	4
Riel Unicanal 4X2 in	2

Figura 13. Sistema de depósito de electrodos

Nota. Imagen adaptada por Autodesk Inventor (2024).

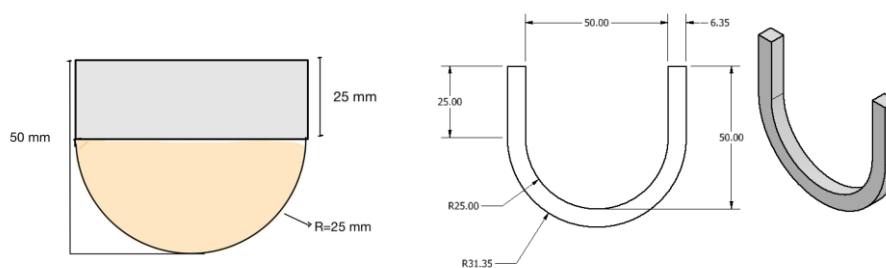
Figura 14. Topes torneados en aluminio

Nota. Imagen adaptada por Autodesk Inventor (2024).

6.3.5 Sistema de recolección y almacenamiento

El área ocupada por una libra de electrodos, equivalente a 15 varillas, observados de perfil, se estima en 242 mm². Para este fin se diseñó la pieza en forma de “U”, Figura 15. El área total disponible dentro de la “U” es de 2,231 mm², lo que sería suficiente para contener hasta 7 libras de electrodos. Sin embargo, debido a que el sistema no está diseñado para soportar tanto peso concentrado en un punto, se tomó como referencia únicamente la parte curva de la “U”, representada en color amarillo en la Figura 15, con un área de 981.7 mm², en la que caben 3 libras de electrodo de 1/8”.

Figura 15. Dimensiones de pieza “U”



Nota. Imagen adaptada por Autodesk Inventor (2024).

Ecuaciones del área ocupada por los electrodos y área de la “U”:

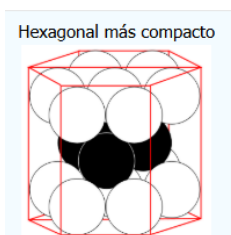
$$\text{Área de un círculo} = \pi * \frac{(d)^2}{4}$$

$$\text{Área de 1 electrodo de } 1/8'' = \pi * \frac{(4.54)^2}{4} = 16.19 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área de 15 electrodos de } 1/8'' = 16.19 * 15 = 242 \text{ mm}^2$$

La configuración hexagonal más compacta (HCP) que se muestra en la Figura 16, es una disposición geométrica en la que esferas o cilindros iguales se colocan de manera que ocupen el máximo espacio posible dentro de un volumen dado, minimizando los espacios vacíos entre ellos. En este arreglo, cada esfera está en contacto con doce vecinas, lo que le confiere un número de coordinación de 12. (Conway, 1993).

Figura 16. Empaquetamiento hexagonal compacto



Nota. LibreTextChemistry

El patrón de apilamiento de capas en este tipo de configuración se representa como ABAB, donde la tercera capa repite la posición de la primera. Este ordenamiento permite alcanzar una eficiencia de empaquetamiento del 74 %, lo que significa que el 74 % del volumen total está ocupado por las esferas y el 26 % restante corresponde a espacio vacío. En aplicaciones prácticas, como el almacenamiento de los electrodos, esta configuración se utiliza como referencia teórica para estimar la capacidad real de almacenamiento de los electrodos dentro de la “U”.

Cálculo el área de toda la “U”

$$\text{Área de la "U"} = (\pi * r^2)/2 + (\text{base} * \text{altura})$$

$$\text{Área de la "U"} = \pi * \frac{(25\text{mm})^2}{2} + (50\text{mm} * 25\text{mm}) = 2,231\text{mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de electrodos que caben} &= \frac{2,231\text{mm}^2}{16.19\text{mm}^2} = 137 \text{ electrodos} * 0.74 = 101 \text{ electrodos} \\ &= 6.7 \text{ libras} \end{aligned}$$

Cálculo del área de la parte curva de la “U”, (marcada con amarillo, Figura 15).

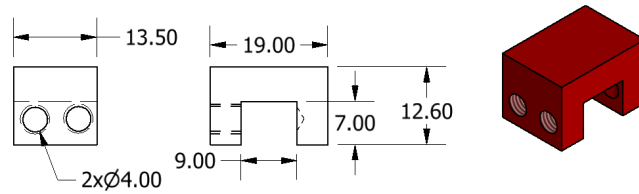
$$\text{Área de la parte amarilla} = \pi * \frac{(25\text{mm})^2}{2} = 981.7\text{mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de electrodos que caben} &= \frac{981.7\text{mm}^2}{16.19\text{mm}^2} = 60 \text{ electrodos} * 0.74 = 44 \text{ electrodos} \\ &= 2.93 \text{ libras} \end{aligned}$$

Cada “U” es capaz de almacenar de manera práctica 3 libras de electrodos. La sección recta de la pieza se diseñó para tener un soporte y evitar que los electrodos se desplacen o salgan del empaque al momento de caer.

Se diseñó un acople para fijar las piezas tipo “U” a la cadena, Figura 16. Dichos acoples fueron maquinados en una fresadora y cuentan con dos orificios roscados que permiten su anclaje a la cadena mediante castigadores. Posteriormente, se soldará en la parte superior del acople a la parte inferior de las “U” utilizando soldadura MIG, con el fin de garantizar una unión firme y un mejor acabado superficial.

Figura 17. Acople de cadena a “U”



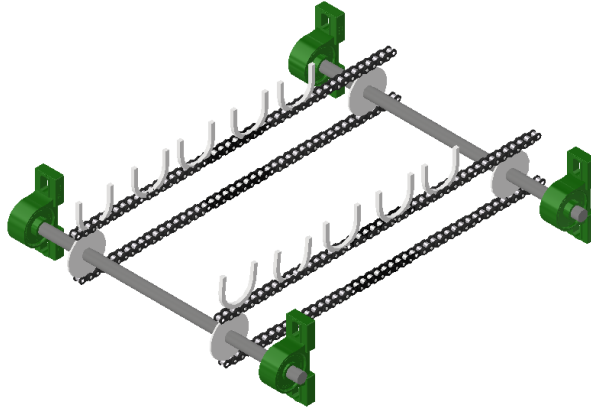
Nota. Imagen adaptada por Autodesk Inventor (2024).

La distancia entre centros de los sprockets del sistema de almacenamiento y transporte se estableció en 510 mm, utilizando sprockets de 60.8 mm de diámetro y una altura de diente de 3.45 mm. Para la selección de la cadena y los sprockets se consideró el espacio disponible en la estructura, adquiriéndose ambos componentes en una venta de repuestos para “Tuc-Tuc”. Se diseñaron dos sistemas iguales que van conectados por medio de un tubo redondo de hierro negro de 3/4 de pulgada de diámetro. Estos tubos estarán conectados a dos chumaceras como se observa en la Figura 18. Al ser piezas de “Tuc-Tuc”, su tamaño pequeño y su resistencia las hacen adecuadas para el propósito del diseño. No se realizó el cálculo de transmisión de potencia, ya que el sistema funciona únicamente como transportador.

El diseño incorpora un sistema de cadenas y sprockets acoplado a una pieza cuadrada que se fija a la cadena mediante dos castigadores y que tiene soldada en su parte superior una “U”. Estas piezas funcionan como contenedores móviles para la recolección y transporte de los electrodos.

Durante el funcionamiento, las cadenas se desplazan de manera sincronizada, arrastrando las piezas tipo “U” que reciben los electrodos una vez contados. Esta configuración asegura que los electrodos se mantengan alineados al momento de la caída, facilitando su recolección ordenada y su traslado hacia la siguiente etapa del proceso Figura 18.

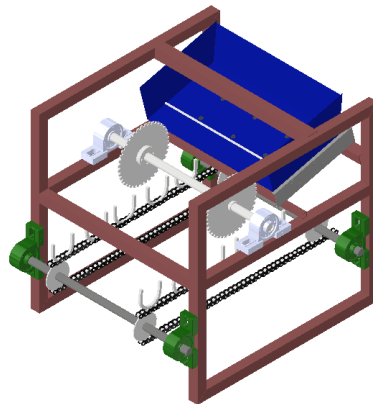
Figura 18. Sistema para recolectar electrodos



Nota. Imagen adaptada por Autodesk Inventor (2024).

6.3.6 Diseño de la máquina completa

Figura 19. Diseño de máquina.



Nota. Imagen adaptada por Autodesk Inventor (2024).

6.6.7 Cálculo de motor para sistema de discos.

Para el cálculo de que motor utilizar para mover el eje de los discos, se calculó el torque y la velocidad a la que tiene que girar el motor para cumplir el requisito de contar 60 varillas por minuto.

Se analizan dos casos posibles:

Caso 1: todas las cavidades del disco se llenan de electrodos.

En este caso, cada vuelta completa del disco cuenta 40 electrodos utilizando una regla de tres se obtiene que el motor debe girar a 1.5 rev/min equivalente a 0.025 hz.

$$\frac{60 \text{ varillas}}{x} = \frac{40 \text{ varillas}}{1 \text{ vuelta}}$$

$$x = 1.5 \frac{\text{rev}}{\text{min}} = 0.16 \text{ rad/seg}$$

$$\text{Velocidad angular caso 1} = 0.16 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

Caso 2: solo la mitad de las cavidades del disco se llenan.

Cada vuelta cuenta 20 electrodos, por lo tanto, con una regla de 3 se obtiene que el motor debe girar a 3 rev/min equivalente a 0.05 hz.

$$\frac{60 \text{ varillas}}{x} = \frac{20 \text{ varillas}}{1 \text{ vuelta}}$$

$$x = 3 \frac{\text{rev}}{\text{min}} = 0.31 \text{ rad/seg}$$

$$\text{Velocidad angular} = 0.31 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

Se calcula la energía cinética rotacional total.

$$E_k = 1/2 \cdot I \cdot \omega^2$$

Formula de inercia para los discos:

Masa de disco con cavidades: 143.1 gramos

Diametro exterior de circulo con cavidades: 0.150m

$$I_{1_disco} = \left(\frac{1}{2} \cdot (m_{disco}) \cdot r^2 \right)$$

Cálculo de energía cinética de un disco:

$$E_{kdisco} = \frac{1}{2} * I_{1_disco} * (w_{motor})^2$$

w_{motor} = Velocidad angular a la que tiene que girar

$$E_k = \frac{1}{2} * \frac{1}{2} * ((0.143kg) \cdot (0.075m)^2) * \left(0.31 \frac{rad}{seg}\right)^2$$

$$E_{kdisco} = 1.93386 \times 10^{-5} J$$

Cálculo de inercia para los electrodos:

Masa de 1 electrodo en promedio: 28.90 gramos

Diametro exterior de un electrodo: 4.5mm

Todos los pesos fueron tomados con una pesa para proporcionar el peso real.

Los electrodos están montados en un disco, pero tienen un eje paralelo al del disco. La técnica para calcular la energía cinética de estos objetos cuando giran sobre ejes paralelos se basa en el teorema de los ejes paralelos de física, que establece que:

$$I_{electrodos} = I_{centro} + md^2$$

Siendo d la distancia radial desde el centro del disco hasta el centro del electrodo,

$$Distancia\ radial = \frac{150}{2} - \frac{4.5}{2} = 72.75\ mm = 0.073\ m$$

$$I_{electrodo} = \left(\frac{1}{2} \cdot (m_{electrodo}) \cdot r^2\right) + md^2$$

$$I_{electrodo} = \left(\frac{1}{2} * (0.0289kg) \cdot (0.00225m)^2\right) + (0.0289kg * (0.0728m)^2)$$

$$I_{electrodo} = 1.53239 \times 10^{-4} kg * m^2$$

Cálculo de energía cinética de un electrodo:

$$E_{kelectrodo} = \frac{1}{2} * I_{electrodos} * \left(0.31 \frac{rad}{seg}\right)^2$$

$$E_k = \frac{1}{2} * 1.53239 \times 10^{-4} kg * m^2 * \left(0.31 \frac{rad}{seg}\right)^2$$

$$E_{kelectrodo} = 7.363 \times 10^{-6} J$$

Cálculo de inercia para el eje:

Masa de tubo del eje: 200 gramos

Diametro exterior del eje: 18mm

Espesor del eje = 1mm

$$I_{eje} = \frac{1}{2} \cdot m_{eje} \cdot (r^2 + (r - e)^2)$$

$$I_{eje} = \frac{1}{2} * 0.20kg \cdot ((0.009m)^2 + (0.009m - 1 \times 10^{-3}m)^2)$$

$$I_{eje} = 1.45 \times 10^{-5} kg * m^2$$

Cálculo energía cinética del eje

$$E_k = \frac{1}{2} * I_{eje} * (\omega_{motor})^2$$

$$E_k = \frac{1}{2} * 1.45 \times 10^{-5} kg * m^2 * \left(0.31 \frac{rad}{seg}\right)^2$$

$$E_{keje} = 6.96725 \times 10^{-7} J$$

Cálculo energía cinética total:

La energía cinética de los electrodos se multiplica por 10, suponiendo que hay 10 electrodos en el disco al mismo tiempo y la energía cinética de los discos se multiplica por 2 porque son dos discos.

$$E_k = E_{kdisco} * 2 + E_{kelectrodo} * 10 + E_{keje}$$

$$E_{ktotal} = 1.93386 \times 10^{-5} J * 2 + 7.363 \times 10^{-6} J * 10 + 6.96725 \times 10^{-7} J$$

$$E_{ktotal} = 1.1300 \times 10^{-4} J$$

Teniendo la energía cinética del sistema podemos obtener el torque necesario del motor para moverse entre cavidades de electrodos.

$$T = \frac{E_k}{\phi} = \frac{1.1300 \times 10^{-4} J}{2 * \pi / 40}$$

$$T = 7.1938 \times 10^{-4} Nm$$

Teniendo este torque se escoge un motor stepper el cual cumpla con este requisito, el motor escogido es el Motor Nema 17 de 23mm, con un torque de 0.13Nm.

