
Diseño de una máquina de roscado de tapaderas para el laboratorio de automatización industrial de la Universidad del Valle de Guatemala.

Andrea Marcela Ixquiac Madrigales



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Diseño de una máquina de roscado de tapaderas para el laboratorio de automatización industrial de la Universidad del Valle de Guatemala.

Trabajo de graduación presentado por Andrea Marcela Ixquiac Madrigales para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2022

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería




**Diseño de una máquina de roscado de tapaderas para el
laboratorio de automatización industrial de la Universidad del
Valle de Guatemala.**

Trabajo de graduación presentado por Andrea Marcela Ixquiac
Madrigales para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería
Mecatrónica

Guatemala,


2022

Vo.Bo.:


(f) 

Ing. Kurt Emanuel Kellner Juarez

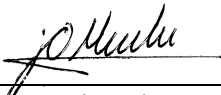
Tribunal Examinador:

(f) 

Ing. Kurt Emanuel Kellner Juarez

(f) 

MAEB. Otto Armando Giron Gonzalez

(f) 

M.Sc. Jose Eduardo Morales Espinoza

Fecha de aprobación: Guatemala, 07 de enero de 2022.

La elaboración de este trabajo de graduación surge ante la necesidad de fomentar el uso didáctico de procesos de manufactura dentro del laboratorio de Instrumentación y Automatización Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala. Este trabajo ha sido desarrollado como parte de los requisitos de graduación en licenciatura en ingeniería mecatrónica de la Universidad del Valle de Guatemala. El objetivo general del presente, es Diseñar una máquina de roscado y posicionamiento de tapaderas para envases plásticos con fines didácticos en el Centro de Innovación y Tecnología CIT.

Quiero agradecer, en primer lugar, a Dios, por haberme permitido el estudio a nivel de licenciatura y por su indudable acompañamiento a lo largo de mi vida. Agradezco a mis papás, Lorena Madrigales y Guillermo Ixquiac por su apoyo incondicional en cada ámbito de mi vida y por creer incondicionalmente en mis sueños, a mis hermanos Paula Lorena y Guillermo Manuel por ser mi inspiración ya mi novio Diego Coronado por su apoyo incondicional. Académicamente, agradezco de sobre manera a mi asesor, Ing. Kurt Emmanuel Kellner, por permitirme aprender de él y por su orientación y apoyo en la elaboración de este proyecto.

Prefacio	III
Lista de figuras	VII
Lista de cuadros	VIII
Resumen	IX
Abstract	X
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
3. Justificación	4
4. Objetivos	5
4.1. Objetivo general	5
4.2. Objetivos específicos	5
5. Alcance	6
6. Marco teórico	7
6.1. Definiciones importantes	7
6.2. Proceso general de roscado de tapaderas	8
6.2.1. Proceso de roscado en envases de vidrio	9
6.2.2. Proceso de roscado en envases de plástico	9
6.3. Pasos generales del proceso	10
6.3.1. Preparación de envases a roscar	10
6.3.2. Posicionamiento de tapaderas	11
6.3.3. Roscado	11
6.3.4. Preparación de envases secundarios	12
6.4. Diseño mecánico	12

7. Descripción general del proceso industrial	13
7.1. Requisitos y restricciones operacionales	13
7.1.1. Requisitos funcionales	13
7.1.2. Requisitos operacionales	14
7.1.3. Restricciones	14
7.2. Generalidades del proceso de roscado de tapaderas	16
7.2.1. Selecciones de equipo estándar	16
7.2.2. Etapa de posicionamiento de tapaderas	17
7.2.3. Roscado	19
8. Prototipos	23
8.1. Prototipo 1	23
8.2. Prototipo 02	24
8.2.1. Diseño de tornillo sin fin	25
8.3. Prototipo 03	30
8.3.1. Diseño neumático	31
8.3.2. Diseño eléctrico	35
9. Presupuestos	37
10. Conclusiones	40
11. Recomendaciones	41
12. Bibliografía	42
13. Anexos	43