6.6.8 Cálculo del motor requerido para el sistema de recolección y almacenamiento

El peso máximo que va a mover el motor al mismo tiempo son 9 lb, lo que equivale a 3 paquetes de 3lb cada uno. La fuerza que tiene que hacer el motor es la fuerza que tiene que hacer para romper la fricción entre el sprocket y la cadena. Sabiendo esto se obtienen los pesos de todos los componentes de este sistema para luego calcular cuanta es la fricción que tiene que romper. Pasando de lb a kg para luego obtener el peso en N

Peso real de los electrodos:

El peso de 9 libras de electrodo que equivale a 135 electrodos de 1/8 de pulgada, sabiendo que la masa de un electrodo en promedio es de 28.90 gramos, este dato fue tomado con pruebas pesando 50 electrodos en una báscula. Teniendo este dato se saca el peso de las 135 varillas de electrodo.

$$m_{electrodos} = 135_{electrodos} * 0.0289 kg = 3.90 kg$$

$$Peso_{electrodo} = 3.90kg * 9.8 \frac{m}{s^2} = 38.23N$$

Se utilizaron cuatro cadenas con un peso individual de 0.2 lb, las cuales se unirán para alcanzar la longitud necesaria del sistema. Para el cálculo del peso total, se convierte la masa a unidades del Sistema Internacional.

$$m_{4cadenas} = \frac{0.2lb}{2.205} = 0.09kg$$

$$Peso_{1 cadena} = 0.09 kg * 9.8 \frac{m}{s^2} = 0.88N$$

Peso teórico de los sprockets:

Cada sprocket tiene un diámetro exterior de 67.7mm y un espesor de 3.5mm.

Considerando la densidad del acero $\rho = 7,850 \frac{kg}{m^3}$, se obtiene:

$$m = \rho V$$

$$V_{\text{volumen disco}} = \pi(D/2)^2 t$$

$$V_{\text{volumen disco}} = \pi(0.0677 \text{ m}/2)^2 * 3.5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$V_{\text{volumen disco}} = 1.26 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$m_{\text{sprocket}} = 7,850 \frac{kg}{m^3} * 1.26 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$m_{1\text{sprocket}} = 0.0989 \text{ kg}$$

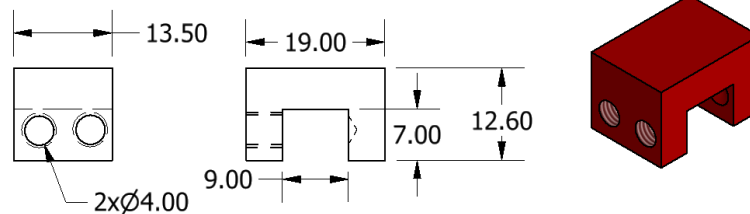
$$Peso_{\text{sprockets}} = 0.0989 \text{ kg} * 9.8 \frac{m}{s^2} = 0.969 \text{ N}$$

Peso teórico de los acoples tipo “U”:

Para fijar las piezas tipo “U” a la cadena se fabricaron acoples maquinados en acero, Figura 20. Cada uno cuenta con dos orificios roscados para sujeción mediante castigadores.

Considerando la densidad del acero $\rho = 7,850 \frac{kg}{m^3}$, se obtiene el peso de un acople en Newtons.

Figura 20. Acople de “U”



Nota. Imagen adaptada por Autodesk Inventor (2024).

Volumen del rectángulo completo:

$$Volumen_{\text{acomple "U"}} = \text{Largo} * \text{Ancho} * \text{Alto}$$

$$Volumen_{\text{acomple "U"}} = (19 * 13.5 * 12.60) \text{ mm}^3$$

$$Volumen_{\text{acomple "U"}} = 3,231.9 \text{ mm}^3$$

$$Volumen_{parte\ de\ acople\ a\ cadena} = (9 * 7 * 13.50) = 850.5mm^3$$

$$Volumen_{acomple"U"total} = 3,231.9 - 850.5 = 2,381.4mm^3$$

$$m_{1acopleU} = 7.850 \times 10^{-6} \frac{kg}{mm^3} * 2,381.4mm^3 = 0.0187kg$$

$$m_{1acopleU} = 0.0187kg$$

$$Peso\ acople\ U = 0.0187kg * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$Peso\ acople\ U = 0.183N$$

Peso teórico de las piezas tipo "U":

Cada pieza "U" se fabricó a partir de una varilla de ¼ de pulgada, 6.35 mm de diámetro y 138 mm de longitud.

$$Area\ de\ la\ sección\ circular = \frac{\pi * (6.35mm)^2}{4} = 31.67\ mm^2$$

$$Volumen_{"U"} = Area * Largo$$

$$Volumen_{"U"} = 31.67\ mm^2 * 138\ mm$$

$$Volumen_{"U"} = 4,370.46\ mm^3$$

$$m_{"U"} = 7.850 \times 10^{-6} \frac{kg}{mm^3} * 4,370.46mm^3$$

$$m_{1acopleU} = 0.034kg$$

$$Peso\ "U" = 0.034kg * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$Peso\ U = 0.333N$$

Peso del eje:

El tubo que conecta los sprockets y se apoya sobre las chumaceras fue pesado directamente, su masa fue 0.244 kg, equivalente a un peso de 2.39N

Considerando el peso de todos los componentes y suponiendo que el sistema tiene capacidad de movilizar 9 libras equivalente a 38.23 N de electrodos, se obtuvo lo siguiente:

$$\text{Peso Total} = \text{Peso 9lb de Electroodos} + 4 * \text{Peso cadena} + 4 * \text{Peso sprocket} + 10 * \text{Peso acople U} + 10 * \text{Peso "U"}$$

$$\text{Peso Total} = 38.23N + 4 * 0.88N + 4 * 0.969 N + 10 * 0.183N + 10 * 0.336N$$

$$\text{Peso Total} = 50.82 N$$

El coeficiente de fricción es el del metal del sprocket con el metal de la cadena, este es de 0.25 (Martin Sprocket & Gear, 2020, p. 180).

$$\text{Fricción} = \text{Coeficiente} * \text{Normal}$$

$$\text{Fricción} = 0.25 * 50.82N$$

$$\text{Fricción} = 12.70 N$$

6.6.9 Cálculo de la velocidad del sistema de recolección y transporte

La distancia entre las piezas tipo “U” se estableció en 104.4 mm, correspondiente a una separación de siete eslabones de la cadena. Esta distancia garantiza un adecuado espacio entre contenedores para el desplazamiento y llenado de los electrodos.

Se tomó un tiempo de 1 segundo para mover la cadena de un espacio al siguiente:

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Distancia}}{\text{tiempo}}$$

$$\text{Velocidad} = \frac{0.1044 m}{1 seg}$$

$$\text{Velocidad} = 0.1044 \frac{m}{s}$$

6.6.7 Torque necesario para mover el sistema de recolección y transporte

El sprocket tiene un diámetro de 67.7 mm, por lo que el radio es 33.85mm. Teniendo la fuerza de fricción el torque requerido para vencer la fricción es:

$$\text{Torque} = \text{Fuerza de fricción} * \text{Distancia}$$

$$\text{Torque} = 12.70N * 0.03385m$$

$$\text{Torque} = 0.43Nm$$

Teniendo este torque se escoge un motor stepper el cual cumpla con este requisito, el motor escogido es el Motor de pasos Nema 23 de 56mm, con un torque de 1.2 Nm, esto por su disponibilidad en el mercado sin embargo podría utilizarse un Motor stepper Nema 17 con un torque de 0.59Nm.

6.4 Programación

Para la programación se utilizó Arduino, y los siguientes materiales

- Sensor Óptico HG-J18-D50N3.
- Arduino Mega 2560 R3.
- 2 Drivers de motor de pasos TB6600.
- 1 Motor de pasos Nema 17 84onz.in.
- 1 Motor de pasos Nema 17 de 23mm, 0.13Nm.
- Fuente de alimentación conmutada 12V/30Amperios.
- Relé biestable 12V.
- Teclado cuadrado alfanumérico de 4x4.
- 2 potenciómetro de 1K Ohm.
- Pantalla LCD 2004, azul con I2C.
- Jumpers.
- Bornera de 5A.

El código que se utilizó se encuentra en el Anexo 1 y las conexiones eléctricas del Arduino en el Anexo 2.

6.4.1 Lógica del funcionamiento del código

El funcionamiento del código inicia con la visualización del mensaje “Ingrese Electrodo*Paquetes” en la pantalla principal, solicitando al usuario que introduzca la cantidad de electrodos deseada por paquete. En caso de que se ingrese un valor incorrecto al inicio, este puede borrarse pulsando la tecla “**B**”. Una vez ingresado el valor deseado, se presiona la tecla “**A**” para comenzar el proceso.

El primer motor, acoplado al eje de los discos, se activa y pone en movimiento el sistema de discos. A medida que los discos giran, recogen los electrodos en sus cavidades y, al completar media vuelta, los liberan hacia el sistema de recolección. Cada vez que un electrodo cae del disco, el sensor óptico lo detecta como un cambio de estado, incrementando el conteo en el sistema. Al completar el número de electrodos establecidos para un paquete, el primer motor se detiene durante un segundo; durante este intervalo, se activa el segundo motor, que permite el desplazamiento del sistema de recolección tipo “U” hacia la siguiente posición, iniciando así el llenado del siguiente paquete.

El programa tiene un paro de emergencia y reinicio el cual se activa presionando la tecla “**C**”, con esta acción se para la máquina y muestra un mensaje en la LCD para continuar con un reinicio. Si se desea confirmar el reinicio se presiona la tecla “**C**” y el sistema regresará a su posición inicial reiniciando el programa; si se desea continuar sin interrupciones, se pulsa la tecla “**A**”.

Una vez se han contado todos los paquetes definidos por el usuario, la pantalla LCD muestra un mensaje para mover un último espacio el último paquete con la tecla “**D**”, al presionarla el programa muestra un resumen indicando la cantidad total de paquetes y electrodos procesados. El usuario tiene que presionar “**A**” para iniciar un nuevo ciclo, regresando a la pantalla inicial.

7. Fabricación

7.1 Estructura

La fabricación de la máquina se dividió en distintas fases según cada módulo del sistema. En primer lugar, la estructura principal se construyó con tubos cuadrados de 1 pulgada, de chapa calibre 20, utilizando soldadura MIG, debido a que esta técnica proporciona un mejor acabado superficial en materiales delgados, Figura 21.

Figura 21. Estructura principal



Nota. Elaboración propia

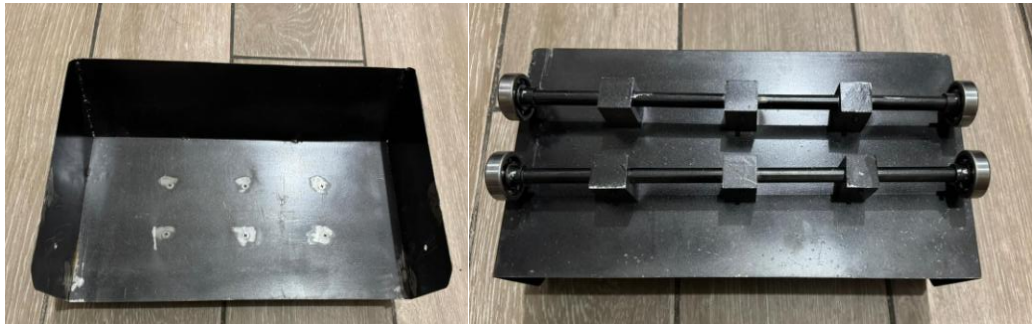
7.2 Depósito de electrodo

La canasta móvil fue fabricada con una lámina de 1.20 mm de espesor, donada por la ferretería donde se realizó el análisis. Los cubos de aluminio que sostienen la mesa se cortaron con tronzadora y fueron maquinados en la fresadora. Se les realizaron agujeros y roscas para el montaje de la canasta móvil mediante tornillos de cabeza plana hacia la lámina, así como agujeros laterales para anclar los cubos a los tubos mediante castigadores Figura 22.

Adicionalmente, se fabricaron topes maquinados en torno, con orificios roscados para colocar castigadores de 4 mm, encargados de fijar los cojinetes en los extremos.

La canasta móvil se montó sobre rieles de 2x4 pulgadas soldados a la estructura, lo que garantiza un desplazamiento estable, alineado y resistente al peso de los electrodos.

Figura 22. Canasta móvil



Nota. Elaboración propia

7.3 Discos

Los discos contadores se elaboraron en una lámina de aluminio de 3 mm de espesor, proporcionada por la Universidad del Valle de Guatemala. Estas piezas se mecanizaron en una fresadora CNC, luego de probar su diseño en MDF para validar las dimensiones y el correcto funcionamiento del sistema Figura 23.

Figura 23. Disco para recibir electrodo



Nota. Elaboración propia

7.4 Guías para electrodo

Durante el desarrollo se realizaron varias iteraciones en el diseño de las guías de entrada de los electrodos, con el objetivo de evitar que se montaran unos sobre otros al ingresar en el disco. El diseño final incorporó un cepillo de siza fijado mediante un tornillo roscado de 5 mm, el cual se sujeta a un tubo cuadrado ajustable mediante pernos de ½ pulgada. Este tubo posee un soporte soldado en sus extremos, con orificios que permiten ajustar la inclinación del cepillo, facilitando su calibración, Figura 24.

Figura 24. Guía para electrodo con cepillo de siza

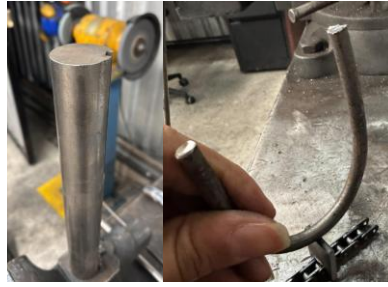


Nota. Elaboración propia

7.5 Sistema de recolección y almacenamiento

Para este módulo se fabricaron las piezas tipo “U”, encargadas de recibir y separar los electrodos contados por paquetes. Estas se elaboraron con una varilla de ¼ de pulgada, doblada alrededor de un eje de 50 mm de diámetro, dando forma a las “U” de manera uniforme. Posteriormente, se cortaron y enderezaron para estandarizar sus dimensiones Figura 25.

Figura 25. Fabricación de “U” para sistema de recolección y almacenamiento



Nota. Elaboración propia

Los acoples para unir las “U” a la cadena se maquinaron en fresa, realizando roscas de 4 mm para su anclaje, Figura 26.

Figura 26. Fabricación de acoples para “U”



Nota. Elaboración propia

Se realizaron pruebas de soldadura TIG, ya que las áreas de unión eran pequeñas. Tras comprobar la calidad del cordón, se soldaron todas las “U” a sus respectivos acoples, Figura 27.

Figura 27. Soldadura de “U” a acoples



Nota. Elaboración propia

Las cadenas y sprockets, adquiridos en una venta de repuestos de mototaxis, la cadena tiene una longitud de 58 cm y el sprocket un diámetro de 67.2 mm. Para alcanzar la longitud total requerida, se utilizaron dos cadenas por lado (cuatro en total) y cuatro sprockets. Los sprockets se soldaron a los tubos con una separación de 18 cm entre ejes y 15 cm desde los bordes laterales, como se muestra en la Figura 28.

Figura 28. Sprockets y cadenas del sistema de recolección y almacenamiento.

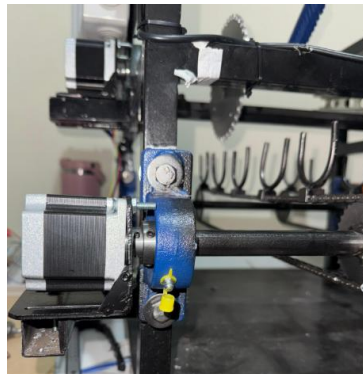


Nota. Elaboración propia

7.5 Montaje de chumaceras y motor

Los tubos que conectan los sprockets se soportaron mediante chumaceras tipo 204, adecuadas para ejes de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Estas se fijaron a la estructura a una altura de 18 cm desde la base, añadiendo un refuerzo de tubo cuadrado para sostener el motor stepper, como se observa en la Figura 29.

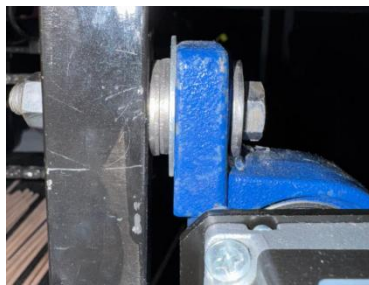
Figura 29. Colocación de chumaceras y motor stepper.



Nota. Elaboración propia

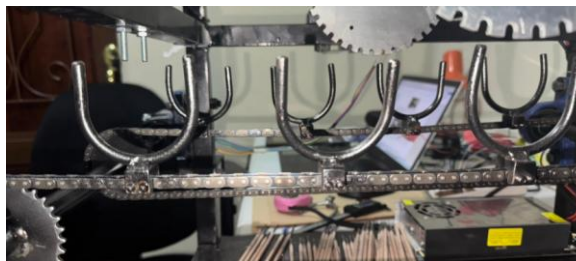
La tensión de las cadenas se logró mediante roldanas colocadas en los pernos de las chumaceras Figura 30. Se colocaron en total 4 roldanas para tensar las cadenas. Una vez tensadas, se colocaron los soportes tipo “U” anclados a la cadena con castigadores, con una separación de siete eslabones entre cada una, asegurando que los electrodos cayeran correctamente en su contenedor, Figura 31.

Figura 30. Colocación de roldanas para tensar cadenas



Nota. Elaboración propia

Figura 31. Sistema de recolección y almacenamiento anclado a cadenas



Nota. Elaboración propia

7.6 Conexiones eléctricas

Las conexiones eléctricas se organizaron en dos cajas plexo, una de 19x15x7 cm y otra de 15x11x5 cm. En la caja principal se instalaron los drivers, el relé y la pantalla LCD, mientras que en la caja secundaria se ubicaron el Arduino, los potenciómetros y el teclado matricial.

Para un mejor orden del cableado se utilizaron jumpers y borneras, garantizando conexiones seguras y accesibles (

Figura 32).

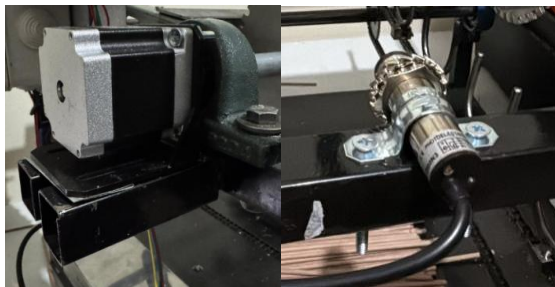
Figura 32. Conexiones eléctricas dentro de cajas plexo



Nota. Elaboración propia

Los componentes que quedaron fuera de las cajas plexo son; la fuente de poder, instalada en la base de la estructura, el sensor fotoeléctrico anclado en el centro de la estructura mediante una abrazadera de dos alas, y los motores, montados sobre bases metálicas adicionales soldadas a la estructura, Figura 33.

Figura 33. Colocación de motores y sensor fotoeléctrico



Nota. Elaboración propia

8. Resultados

8.1 Costo y peso de la máquina

En el Anexo 3, se muestra el BOM de la maquina junto con sus costos. La máquina en total tuvo un costo total de Q3,167.30 con un peso de 60lb, equivalente a 27.2kg.

8.2 Pruebas de funcionamiento y conteo

Se realizaron diferentes pruebas con el objetivo de determinar la velocidad óptima del motor y la cantidad adecuada de electrodos que permite un conteo preciso por parte del sistema.

En primer lugar, se efectuaron pruebas manuales con la canasta de depósito móvil, colocando distintas cantidades de electrodos sobre la mesa y girando los discos manualmente para observar el comportamiento del sistema de la alimentación, (Cuadro 8).

Se observó que los electrodos deben colocarse ordenadamente desde el inicio para evitar que se tuerzan al ingresar en las cavidades del disco. Además, cuando se forman tres filas dentro de la canasta, una sobre otra, los electrodos tienden a colocarse uno sobre otro y a ingresar torcidos, lo que afecta la precisión del conteo. Una cantidad adecuada fue de 75 electrodos, sin embargo, cuando ya quedan pocos en la mesa, tienden a entrar torcidos porque no tienen ningún otro que los esté empujando.

Cuadro 8. Pruebas manuales de cantidad de electrodos puestos en la canasta.

Cantidad de electrodos	Observaciones
50	Salen bien de la canasta, si están ordenados, entran bien en los discos
60	Salen bien de la canasta, si están ordenados, entran bien en los discos
75	Salen bien de la canasta, aunque se hacen dos perchas, estas no se hacen en toda la mesa, sino solo en una parte, si están ordenados, entran bien en los discos.
80	Se hacen dos filas en toda la canasta por lo que a veces se sobreponen cuando van entrando en los discos.
90	Se hacen casi tres filas, esto provoca que entren más torcidos y entren dos en el disco por lo que, al pasar por el cepillo, se quedan trabados.

Nota. Elaboración propia

Con base en estas observaciones, se realizaron las pruebas con el código de control, ingresando al sistema el número deseado de electrodos a contar para evaluar el porcentaje de error del sensor y el sistema completo.

Las pruebas se organizaron en tres grupos:

1. Cantidad de electrodos en la canasta móvil: se probaron cargas de 60, 75 y 80 electrodos, ingresando el conteo para 60 electrodos en el sistema. El objetivo fue determinar la cantidad óptima de electrodos que garantiza un flujo continuo y ordenado, Cuadro 9.
2. Velocidad del motor: Se variaron las velocidades para identificar aquella en la que los electrodos se trasladan con rapidez suficiente, pero sin comprometer el tiempo de respuesta del sensor, Cuadro 10.
3. Prueba del sistema de separación y almacenamiento: Se realizaron tres ensayos para verificar el desplazamiento correcto de los paquetes de electrodos mediante el sistema de recolección y transporte. En cada caso, el mecanismo movió los paquetes hacia adelante para su descarga, comprobando el funcionamiento del sistema de control y la precisión del desplazamiento de las “U”, Cuadro 11.

Cuadro 9. Tiempos de procesamiento variando cantidad de electrodos ingresados en la canasta móvil.

Núm. de prueba	Cantidad de electrodos ingresados a la canasta	Cantidad de electrodos ingresada al sistema	Cantidad obtenida	Velocidad del motor hz	% de error	Tiempo por cantidad de electrodos (min)	Velocidad, electrodo por minuto
1.1	90	60	65	0.03	8%	00:01:50	30
1.2	90	60	62	0.03	3%	00:02:00	33.82
1.3	90	60	68	0.03	12%	00:01:54	37.09
2.1	80	60	61	0.03	2%	00:01:05	56.31
2.2	80	60	65	0.03	8%	00:01:20	51
2.3	80	60	67	0.03	10%	00:01:48	38.89
3.1	75	60	64	0.03	6%	00:01:20	48
3.2	75	60	66	0.03	9%	00:01:35	41.68
3.3	75	60	62	0.03	3%	00:01:28	42.27

Nota. Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Cuadro 9, se observó que los menores porcentajes de error se registraron cuando se colocaron 75 electrodos en la canasta móvil. A partir de esta configuración, se realizaron pruebas variando la velocidad del motor a tres valores: 0.03 Hz, 0.043 Hz y 0.0675 Hz, con el objetivo de identificar la velocidad óptima para el conteo, Cuadro 10.

Cuadro 10. Tiempos de procesamiento variando cantidad de electrodos ingresados en la canasta móvil.

Núm. De prueba	Cantidad de electrodos ingresados a la canasta	Cantidad de electrodos ingresada al sistema	Cantidad obtenida	Velocidad del motor hz	% de error	Tiempo por cantidad de electrodos (min)	Velocidad, electrodo por minuto
3.1	75	60	64	0.03	6%	00:01:20	48
3.2	75	60	66	0.03	9%	00:01:35	41.68
3.3	75	60	62	0.03	3%	00:01:28	42.27
4.1	75	60	62	0.043	3%	00:00:59	63.05
4.2	75	60	61	0.043	2%	00:01:00	61
4.3	75	60	62	0.043	3%	00:00:58	64.14
5.1	75	60	61	0.068	2%	00:00:40	91.500
5.2	75	60	73	0.068	18%	00:01:15	58.40
5.3	75	60	64	0.068	6%	00:01:20	48

Nota. Elaboración propia

Durante las pruebas a 0.068 Hz, se observó que por la alta velocidad a los electrodos no les daba tiempo de enderezarse mientras se desplazaban en la canasta, ingresando al disco torcidos, esto provocaba que se trabaran en el cepillo guía. Este provocaba una pérdida de tiempo, ya que el sistema se detenía hasta que los electrodos se liberaran, entraran bien a las cavidades del disco y continuara el proceso, reduciendo la eficiencia general a pesar del aumento de velocidad.

Con base en las pruebas de la Cuadro 10, se determinó que la velocidad óptima de funcionamiento es de 0.043 Hz, con una carga de 75 electrodos en la canasta, ya que esta combinación presentó los porcentajes de error más bajos y un flujo continuo y ordenado de electrodos hacia el sistema de conteo.

Con las velocidades determinadas en las pruebas anteriores, se procedió a realizar las pruebas finales del sistema de recolección y almacenamiento de electrodos. En primer lugar, se efectuaron pruebas manuales desplazando el sistema con la mano, comprobando que los electrodos siempre caen correctamente dentro de las “U” si se calibra manualmente. Posteriormente, se realizaron pruebas con el sistema automatizado programado con Arduino los resultados se presentan en la Cuadro 11.

Cuadro 11. Observaciones del sistema de recolección y almacenamiento con los motores activos.

Núm. de Prueba	¿Se movió los espacios suficientes para recogerlos?	Cayeron todos los electrodos dentro de las “U”	Regresó a su posición inicial	Observaciones
6.1	SI	SI	SI	Cuando regresa a su posición inicial con cada ciclo se mueve un poco,
6.2	SI	NO	SI	puede ser por la cantidad de pasos programada.
6.3	SI	SI	SI	Las “U” si reciben bien el electrodo si va a una velocidad despacio.
6.4	SI	SI	SI	Cuando un electrodo va torcido y va sobre otro este no cae dentro de las “U”.

Nota. Elaboración propia

Los resultados confirman que el desplazamiento del sistema es adecuado y cumple su función. En los casos en los que algún electrodo no cae dentro de las “U”, se debe a que desde la entrada en el disco el electrodo viene desalineado o sobrepuesto, lo cual provoca que algunos se desvíen y caigan fuera de su paquete.

En el capítulo 5 se mencionan los requisitos del proyecto, teniendo los resultados a continuación se indican cuales requisitos se cumplieron y cuáles no y porqué.

Cuadro 12. Cumplimiento de requisitos y su razón.