Lista de figuras

1. PLC SIMATIC S7-300.	3
2. Tableros laboratorio de instrumentación y automatización Industrial	3
3. Imagen de referencia máquina ordenadora de botellas.	10
4. Envase a utilizarse en el proceso.	16
5. Imagen ilustrativa tolva industrial.	18
6. Máquina ilustrativa de control por revoluciones.	20
7. Imágen ilustrativa torquimetro ANDILOG.	21
8. Imagen ilustrativa de proceso de roscado controlado neumáticamente	21
9. Prototipo inicial.	24
10. Prototipo inicial versión 2.	25
11. Prototipo 2: Posicionamiento de tapaderas vista 1	26
12. Prototipo 2: Posicionamiento de tapaderas vista 2	27
13. Posicionamiento de cojinete axial en tornillo sin fin.	27
14. Diseño final del tornillo sin fin	28
15. Motor stepper DC.	28
16. Kit de rieles	30
17. Prototipo 03 vista 1	31
18. Prototipo 03 vista 2	32
19. Diagrama de válvula 5/2	32
20. Válvula MFH-5-1/4-S-NPT. FESTO (2021)	33
21. Tabla de selección de compresores. Atlas Copco (2021).	33
22. Simulación neumática realizada en FLUIDSIM PNEUMATICS.	34
23. Unifilar eléctrico.	36
24. Ensamble inicial.	45
25. Ensamble posicionador de tapaderas	46
26. Ensamble tornillo sin fin	47
27. Plano de tornillo sin fin.	48
28. Plano pieza de ensamble.	49
29. Soporte de tornillo sin fin.	50
30. Plano tolva cilíndrica	51

31. Planos pasillo de tapaderas	52
32. Plano sostén de tolva	53
33. Plano sostén circular de tolva	54
34. Plano sostén angular	55
35. Plano sostén de pistón 1.1	56
36. Plano sostén de pistón 1.2	57
37. Arnés carcasa	58

Lista de cuadros

1. Restricciones de diseño y requisitos operacionales	15
2. Características de la banda transportadora	17
3. Características del motor de acople	17
4. Mott, (2004) aplicaciones de tornillo sin fin [14]	26
5. Características del motor DC	29
6. Características de conductores AWG según NEC	35
7. Consumo de corriente de componentes activos y calibre de cable seleccionado	35
8. Presupuestos 1.1	38
9. Presupuestos 1.2	39

En el siguiente trabajo de graduación, se presenta el diseño de una máquina de roscado y posicionamiento de tapaderas para una línea de producción con fines didácticos en los laboratorios del Centro de Innovación y Tecnología CIT. Esta máquina forma parte de una serie de procesos que, en conjunto, cumplen las tareas específicas de una línea de producción de envases plásticos.

El enfoque de este proyecto es totalmente de diseño. En este se establecen las bases operacionales, funcionales y de diseño para el futuro funcionamiento de la máquina en cuestión. Para iniciar el proceso de diseño, se debieron de tomar en cuenta diferentes implicantes de diseño y de funcionamiento dado el proceso asociado a la máquina. Debido a que este pertenece a la industria de embotellados, se investigó la normativa, modalidad y estándar industrial de acuerdo al caso. En el proceso de diseño y planeación de dicha máquina, se encontraron diferentes dificultades de diseño e implementación, así como, diferentes limitantes en la creación de la misma. Esto, causó que se consideraran diferentes tipos de diseño, funcionalidades y materiales, para al final poder consumir estas pruebas en un diseño funcional y factible.

Durante la etapa de planeación y estructuración de la investigación se trabajó bajo diferentes ramas de estudio y trabajo. Tales como, diseño y manufactura de piezas 3D, Diseño de piezas metálicas, Dibujo Mecánico y Eléctrico, Estructuración electroneumática y su implementación conjunta.

A partir de esto, se realizó la etapa de prototipaje con un total de 3 Prototipos principales, logrando que el prototipo final cumpliera con todas las especificaciones de diseño y funcionamiento establecidas al inicio, detallando todos los planos eléctricos y mecánicos utilizados.

In the following thesis, the design of a lid threading and positioning machine is presented for a production line for educational purposes in the CIT laboratories. This machine is part of a series of processes that, together, fulfill the specific tasks of a plastic packaging production line.