Código	Descripción	Se cumplió o no.
CR01	Debe ser capaz de recibir mínimo 5 libras de electrodo en el sistema de alimentación.	Si
CR02	Proveer una guía sobre cómo operar la máquina.	Si, anexo 4
CR0	El costo de fabricación de la máquina no debe exceder los Q6,000.	Si
DIM01	La máquina debe ocupar como máximo un espacio de 1 m ³ .	Si
DIM02	La máquina debe de tener un peso total menor a 50 Kg.	Si
DIM03	Debe poder conectarse a una distancia máxima de 2m del tomacorriente.	Si
OP01	La máquina debe ser capaz de poder contar por lo menos 60 electrodos por minuto.	Si
OP02	Debe ser capaz de operar con un voltaje de 120V y una frecuencia de 60Hz.	Si
OP03	Debe de ser capaz de separar por lo menos 4 paquetes por ciclo.	Si
OP05	Capaz de contar electrodos con un diámetro de 1/8 de pulgada.	Si

Nota. Elaboración propia

9. Análisis de resultados

El proceso de validación de la máquina contadora automatizada de electrodos se centró en la verificación del cumplimiento de los requisitos establecidos en el diseño y en la evaluación del desempeño real del sistema bajo distintas condiciones de operación. Para ello, se realizaron pruebas experimentales orientadas a determinar la velocidad óptima de conteo, la capacidad de carga de la canasta de alimentación, la precisión del sensor fotoeléctrico y la eficacia del sistema de recolección y almacenamiento.

Se comprobó que cuando se colocaban más de 75 electrodos, los elementos tendían a encimarse e ingresar torcidos en las cavidades del disco, lo que generaba errores en el conteo. De esta manera, se determinó experimentalmente que la capacidad ideal de carga de la canasta alimentación es de 75 electrodos por ciclo equivalente a 5 libras, para que tenga un desplazamiento continuo y una alimentación bastante uniforme hacia los discos.

Posteriormente, al evaluar la influencia de la velocidad del motor stepper sobre la precisión del conteo. Se probaron tres velocidades distintas: 0.03 Hz, 0.043 Hz y 0.068 Hz. Los resultados evidenciaron que a bajas velocidades como de 0.03 Hz el sistema mantiene un error promedio del 6 % y con un tiempo de procesamiento bajo, de alrededor de 42 electrodos por minuto. Cuando se incrementa la velocidad a 0.068 Hz, aunque se alcanzó una velocidad máxima de 91 electrodos por minuto, los errores aumentaron a un 6% al 18% debido a que los electrodos no tenían tiempo suficiente para alinearse en las cavidades. La velocidad intermedia de 0.043 Hz mostró el mejor desempeño, alcanzando una tasa de 60 electrodos por minuto con un margen de error de 2 a 3 %. Por lo tanto, se definió esta frecuencia como la velocidad óptima de operación, sin embargo, el usuario por medio del potenciómetro puede modificarla e ir probando más velocidades con el tiempo.

El análisis de los datos obtenidos en las Cuadro 9 y Cuadro 10 demuestra que la precisión del conteo depende directamente de la correcta posición de los electrodos en la canasta, del ajuste de la guía del cepillo de siza y de la velocidad de rotación del disco.

A medida que se incrementa la velocidad, aumenta la probabilidad de que los electrodos ingresen torcidos o sobrepuestos a la cavidad, generando sobre conteos y provocando que se traben en el cepillo de siza.

En cuanto al sistema de recolección y almacenamiento, los resultados mostraron un funcionamiento sincronizado con el sistema de conteo. En las pruebas realizadas con los motores activos, las piezas tipo “U” lograron recibir correctamente los electrodos en la mayoría de los casos, cumpliendo con la función de separación y agrupación por paquetes. Se observó que los errores en esta fase se debieron principalmente a electrodos mal posicionados desde el momento de su entrada en el disco, más que a fallas de este sistema.

La comparación entre los requisitos de diseño y los resultados experimentales indica que la máquina cumple con los requisitos definidos. La capacidad máxima de carga, el peso total de la máquina, el consumo eléctrico y el costo de fabricación se mantuvieron dentro de los límites establecidos. El costo final fue de Q3,167.30, un valor significativamente inferior al límite de Q6,000 definido en la etapa de identificación de requisitos, lo que demuestra la viabilidad económica del proyecto. Asimismo, la máquina se ajustó a las dimensiones máximas de 1 m³ y a un peso total 27.2 kg, lo que la hace adecuada para poder moverla de lugar si es necesario y operar en espacios reducidos como el área de trabajo de la ferretería de estudio.

En términos de desempeño operativo, la máquina logró un conteo promedio de 60 electrodos por minuto con una precisión del 97 %. El sistema alcanzó la meta de 60 electrodos por minuto establecida en los requisitos del diseño, el desempeño obtenido se considera satisfactorio considerando las limitaciones de espacio, los costos bajos y que mientras la máquina está contando los trabajadores pueden empacar.

El sistema cumple con su propósito de automatizar el conteo de electrodos. Los pequeños desvíos observados pueden corregirse mediante ajustes en la velocidad del motor de los discos, ingresando los electrodos de forma correcta y calibrando la guía del cepillo de siza.

10. Conclusiones

- La construcción de la máquina contadora automatizada permite contar electrodos de 1/8", con un margen de error del 3 %, lo que valida la precisión del sistema bajo condiciones controladas.
- Se implementó un mecanismo de recolección con características que permite separar al menos cinco paquetes de electrodos por ciclo. También se implementó un sistema de almacenamiento tipo "U", acoplado a un sistema de cadenas y sprockets.
- El prototipo alcanzó una velocidad promedio de conteo de 60 electrodos por minuto, equivalente a cuatro libras.
- La máquina alcanzó una capacidad óptima de 75 electrodos por ciclo de producción. Se comprobó que, al agregar una mayor cantidad, los electrodos tienden a trabarse y salir torcidos, lo que afecta la precisión del conteo y el flujo del sistema.
- La máquina cumplió con los requisitos dimensionales establecidos, ocupando un volumen menor a 1m³ y un peso total de 35kg, inferior a 50kg, lo que la hace adecuada para espacios de trabajo reducidos.
- Su costo total de fabricación, tomando en cuenta solo materiales tanto electrónicos como tubos, chumaceras, cadenas y sprockets, fue de Q3,167.30.

11. Recomendaciones

Durante las pruebas se identificaron aspectos que pueden optimizarse para mejorar su desempeño, ampliar su versatilidad y aumentar la durabilidad de sus componentes. Con base en los resultados obtenidos, se proponen las siguientes recomendaciones técnicas:

- Aunque la máquina actualmente está diseñada para contar electrodos de 1/8", se recomienda fabricar discos adicionales con cavidades adaptadas para electrodos de 3/32". Esto permitirá ampliar la capacidad de operación del sistema y atender diferentes tipos de electrodos.
- Rediseñar el sistema de discos para que puedan desmontarse y reemplazarse fácilmente. Incorporar un mecanismo de acople rápido facilitará la sustitución de los discos cuando se requiera cambiar de tipo los electrodos, lo que reduciría tiempos de ajuste y tendría más versatilidad.
- Mejorar la guía de salida de los electrodos para evitar que se traben. Esta modificación aumentará la precisión del conteo y reducirá los errores por sobreposición.
- Implementación de un sistema de biela–manivela que permita generar un movimiento oscilante en la canasta de alimentación móvil, de modo que los electrodos descendan progresivamente por gravedad. Este mecanismo contribuiría a un flujo más constante y uniforme de alimentación hacia los discos contadores.
- Cambiar las cadenas del sistema de recolección y almacenamiento por unas de mayor grosor y resistencia, con el propósito de soportar una mayor carga y permitir la manipulación de más paquetes por ciclo sin comprometer la estabilidad del sistema.
- Tener separados los motores en módulos separados, siendo programados con un Arduino. Estar conectados y programados todos en el mismo, se limita la velocidad a la que pueden trabajar.

12. Referencias

- Adlan, O. M. A., & Alzubaidi, A. J. (2015). *Pharmacy automation-pill counting design*. Journal of engineering research and applications , 5(3), 35-38. <https://goo.su/zzxkM>
- Suzhou Deedo Machinery Co., Ltd. (2024). *Contadora de palillo*. Alibaba. <https://goo.su/4jQmvX>
- Conway, J. H., & Sloane, N. J. A. (1993). *Empaquetamientos de esferas, redes y grupos*, (2.^a ed.). Alibaba.com. <https://goo.su/WTVzS5z>
- Henan Daheng Machinery Co., Ltd. (2024). *High performance welding electrode automatic counting packing machine glue stick counting machine*. Alibaba. <https://goo.su/o47VSR>
- Hirsch, A. (2010). *Componentes mecatrónicos, sistemas y funciones de la mecatrónica, la puesta en marcha, seguridad y teleservicio, mantenimiento y diagnóstico*. Academia. <https://11nq.com/zrzqvoj>
- Jimenez, R. (2023). *Characterization of sensor types and their interaction with physical reality* (Vol. 2). ResearchGate. <https://goo.su/Y34u>
- Ma, Y. Z., Zhang, Y., Zhang, K., Deng, H., & Fu, Q. (2023). *Recent progress in flexible capacitive sensors: Structures and properties*. *Nano Materials Science*, 5(3), 265-277. <https://goo.su/OyFU7W>
- Munjal, R., & et al. (2020). *Multifrequency inductive sensor system for classification of bimetallic coins*. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, 1-9. DOI. [10.1109/TIM.2020.3011489](https://doi.org/10.1109/TIM.2020.3011489)
- OMRON Corporation (s.f), *Overview of Photoelectric Sensors*. OMRON Industrial Automation. <https://sl1nk.com/bx81jsl>
- Petrucchi, R. H., Harwood, W. S., Herring, F. G., & Madura, J. D. (2007). Estructuras cristalinas. En *Química general: Principios y aplicaciones modernas* (9.^a ed., pp. 501-508). Pearson Education.
- PCE Instruments. (2024). *Counting scales*. PCE Instruments, <https://goo.su/IGEc>
- William. (2023). Tipos y aplicaciones de sensores de proximidad. *GEYA*. <https://goo.su/hMcYSBI>

13. Anexos

Anexo 13.1 Código del programa con Arduino

```
/*  
  Sensor óptico (1 entrada digital)  
  2 Drivers Stepper  
  2 Potenciómetros  
  1 Módulo I2C 20x4  
  Teclado alfanumérico  
  1 Botón de emergencia  
*/  
  
// ===== LIBRERÍAS =====  
#include <AccelStepper.h>  
#include <Keypad.h>  
#include <Wire.h>  
#include <LiquidCrystal_I2C.h>  
  
// ===== DEFINICIÓN DE PINES =====  
// Driver 1  
#define PinStepDriver1 3  
#define PinDirDriver1 4  
#define PinEnaDriver1 5  
  
// Driver 2  
#define PinStepDriver2 6  
#define PinDirDriver2 7  
#define PinEnaDriver2 8
```

```

// Potenciómetros
#define PinPot1 A0
#define PinPot2 A1

//Sensor óptico
#define PinEntradaSensor 13

// ===== VARIABLES ANTIRREBOTE SENSOR =====
unsigned long tiempoUltimaLectura = 0;
const long retardoAntirrebote = 50; // 50ms para ignorar rebotes
bool estadoAnteriorSensor = HIGH;

// ===== TECLADO ALFANUMÉRICO =====
const byte Filas = 4;
const byte Columnas = 4;

char Teclas[Filas][Columnas] = {
  { '1', '2', '3', 'A' },
  { '4', '5', '6', 'B' },
  { '7', '8', '9', 'C' },
  { '*', '0', '#', 'D' }
};

byte PinesFilas[Filas] = { 52, 50, 48, 46 };
byte PinesColumnas[Columnas] = { 53, 51, 49, 47 };

// ===== INSTANCIAS =====
// Steppers
AccelStepper stepper1(AccelStepper::DRIVER, PinStepDriver1, PinDirDriver1); // STEP, DIR
AccelStepper stepper2(AccelStepper::DRIVER, PinStepDriver2, PinDirDriver2);
//AccelStepper stepper3(AccelStepper::DRIVER, PinStepDriver3, PinDirDriver3);

// Pasos para stepper 3
const int pasosPorVuelta = 3200;
long pasosObjetivo2 = 0; // Pasos a mover

```

```

int anguloDeseado = 90;

// Teclado
Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(Teclas), PinesFilas, PinesColumnas, Filas, Columnas);

// Pantalla
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

// ===== VARIABLES DE CONTROL =====
int VelocidadStepper1 = 0;
int VelocidadStepper2 = 0;

int LecturaPot1 = 0;
int LecturaPot2 = 0;

// Variables para pantalla
int Pantalla = 1;
bool Stop = false;
bool Pausa = false;
String CantidadElectrodos = "";
int CantidadPaqueteNum = 0;
int CantidadElectrodosNum = 0;
int ContadorElectrodos = 0;
int ContadorCajas = 0;

bool AntirreboteSensor = true;

// Variables para teclas pantalla
char key{};

// Timer para refresco de pantalla
unsigned long TiempoPasado = 0;
int TiempoRefresh = 300;

```

```

// Tiempo para antirrebote
unsigned long TiempoPasadoBoton{};
int TiempoRebote{ 30 };

// Variables movimiento
const int Espacios1{ 4 };
const int Espacios2{ 5 };
const int Espacios3{ 6 };
const int Espacios4{ 7 };
const int Espacios5{ 8 };

const int CantidadPasos{ 904 };

int posStepper2{ 0 };

// ===== CONFIGURACIÓN INICIAL =====
void setup() {
  // Serial
  Serial.begin(9600);

  // Configuración Steppers
  stepper1.setMaxSpeed(10000);
  stepper1.setAcceleration(1000);
  stepper2.setMaxSpeed(10000);
  stepper2.setAcceleration(1000);

  // Pantalla
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Iniciando...");
  lcd.clear();

```

```

Pantalla = 1;

// Entradas
pinMode(PinPot1, INPUT);
pinMode(PinPot2, INPUT);
pinMode(PinEntradaSensor, INPUT_PULLUP);
pinMode(PinBotonEmergencia, INPUT_PULLUP);

// Enables del motor
pinMode(PinEnaDriver1, OUTPUT);
pinMode(PinEnaDriver2, OUTPUT);
pinMode(PinDirDriver2, OUTPUT);

// Comenzar con todo apagado
digitalWrite(PinEnaDriver1, HIGH);
digitalWrite(PinEnaDriver2, HIGH);
digitalWrite(PinDirDriver2, LOW);

// Iniciamos con motores apagados
stepper1.setSpeed(0);
stepper1.runSpeed();
stepper2.setSpeed(0);
stepper2.setCurrentPosition(posStepper2);

// Inicio de las variable a 0
CantidadPaqueteNum = 0;
CantidadElectrodosNum = 0;
ContadorElectrodos = 0;
ContadorCajas = 0;
}

// ===== BUCLE PRINCIPAL =====

```

```

void loop() {

    // Botón de emergencia
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    if (digitalRead(PinBotonEmergencia) == LOW) {
        Stop = false;
    } else {
        Stop = true;
    }

    ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    // Refresco de pantalla
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    if (millis() >= TiempoRefresh + TiempoPasado) {
        Serial.println(Pantalla);

        if (Pantalla == 1) {
            lcd.setCursor(0, 0);
            lcd.print("Ingreso");
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print("Electrodos*Paquetes");
            lcd.setCursor(0, 2);
            lcd.print(CantidadElectrodos);

        } else if (Pantalla == 2) {
            lcd.setCursor(0, 0);
            lcd.print("Electrodos: ");
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print("Cajas: ");
            lcd.setCursor(12, 0);
            lcd.print(ContadorElectrodos);
        }
    }
}

```

```

lcd.setCursor(7, 1);
lcd.print(ContadorCajas);
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("Velocidad Hz: ");
lcd.setCursor(14, 2);
lcd.print("    ");
lcd.setCursor(14, 2);
lcd.print((float)LecturaPot1/1600,2);

} else if (Pantalla == 3) {
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Se ha trabajado:");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Paquetes: ");
  lcd.setCursor(10, 1);
  lcd.print(CantidadPaqueteNum + 1);
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("Electrodos c/u: ");
  lcd.setCursor(16, 2);
  lcd.print(CantidadElectrodosNum + 1);
  // Mensaje para continuar
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print("Presione tecla A");

  int TeclaContinuar{ 1 };

  while (TeclaContinuar) {
    key = keypad.getKey();
    if (key == 'A') {
      Pantalla = 1;
      posStepper2 = 0;
      stepper2.moveTo(posStepper2); // regresar a la posición inicial
      stepper2.runToPosition();
      CantidadPaqueteNum = 0;
    }
  }
}

```



```

lcd.clear();
CantidadElectrodos = "";
key = 0;
} else {
String Num1 {};
String Num2 {};
Num1 = CantidadElectrodos.substring(0, CantidadElectrodos.indexOf('*'));
Num2 = CantidadElectrodos.substring(CantidadElectrodos.indexOf('*') + 1);
CantidadElectrodosNum = Num1.toInt() - 1;
CantidadPaqueteNum = Num2.toInt() - 1;
Pantalla = 2;
CantidadElectrodos = "";
key = 0;
// Limpiar pantalla
lcd.clear();
}
}

```

```

////////// PARADO DE EMERGENCIA

```

```

if (key == 'C' && Pantalla == 2) {
lcd.clear();

// Paramos steppers
stepper2.stop();
stepper1.stop();

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("PARO DE EMERGENCIA");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Continuar Presione A");
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("Reinicio Presione C");
bool EsperaTecla { 1 };
while (EsperaTecla) {

```

```

key = keypad.getKey();
if (key == 'A') {
  stepper1.run();
  stepper2.run();
  lcd.clear();
  EsperaTecla = 0;
  Pantalla = 2;
  key = 0;
} else if (key == 'C') {
  // mover stepper a pos inicial
  digitalWrite(PinDirDriver2, LOW);
  stepper2.moveTo(0); // regresar a la posición inicial
  stepper2.runToPosition();
  digitalWrite(PinDirDriver2, HIGH);
  lcd.clear();
  // Reinicio de variables
  CantidadPaqueteNum = 0;
  CantidadElectrodosNum = 0;
  ContadorElectrodos = 0;
  ContadorCajas = 0;
  // Ir a pantalla inicial
  Pantalla = 1;
  // Apagar motores
  digitalWrite(PinEnaDriver1, HIGH);
  digitalWrite(PinEnaDriver2, HIGH);
  CantidadElectrodos = "";
  delay(500);
  EsperaTecla = 0;
  key = 0;
}
}
}

```



```
}  
}
```

```
////////// LECTURA DEL SENSOR TIENE ANTIRREBOTE CON MILLIS Y CON LOGICA
```

```
if ((millis() >= TiempoPasadoBoton + TiempoRebote) && Pantalla == 2) {
```

```
  if (digitalRead(PinEntradaSensor)) {
```

```
    if (AntirreboteSensor == 0 && digitalRead(PinEntradaSensor)) {
```

```
      ContadorElectrodos++;
```

```
      if (ContadorElectrodos > CantidadElectrodosNum) {
```

```
        ContadorCajas++;
```

```
        posStepper2 = posStepper2 - CantidadPasos;
```

```
        stepper2.moveTo(posStepper2); // regresar a la posición inicial
```

```
        stepper2.runToPosition();
```

```
        ContadorElectrodos = 0;
```

```
      }
```

```
      if (ContadorCajas > CantidadPaqueteNum) {
```

```
        lcd.clear();
```

```
        lcd.setCursor(0, 0);
```

```
        lcd.print("D PARA CONTINUAR");
```

```
        int TeclaContinuar{ 1 };
```

```
        while (TeclaContinuar) {
```

```
          key = keypad.getKey();
```

```
          if (key == 'D') {
```

```
            posStepper2 = posStepper2 - CantidadPasos;
```

```
            stepper2.moveTo(posStepper2); // regresar a la posición inicial
```

```
            stepper2.runToPosition();
```

```
            lcd.clear();
```

```
            key = 0;
```

```
            TeclaContinuar = 0;
```

```
          }
```

```

    }

    Pantalla = 3;
    ContadorElectrodos = 0;
    ContadorCajas = 0;
    lcd.clear();
}
}

AntirreboteSensor = 1;

} else if (digitalRead(PinEntradaSensor) == LOW) {
    if (AntirreboteSensor == 1 && digitalRead(PinEntradaSensor) == 0) {
        ContadorElectrodos++;
        if (ContadorElectrodos > CantidadElectrodosNum) {
            ContadorCajas++;
            posStepper2 = posStepper2 - CantidadPasos;
            stepper2.moveTo(posStepper2); // regresar a la posición inicial
            stepper2.runToPosition();
            ContadorElectrodos = 0;
        }

        if (ContadorCajas > CantidadPaqueteNum) {

            lcd.clear();
            lcd.setCursor(0, 0);
            lcd.print("D PARA CONTINUAR");
            key = 0;
            while ((key != 'D')) {
                key = keypad.getKey();
                posStepper2 = posStepper2 - CantidadPasos;
                stepper2.moveTo(posStepper2); // regresar a la posición inicial
                stepper2.runToPosition();
                lcd.clear();
            }
        }
    }
}

```

```

    key = 0;
    break;
}

////////////////////////////////

int TeclaContinuar{ 1 };

while (TeclaContinuar) {
    key = keypad.getKey();
    if (key == 'D') {
        posStepper2 = posStepper2 - CantidadPasos;
        stepper2.moveTo(posStepper2); // regresar a la posición inicial
        stepper2.runToPosition();
        lcd.clear();
        key = 0;
        TeclaContinuar = 0;
    }
}

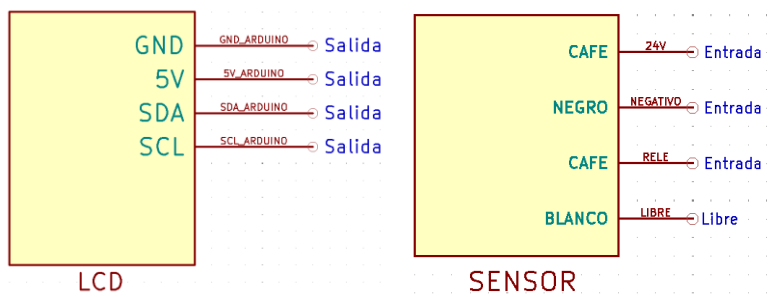
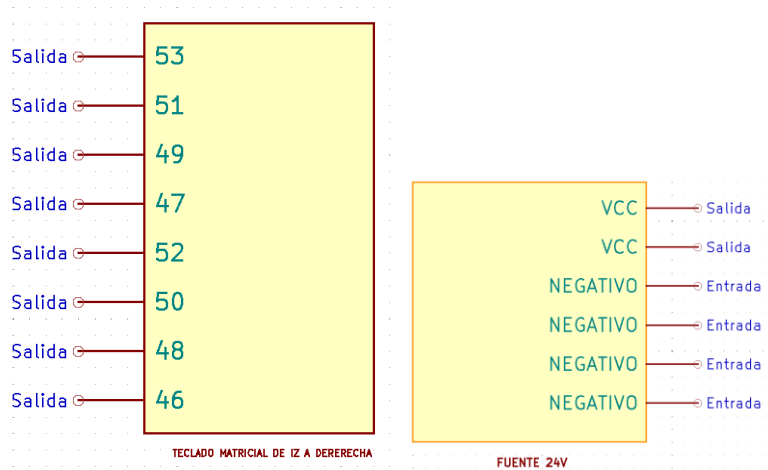
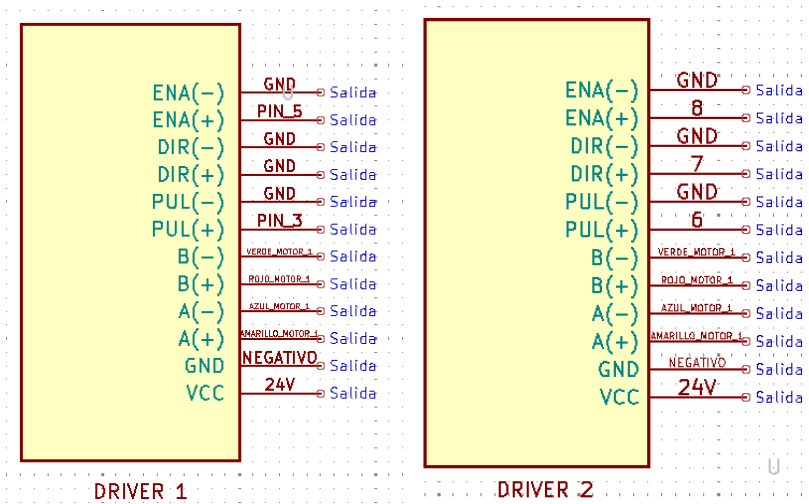
////////////////////////////////

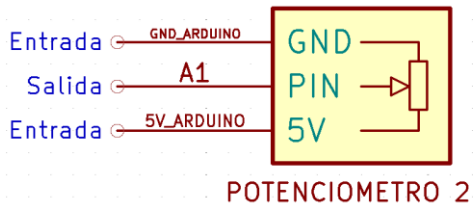
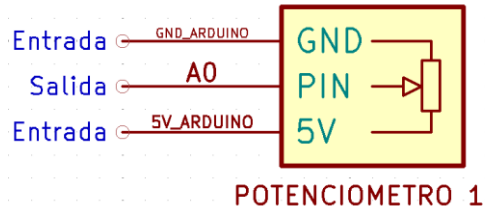
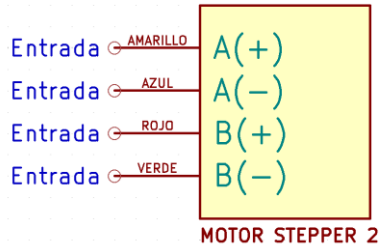
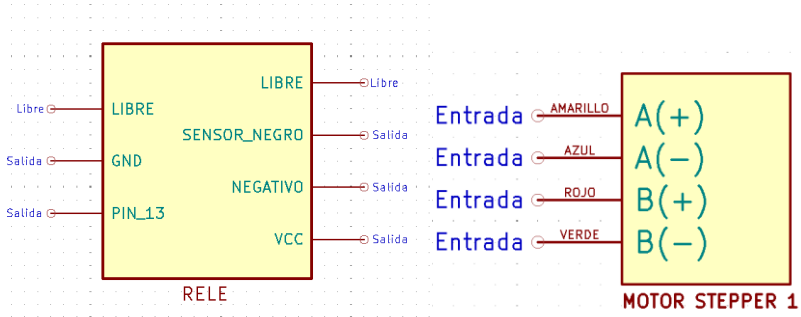
Pantalla = 3;
ContadorElectrodos = 0;
ContadorCajas = 0;
lcd.clear();
}
}
AntirreboteSensor = 0;
}
TiempoPasadoBoton = millis();
}
}

//////////////////////////////// FIN