The main focus of this project is the mechanical and electrical design. The operational and functional bases for the future operation of the machine will be established. To start the design process, different design and operating implications had to be considered in dependence of the process associated with the machine. Because of its use that belongs to the food-packaging industry, the regulations, modality and industrial standard of it were investigated according to the case.

In the design and planning process of the machine, different design and implementation difficulties were found, as well as different limitations in its creation. This caused different prototypes that respond to each necessity. Because of that, different modalities and materials were considered in order to ultimately consume these tests in a functional and feasible design.

During the planning and structuring stage of the research, work was carried out under different branches of study and work. Such as, design and manufacture of 3D parts, Design of parts for Laser cutting, Mechanical and Electrical Drawing, Electrical structuring and their joint implementation.

From this, the prototyping stage was carried out with a total of 4 main prototypes, achieving that the final prototype complied with all the design and operation specifications established at the beginning, finalizing all the electrical and mechanical plans used.

El presente documento retrata el proceso de diseño y planificación de una máquina de roscado de tapaderas con fines didácticos para el Laboratorio de Instrumentación y Automatización Industrial para el Centro de Innovación y Tecnología CIT.

Se presentan los diferentes prototipos, diseños y mecanismos considerados, de los cuales se eligió el más funcional y práctico de implementar. De este, se realizaron los diagramas eléctricos, neumáticos y planos mecánicos para su fácil entendimiento y futura implementación. Se consideró el prototipo que permitía mayor control y aprendizaje para los alumnos que lo utilizarán.

Así mismo, se realizaron los análisis de compatibilidad mecánica, esfuerzos y acople para garantizar los requisitos y restricciones propios del proceso. La estructuración del documento, permite seguir un orden cronológico de los pasos que se siguieron para obtener el prototipo y diseño final. Los prototipos se diseñaron en *Autodesk Inventor 2022*, programa en el que se realizó todo el proceso de diseño, análisis de esfuerzos y acople de piezas. Por su parte, el diseño eléctrico se realizó en *Autocad Electrical 2022*.

El proceso de enseñanza en el curso de Automatización e Instrumentación Industrial en la Universidad del Valle de Guatemala ha sido sujeto de mejoras en los últimos años. La línea de Investigación que se sigue es con fines didácticos y de entrenamiento para las carreras de Mecatrónica y Electrónica. Permitiéndoles así tener una experiencia mucho más cercana a la de un proceso industrial totalmente controlado.

En años anteriores, se trabajó la implementación de nuevos tableros industriales en los laboratorios. Estos tableros trabajan con el PLC *SIMATIC S7-300* (Figura 1), de SIEMENS. Dicho PLC, Es el que se utilizará en el proceso de control de la máquina de roscado diseñada.

Los tableros que se encuentran en la Universidad forman parte de un proyecto conjunto con fines de mejorar la experiencia académica de los alumnos en temas de manejo y gestión de Procesos. Los tableros ubicados en la Universidad, son producto de trabajos de graduación de años anteriores (Figura 2).

El alcance de los proyectos pasados en esta línea de investigación, radica en el diseño de un tablero industrial con fines didácticos, Así como, la creación de un manual y un video de instalación. Esto, nos permite tener las herramientas clave para una buena conexión y acople eléctrico en el laboratorio.

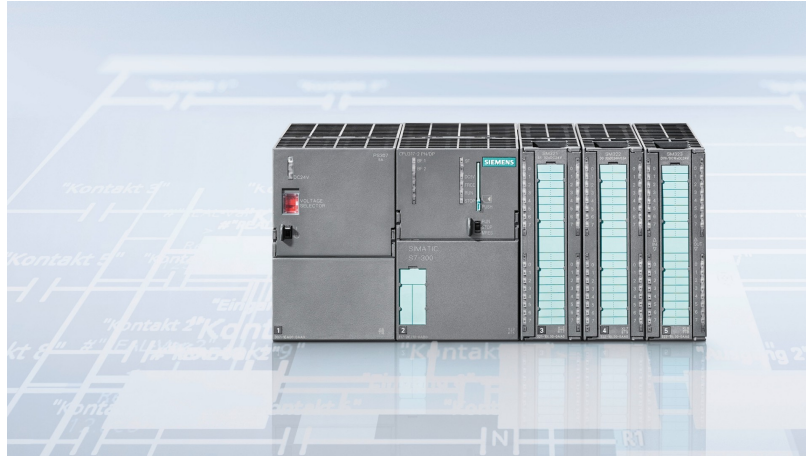


Figura 1: PLC SIMATIC S7-300.



Figura 2: Tableros laboratorio de instrumentación y automatización Industrial

El incremento de las industrias que requieren conocimiento previo en aplicaciones de proceso y control, han creado la necesidad de disponer de una línea de producción con la que los estudiantes puedan interactuar y programar dentro del laboratorio de Instrumentación y Automatización Industrial. En respuesta a esta necesidad se diseñó una línea de envasado de granos, atendida a diferentes procesos programables.

La máquina en cuestión debe de ser totalmente adaptable a las cambiantes necesidades del curso y los estudiantes. De esta manera, se puede adaptar a las tendencias cambiantes en la innovación industrial.

En este trabajo, se diseñará específicamente el proceso de roscado de tapaderas. Se pretende que, de esta manera se pueda mejorar significativamente el proceso de aprendizaje de los estudiantes de 4to. y 5to. año de las carreras de Mecatrónica y Electrónica de la Universidad.

4.1. Objetivo general

Diseñar una máquina de roscado de tapaderas para embases plásticos con fines didácticos para una línea de producción del laboratorio de Automatización Industrial del Centro de Innovación y Tecnología de la Universidad del Valle de Guatemala.

4.2. Objetivos específicos

- Seleccionar y realizar un listado de los componentes eléctricos, mecánicos y materiales de fabricación necesarios para la implementación en la máquina.
- Realizar un diseño funcional de máquina de enrosque que supla las necesidades de aprendizaje de los estudiantes de los cursos de Instrumentación y Automatización 1 y 2.
- Realizar planos mecánicos y eléctricos claros que permitan el buen entendimiento y fabricación de la misma.
- Realizar un presupuesto real basándonos en los proveedores nacionales e Internacionales los que tenemos acceso. Esto según los componentes utilizados en los planos.

En este trabajo de graduación se retrata el proceso de diseño de una máquina de roscado y posicionamiento de tapaderas para los laboratorios de Instrumentación y Automatización Industrial del Centro de Innovación y Tecnología de la Universidad del Valle de Guatemala.

Dicha máquina es de uso puramente didáctico y retrata las principales necesidades académicas de los estudiantes de las carreras de Ing. Mecatrónica y Electrónica, logrando su intervención en procesos mucho más elaborados y concretos aplicables al campo industrial guatemalteco.

Por la emergencia sanitaria global causada por el COVID-19, el tiempo en el campus se limitó a una fracción de lo que se tenía destinado inicialmente. Por dicho motivo, las pruebas realizadas y el tiempo en campo fueron sujetos a disposiciones gubernamentales y académicas.

Dado que la máquina mencionada, corresponde a un proceso de convergencia asociado al campo eléctrico, neumático y mecánico, se presentan los planos y cálculos asociados a cada una de las disciplinas. Así como, los criterios de selección e implementación de cada prototipo diseñado.

Se proponen 4 diferentes prototipos, realizados a partir de mejoras escalonadas que garantizan un mejor funcionamiento integral de todos los procesos asociados. Logrando que el prototipo final cumpla con las especificaciones iniciales y perfeccionando el proceso propuesto al inicio.

El prototipo final cuenta con toda la documentación (planos, precios, fabricantes, etc.) necesaria para su futura implementación, fabricación y mejora en los próximos años.

6.1. Definiciones importantes

Línea de producción: *The Order Expert* en su libro *How to Set Up a Simple Production Line* (2019) [1] menciona que, una línea de producción se considera como un grupo de operaciones en secuencia instaladas en una fábrica, donde se ensamblan componentes para hacer un producto terminado, o donde se someten los materiales a un proceso de transformación para fabricar un producto final que sea apropiado para su consumo posterior.

Producción: La RAE (2021) define producción como cualquier tipo de actividad destinada a la fabricación, elaboración u obtención de bienes y servicios. [2]

Lotes: Es una determinada unidad de medida de fabricación de un conjunto que se planifica y se fabrica con referencia a un número.

PLC: *Schneider Electric* en su libro *Telesquemario* (2015) [3] Define un PLC como una computadora que sirve para procesos de automatización y control en la industria.