```

Anexo 13.2. Diagramas eléctricos





Anexo 13.3. BOM de la máquina

<i>Material</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Total</i>	<i>Lugar de compra</i>
Por Seguridad				
<i>Guates</i>	1	Q35.00	Q35.00	Perfiles Colindres
<i>Lentes</i>	1	Q26.00	Q26.00	Perfiles Colindres
Para Trabajo				
<i>Disco de lija</i>	1	Q14.00	Q14.00	Perfiles Colindres
<i>Alambre para soldadora MIG</i>	1	Q50.00	Q50.00	Autopartes
<i>Pintura</i>	1	Q40.00	Q40.00	Perfiles Colindres
<i>Broca 5/32</i>	1	Q8.00	Q8.00	Perfiles colindres
<i>Machuelo</i>	1	Q37.00	Q37.00	La casa del tornillo
<i>Electrodo 3/32 para soldadura</i>	1	Q25.00	Q25.00	Donado
Para Estructura				
<i>Tubo cuadrado de 1"</i>	1.5	Q153.00	Q229.50	Perfiles Colindres
<i>Tubo Cuadrado de 1/2"</i>	0.5	Q87.00	Q43.50	Perfiles Colindres
<i>Chumatera NTN 204</i>	2	Q140.00	Q280.00	Incaprosa
<i>Chumacera VDO 204</i>	4	Q60.00	Q240.00	Vchumaceras
<i>Lámina para la base de la estructura espesor 1.20 mm</i>	1	Q20.00	Q20.00	Donado por Laminas el Condor
Tornillos y Tuercas				
<i>Pernos 3/8 de 2"</i>	12	Q0.60	Q7.20	Comercial Andrea
<i>Tuercas 3/8"</i>	12	Q0.20	Q2.40	Comercial Andrea
<i>Arandelas 3/8"</i>	26	Q0.20	Q5.20	Comercial Andrea
<i>Tornillos de rosca cabeza plana, 3/16x3/4 in</i>	15	Q1.33	Q20.00	Cemaco
<i>Castigadores 4mm</i>	34	Q2.00	Q68.00	La casa del tornillo
Para sistema de depósito				
<i>Riel de 4X2cm</i>	1	Q53.00	Q53.00	Antillon
<i>Rodamientos</i>	4	Q25.00	Q100.00	Comercial Andrea
<i>Cepillo siza</i>	1	Q15.00	Q15.00	Cemaco
Para sistema de depósito				
<i>Riel de 4X2cm</i>	1	Q53.00	Q53.00	Antillon

<i>Material</i>	Cantidad	Precio	Total	Lugar de compra
<i>Para sistema de depósito</i>				
<i>Rodamientos</i>	4	Q25.00	Q100.00	Comercial Andrea
<i>Cepillo siza</i>	1	Q15.00	Q15.00	Cemaco
<i>Para sistema eléctrico</i>				
<i>Motor de pasos Nema 17 de 23mm</i>	1	Q139.00	Q139.00	La electronica
<i>Motor Stepper Nema 17 84onz.in</i>	1	Q199.00	Q199.00	DYI electronica
<i>Soporte de motor</i>	2	Q29.00	Q58.00	La electronica
<i>Adaptador motor a eje</i>	2	Q25.00	Q50.00	La electronica
<i>Sensor Fotoelectronico</i>	1	Q230.00	Q230.00	Amazon
<i>Fuente</i>	1	Q100.00	Q100.00	Revendida en Facebook
<i>Arduino Mega</i>	1	Q210.00	Q210.00	R&H
<i>LCD 2004, I2C</i>	1	Q124.00	Q124.00	R&H
<i>Teclado matricial</i>	1	Q59.00	Q59.00	R&H
<i>Potenciometros</i>	2	Q5.00	Q10.00	R&H
<i>Jumpers</i>	2	Q10.00	Q20.00	La electronica
<i>Borneras</i>	2	Q10.00	Q20.00	La electronica
<i>Driver motor stepper TB6600</i>	2	Q169.00	Q338.00	La electronica
<i>Relé 12V</i>	1	Q49.00	Q49.00	La electronica
<i>Caja plexo 190x150x70mm</i>	1	Q39.00	Q39.00	Celasa
<i>Caja plexo 115x110x50 mm</i>	1	Q20.00	Q20.00	Celasa
<i>Para sistema de Recoleccion y almacenamiento</i>				
<i>Sprockets de cadena de tiempos</i>	4	Q20.00	Q80.00	Comercial Andrea
<i>Cadenas de tiempos para moto tuc tuc</i>	4	Q30.00	Q120.00	Comercial Andrea
<i>Hierro de 1/4 in</i>	1	Q8.50	Q8.50	Perfiles Colindres
<i>COSTO TOTAL</i>			Q3,192.30	

Anexo 13.4. Guía para uso del operador

Guía para el usuario

Máquina contadora automatizada de electrodos

Paso 1. Preparación del sistema

- Verifique que la máquina esté ubicada en una superficie estable y nivelada.
- Asegúrese de que las conexiones eléctricas estén firmes y que la fuente esté conectada a un tomacorriente de 120V / 60Hz.
- Revise que no haya objetos dentro de la canasta, discos o sistema de almacenamiento.
- Coloque en la canasta móvil los electrodos distribuidos de manera ordenada y sin sobreposición, Figura 1.

Figura 1. Colocación de electrodos en la canasta de alimentación.



Nota. Elaboración Propia

Paso 2. Encendido del sistema

- Encienda la máquina mediante el interruptor principal.
- Espere a que en la pantalla LCD aparezca el mensaje:

*“Ingrese Electrodos*Paquetes”.*

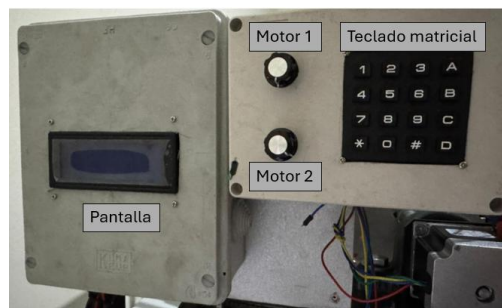
Paso 3. Configuración del conteo

- Utilice el teclado para ingresar el número de electrodos que desea y cuantos paquetes.
 - Por ejemplo:
 - 15 electrodos x 3 paquetes; con esto el sistema contará y separará 3 paquetes de 15 electrodos.
- Presione la tecla **A** para confirmar e iniciar el conteo.
- Si se ingresa un valor incorrecto, presione la tecla **B** para borrar todo el texto y volver a ingresar el número.

Paso 4. Proceso de conteo

- Una vez iniciado el conteo, los discos girarán y los electrodos caerán uno a uno, con los potenciómetros puede modificar las velocidades de ambos motores, Figura 2. La velocidad optima del motor 1 es de 68hz.

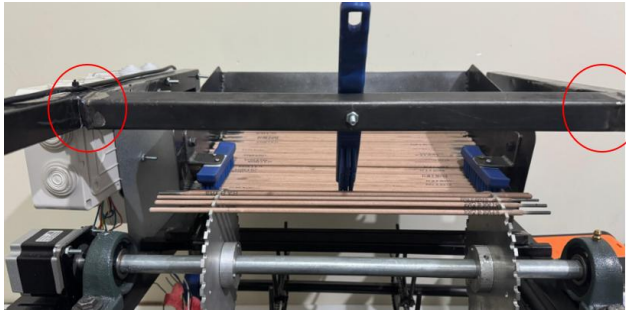
Figura 2. Sistema de control.



Nota. Elaboración Propia

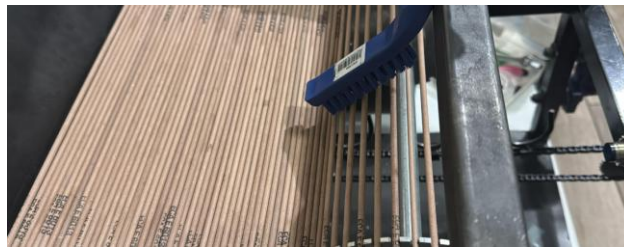
- Revise que el cepillo guía no estorbe a los electrodos.
- En dado caso el cepillo sí estorbe el camino de los electrodos, afloje los pernos del tubo en el que está conectado el cepillo, Figura 3. Gírelo ligeramente para que este quede como se observa en la Figura4. y aprete los pernos de nuevo.

Figura 3. Pernos para aflojar y calibrar la guía de electrodos.



Nota. Elaboración Propia

Figura 4. Vista de cómo debe de quedar el cepillo de siza para una buena guía de los electrodos.



Nota. Elaboración Propia

- El sensor fotoeléctrico registrará cada electrodo y mostrará el progreso en la pantalla LCD.
- Al completar el número programado, el sistema detendrá momentáneamente el motor de los discos y activará el segundo motor para desplazar la bandeja tipo “U” hacia la siguiente posición, iniciando el llenado del siguiente paquete.

Paso 5. Pausa o detención del proceso

- Para pausar el conteo, presione la tecla **C**.

El sistema solicitará confirmación:

- Presione nuevamente **C** para confirmar la pausa.
- Presione **A** si desea continuar sin detener el proceso.

Paso 6. Finalización del ciclo

- Cuando todos los paquetes hayan sido completados, la pantalla mostrará un mensaje resumen con la cantidad total de electrodos y paquetes procesados.
- Presione **A** para reiniciar el sistema y comenzar un nuevo ciclo.

7. Recomendaciones de operación

- Siempre coloque los electrodos de forma ordenada en la canasta de alimentación para que estos entren bien a los discos contadores. No coloque los electrodos sobrepuestos.
- Verifique periódicamente la tensión de las cadenas y sprockets del sistema de almacenamiento.
- Antes de apagar la máquina, espere a que todos los motores se detengan completamente.