Rosca: Es un eje en el que en torno a él se describe una trayectoria helicoidal cilíndrica.

Pistón: Según la RAE (2021), un pistón es aquel que, en un mecanismo cinemático que transforma un movimiento rectilíneo en uno giratorio, twniwndo la función de deslizarse alternativamente dentro de su guía. [2]

Tolva: La RAE EN 2021, lo define como un recipiente o depósito abierto por abajo, generalmente en forma de tronco de pirámide o de cono invertidos, que se utiliza para dosificar el paso de algo como granos, monedas, bolas, abonos, líquidos, etc. [2]

Caja reductora: Mecanismo que consiste, generalmente, en un grupo de engranajes, con el que se consigue mantener la velocidad de salida en un régimen cercano al ideal para el funcionamiento del generador (Real Academia de Ingeniería, 2021). [2]

Ensamble: Unión de las piezas que conforman un producto. RAE (2021).

6.2. Proceso general de roscado de tapaderas

Al trabajar una máquina de procesos específica de una línea de producción industrial, se debe tener cierta noción respecto de los tipos de línea de producción existentes en el ámbito laboral. La forma en la que se lleva a cabo la entrada de materias primas o la sustancia/objeto a procesar es lo que se define como el sistema de producción. Este, según sea el caso o las necesidades propias de la industria puede ser continuo o discontinuo. [4]

La producción continua o en serie se utiliza en industrias cuyo proceso es repetitivo y el mismo se mantiene igual por un largo tiempo. Son líneas de producción en cadena cuyo principal condicionante es la demanda del producto creado. En ciertos casos, cuando la producción no es a grande escala o se requiere un cambio continuo en la formulación del proceso, se suele utilizar una **producción discontinua o por lotes**. En este tipo de producción, se crea un componente predeterminado antes de seguir con los pasos posteriores en la línea de producción. [5]

Dada la modalidad de la línea de producción de los laboratorios del CIT, se concluye que el sistema de producción a utilizar será el discontinuo o por lotes. Entre las principales ventajas que encontramos, al utilizar este sistema contamos con mayor flexibilidad para elaborar diferentes tipos de productos utilizando las mismas máquinas. Aprovechando estas para diferentes procesos si se quisieran modificar los mismos por temas didácticos y prácticos en un futuro en la universidad. Así mismo, al apostar por esta modalidad, obtenemos la mayor sencillez del control involucrado en el proceso de producción. [6]

Si bien se encuentran muchas ventajas en la utilización de este sistema, Muñoz T. en su libro *Envasado de Conservas Vegetales* (2014), [4] menciona que, este sistema presenta un mayor coste en la mano de obra debido a los múltiples tiempos muertos que existen entre las configuraciones y readecuaciones del proceso. Esto, sin embargo no representa una amenaza ante el proyecto debido que, la mano de obra en este caso es realizada por los mismos estudiantes cuyo aprendizaje se verá enriquecido por la experiencia en planta que adquirirán.

Millan Gómez en su libro *Procedimientos de Mecanizado* [5], habla sobre las implicaciones mecánicas en el diseño de una máquina de roscado de tapaderas. Habla implícitamente también de los diferentes procesos asociados a una línea de producción y del taponado mecánico de tapaderas.

El trabajo presentado es mayormente orientado a un mecanismo ausente de componentes eléctricos, electrónicos o automatizados. A pesar que la finalidad principal de la máquina a diseñar es su programación y la automatización de procesos, y este diseño se aleja claramente de esto, se pudo tener una idea y un panorama mucho más amplio de las maneras de sujeción de botellas, sellado por fricción y otros implicantes mecánicos. El mecanismo de cierre de la máquina descrita constaba de unas cadenas de sujeción que se movilizaban en diferentes sentidos que permitían el cierre roscado de embases plásticos. Si bien el libro hace referencia al taponado de envases de vidrio y sus implicantes de diseño, no se realiza una máquina orientada a este tipo de envase. [4]

En la industria alimenticia se encuentran diferentes estándares de producción y envasado [6] que difieren de otros procesos menos demandantes. En la industria alimenticia, como es el caso, hay una parte suamamente importante que es que, el torque utilizado en el cierre de los envases no puede ser más del necesario dado que, en el caso de una rosca plana, estas se pueden dañar y ocasionar un cierre parcial y no total que puede causar la contaminación del producto con particulas externas.