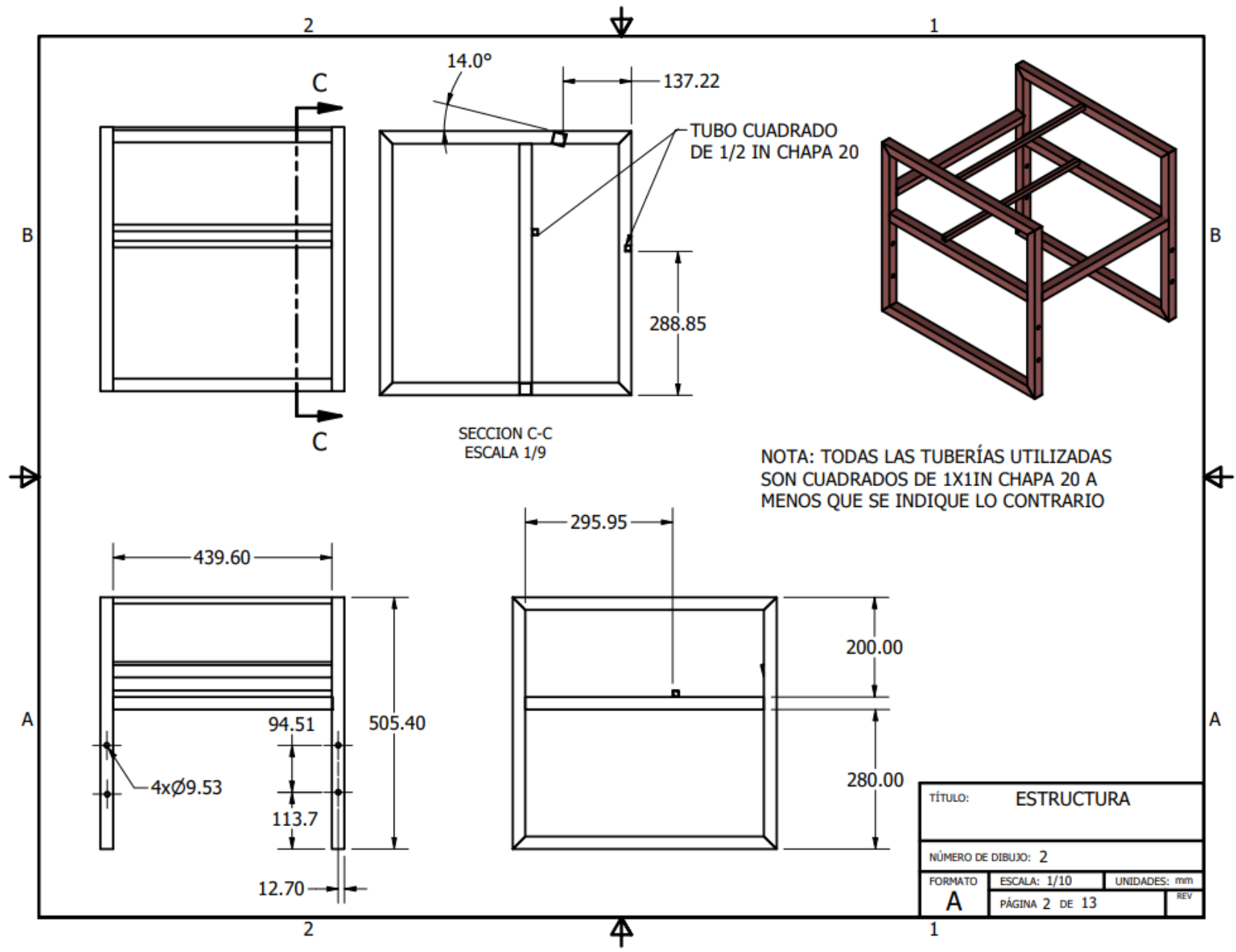
8. Mantenimiento básico

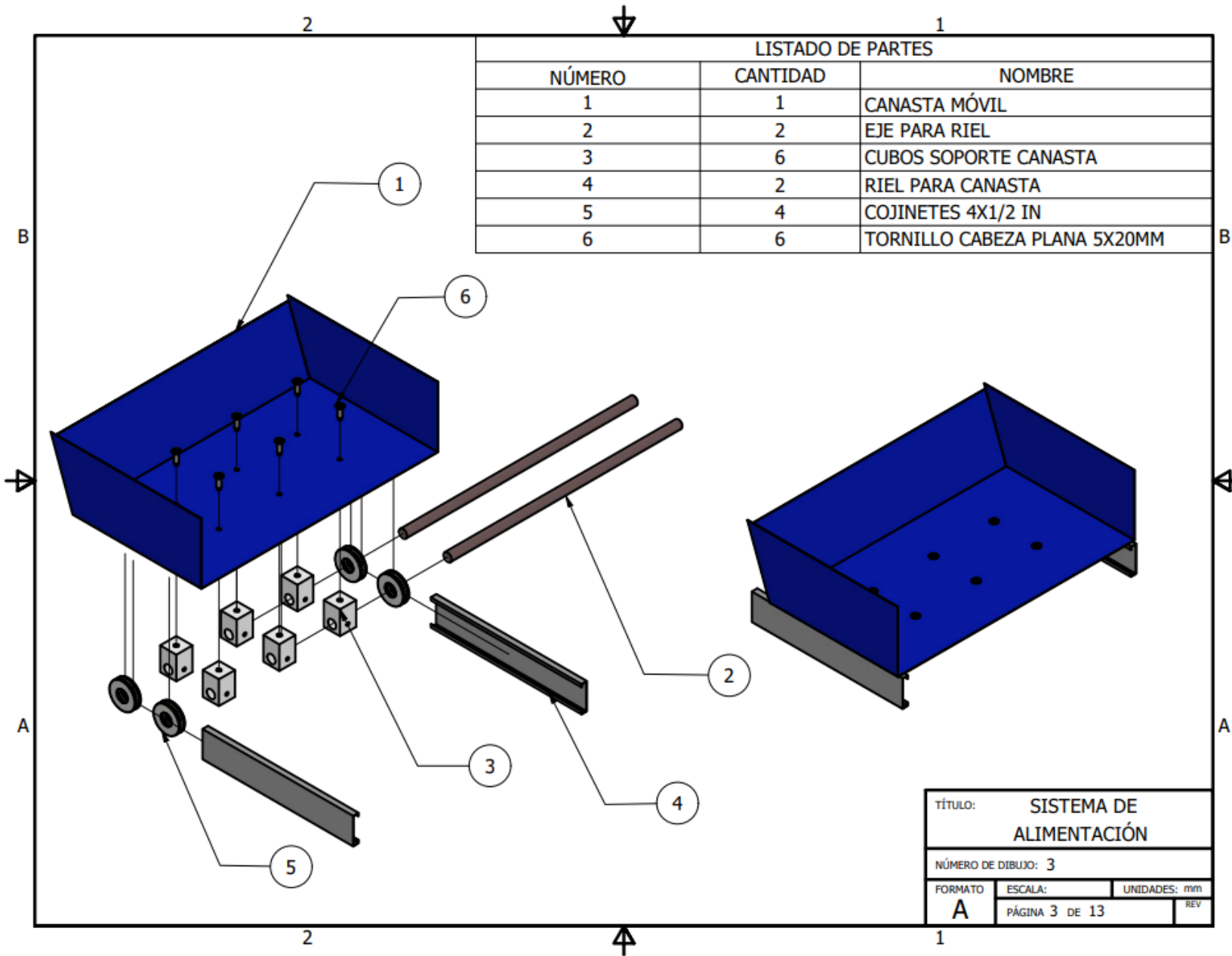
- **Revisión eléctrica:** verifique que los cables y conectores estén firmes y sin daños visibles.
- **Software:** no modifique el código del Arduino sin respaldo previo.
- **Almacenamiento:** mantenga la máquina cubierta cuando no esté en uso y en un lugar libre de humedad.

Anexo 13.5. Planos de inventor de la máquina

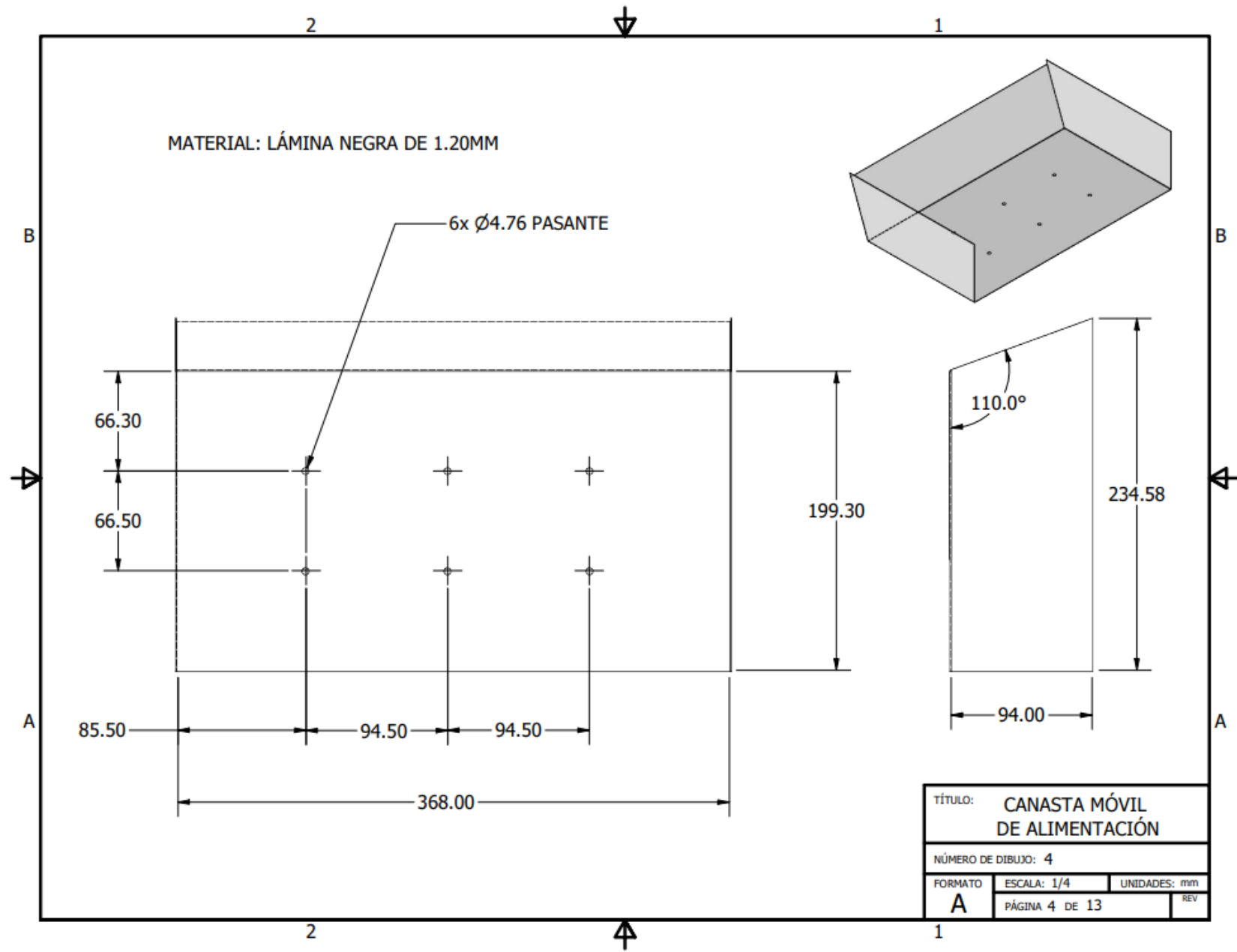
LISTADO DE PARTES		
NUMERO	CANTIDAD	NOMBRE
1	1	ESTRUCTURA
2	1	SISTEMA DE ALIMENTACION
3	1	ELECTRODO 1/8"
4	10	"U", DEL SISTEMA DE RECOLECCION
5	1	SISTEMA DE DISCOS
6	4	28 1011 67 Sprocket Camshaft
7	4	CHUMACERA UPC 204
8	2	EJE DEL SISTEMA DE RECOLECCION
9	4	AA 1015 69 Timing Chain
10	10	ADAPTADOR PARA CADENA Y "U"
11	16	WASHA PARA PERNO 3/4 IN
12	8	PERNO 3/8 X 2 1/2 IN
13	8	TURCA 3/8 IN
14	6	TORNILLO CABEZA PLANA 5MM X 10 MM

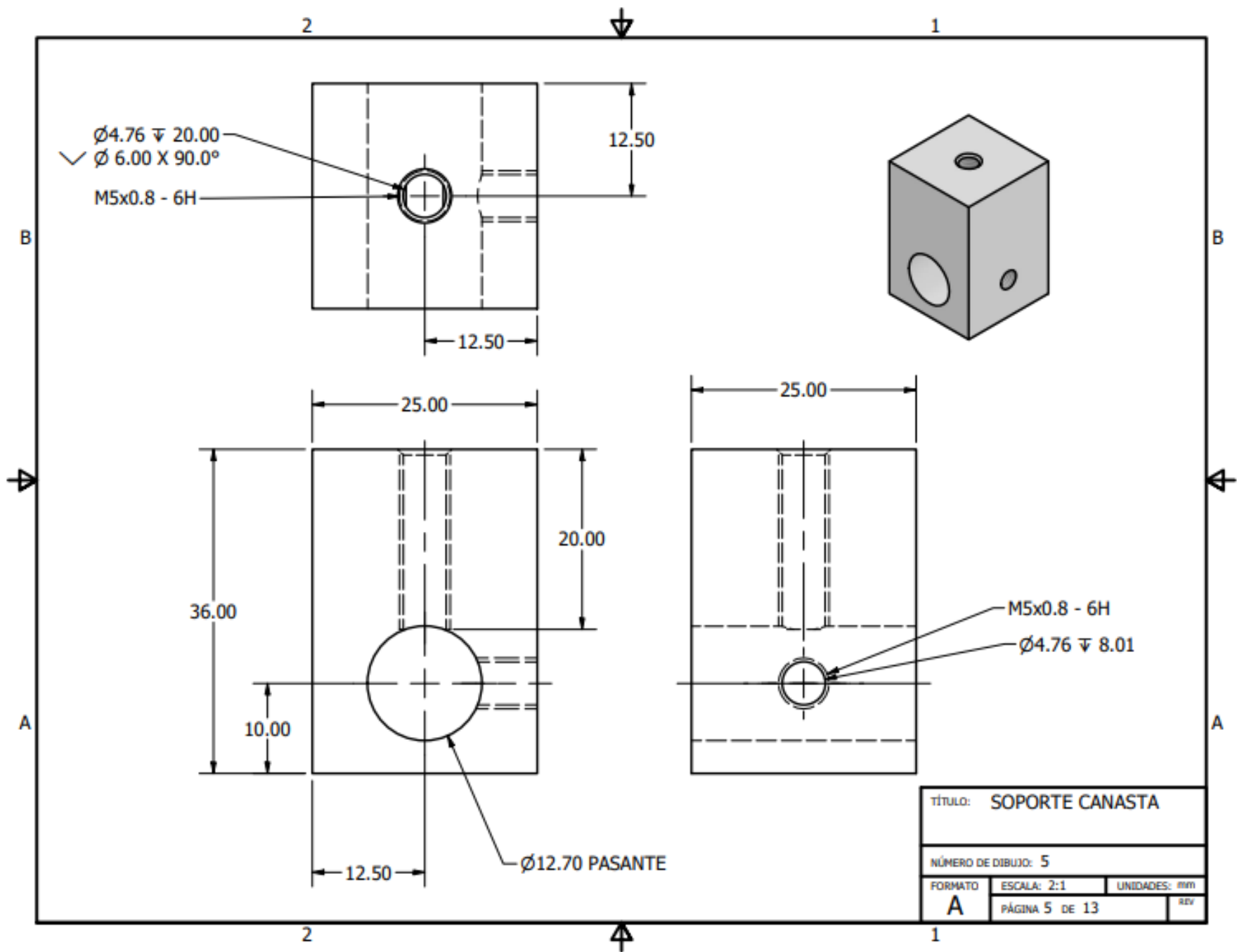
DISEÑADO POR: FERRER, COLANDREA FECHA: 24/10/2025 CORREGIDO POR: FERRER, COLANDREA FECHA: 24/10/2025 REVISADO POR: FERRER, COLANDREA FECHA: 25/10/2025 APROBADO POR: FERRER, COLANDREA FECHA: 25/10/2025 AUTORIZADO SUPERVISOR: FERRER, COLANDREA FECHA: 25/10/2025	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 18 Avenida, 11-93 Zona 11, Villa Paraiso II, Guatemala, Guatemala 01015 P.O. BOX 2400 GUATEMALA, GUATEMALA www.udv.edu.gt
TITULO: EXPLOSION ENSAMBLAJE COMPLETO	NUMERO DE COPIAS: 1 ESCALA: 1/5 UNIDADES: MM FORMATO: A3 PAGINA 1 DE 13

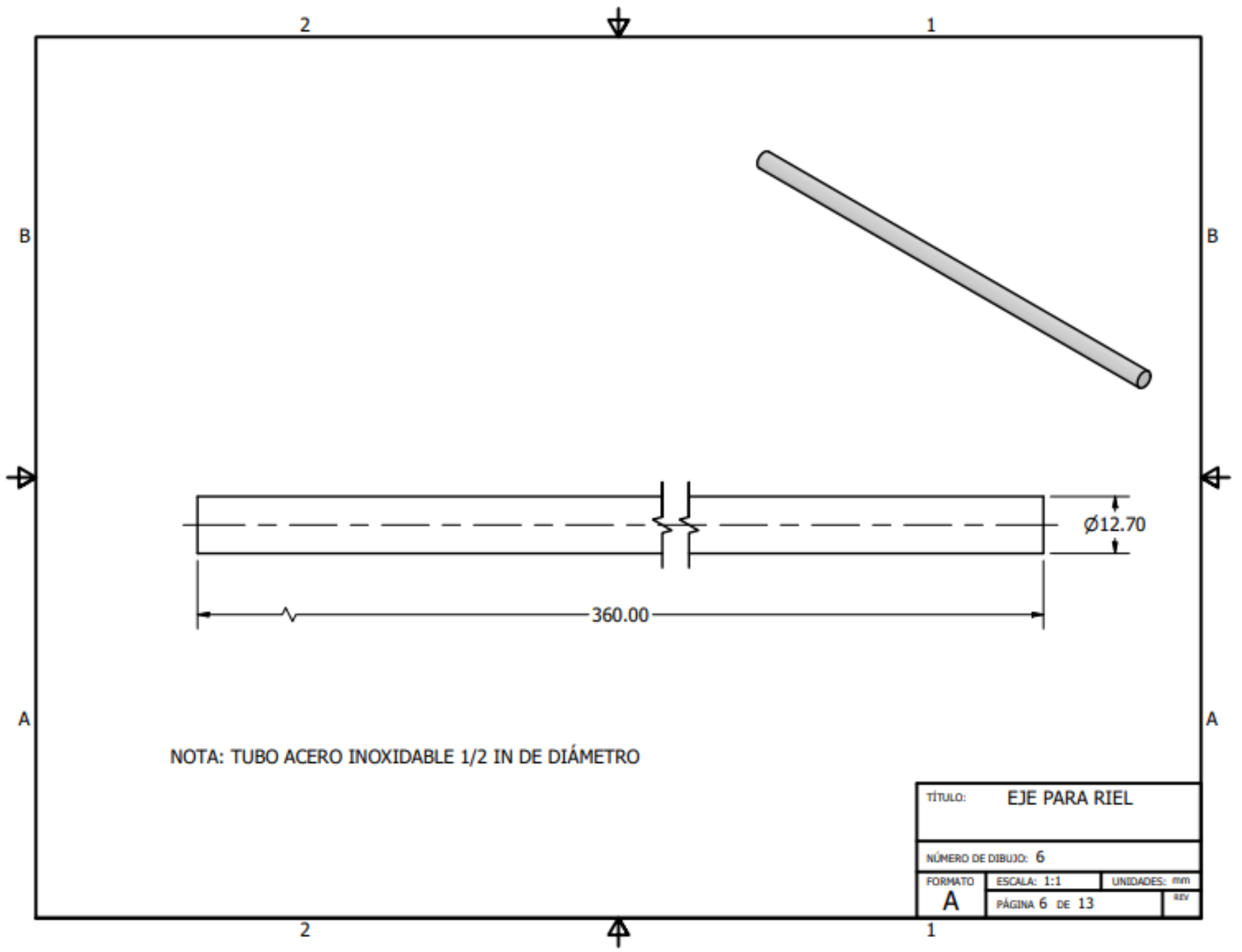




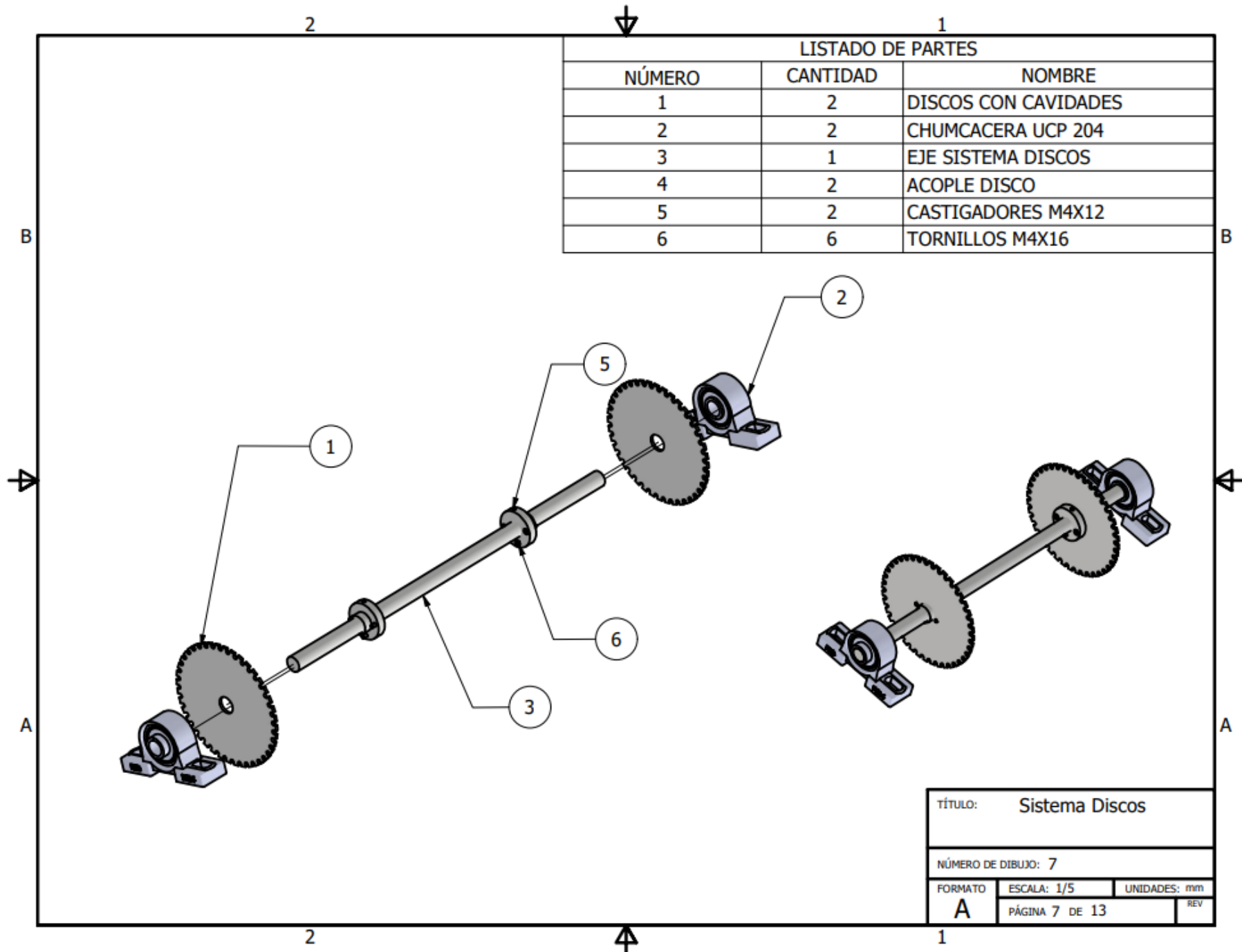
TÍTULO: SISTEMA DE ALIMENTACIÓN		
NÚMERO DE DIBUJO: 3		
FORMATO	ESCALA:	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 3 DE 13	REV



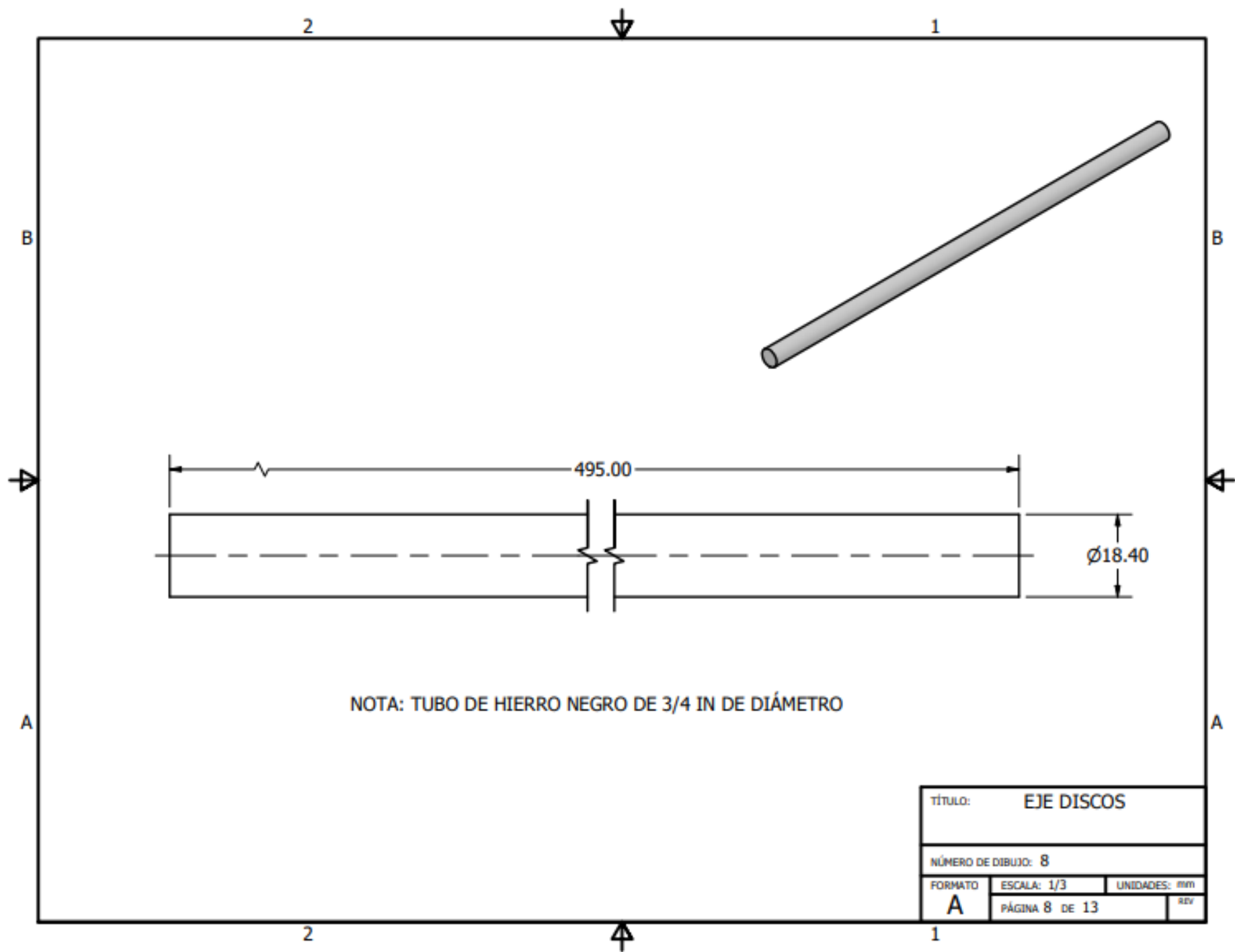


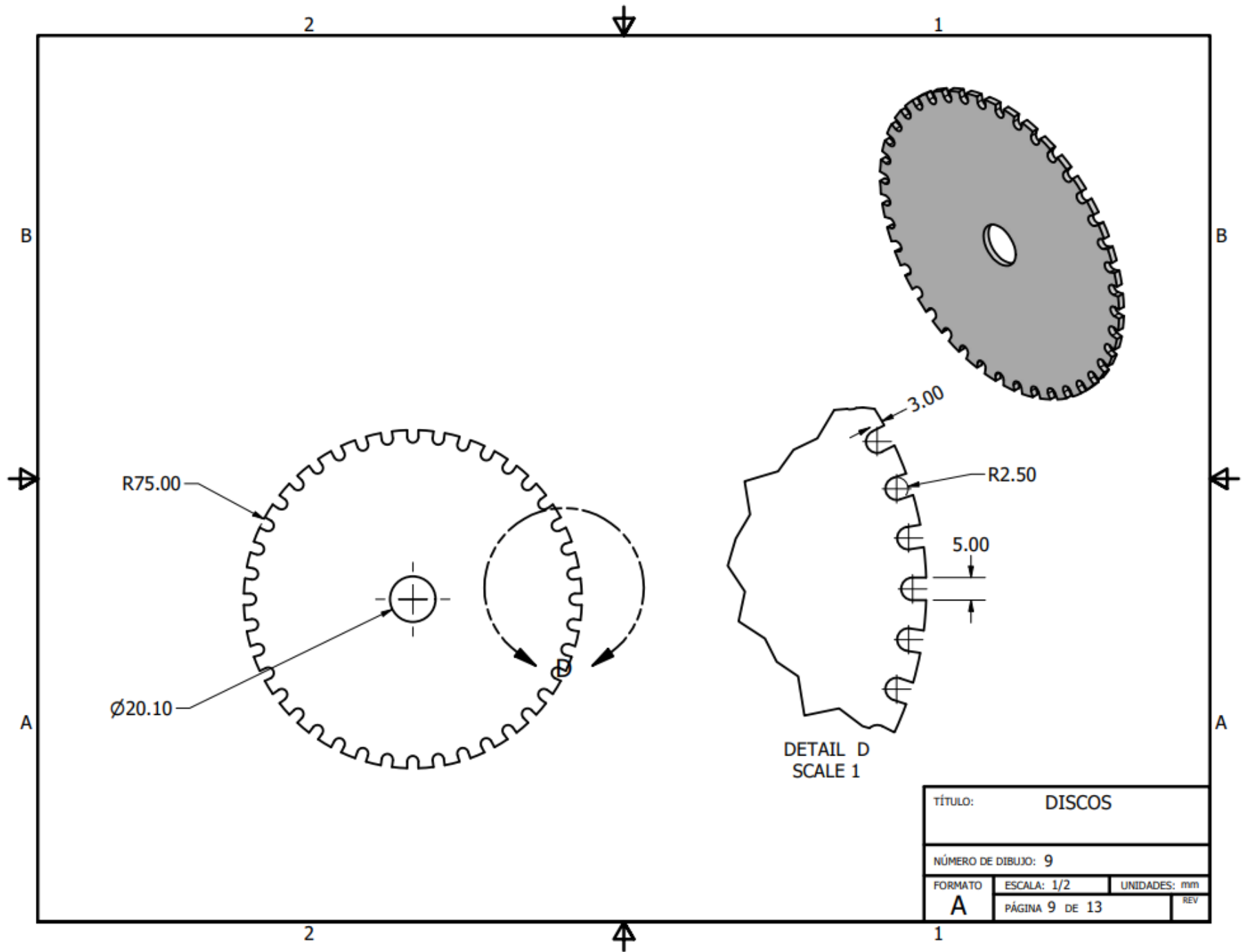


LISTADO DE PARTES		
NÚMERO	CANTIDAD	NOMBRE
1	2	DISCOS CON CAVIDADES
2	2	CHUMCACERA UCP 204
3	1	EJE SISTEMA DISCOS
4	2	ACOPLE DISCO
5	2	CASTIGADORES M4X12
6	6	TORNILLOS M4X16



TÍTULO: Sistema Discos		
NÚMERO DE DIBUJO: 7		
FORMATO	ESCALA: 1/5	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 7 DE 13	REV





TÍTULO:		DISCOS	
NÚMERO DE DIBUJO: 9			
FORMATO	ESCALA: 1/2	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 9 DE 13	REV	