Así mismo, si el torque aplicado en el cierre no es lo suficientemente grande, el fenómeno es el mismo y no se cumple con los estándares necesarios establecidos por las regulaciones internaciones de salubridad e higiene. Si bien el proceso a desarrollar en los laboratorios del CIT en la Universidad del Valle de Guatemala no son regidos por altos estándares de higiene y regulaciones internaciones de la industria alimenticia, es importante tomar en consideración estos aspectos para el buen y estandarizado funcionamiento. [7]

6.2.1. Proceso de roscado en envases de vidrio

En [6] se habla sobre las diferencias entre el manejo de envases de plástico y de vidrio en la industria alimenticia. En ello se menciona las implicaciones de diseño y de producción que existen en ambos casos. Eligiendo así el caso más controlable y adaptable a los laboratorios del CIT.

Se encuentran diferentes ventajas y desventajas de los envases de vidrio en la industria alimenticia. Depende el producto que se este envasando, se pueden utilizar tapaderas con o sin salidas de vapor. Una tapadera con salida de vapor funciona como un cierre roscado al envase que permite el escape de aire atrapado de una manera controlada. Usualmente, estos se utilizán cuando existe un proceso térmico en el sistema o línea de producción. Con este tipo de roscado, podemos crear un cierre hermético comúnmente utilizado en el envasado de conservas de origen vegetal. [1]

En contraste, los cierres sin salida de vapor son trabajados al vacío y por medio de la aplicación de fuerza. La línea de producción que se realizará en los laboratorios del CIT es una envasadora de granos. Por tal motivo, no es necesario utilizar tapaderas con salida de gases. Estas máquinas cerradoras para tapas sin salida de gases trabajan con **velocidades que oscilan desde las 10 a 1500 envases por minuto** [8]

6.2.2. Proceso de roscado en envases de plástico

La utilización de envases de plástico es cada vez más común en la industria. Esto, debido a que en la actualidad, casi todos los envases son de este material. Jugos, medicinas, salsas, pinturas y diversos productos no solo de la industria alimenticia. Además, por lo general suelen llevar tapas de rosca, que pueden ser tipo pilfer o sencillas. Igualmente, hay otras variantes que pueden ser con calor para que el contenido del envase salga a presión [4].

Los envases de plástico pueden ser reciclados. Estos deben manejarse con cuidado para no dañarlos en el proceso de taponado. Si se aplica calor al sellarlos con el tapado, la intensidad del mismo debe graduarse para no deformar el envase dadas las propiedades y el tipo de plástico a utilizarse en las líneas de producción. Por veces, es mucho más complicado trabajar



Figura 3: Imagen de referencia máquina ordenadora de botellas.

con envases de plástico comparado con los envases de vidrio^[4].

Las tapas más comunes en botellas de plástico son las flip-top. El envase se mantiene cerrado y se abre una tapadura a presión, la de tipo disc-top, se presiona un disco que permite la salida del líquido. Los atomizadores, la bomba dosificadora y las tapaderas de rosca plana. Aparte de las tapaderas tipo rosca que son las más comunes en los procesos donde se involucran envases de plástico, utilizan las de tipo pilfer, que poseen un precinto de seguridad que se debe romper para abrir la tapa. En este caso, la máquina tapadora de botellas de plástico debe aplicar algo de calor además del giro del roscado. ^[5]

6.3. Pasos generales del proceso

6.3.1. Preparación de envases a roscar

El proceso de cerrado de tapas sin salida de gases consta de una serie de pasos ordenados que garantiza la calidad de sellado de los envases y por ende, el cuidado del producto final ^[1].

Para ordenar dicho proceso, inicialmente se deben ordenar los frascos provenientes de otras máquinas de procesos asociadas. Este ordenamiento se realiza con ayuda de piezas mecánicas que posicionan cada uno de los frascos en la orientación, altura y estabilidad correcta para iniciar con el proceso de roscado ^[1].

The Order Expert en su libro *How to Set Up a Simple Production Line* (2019) ^[1] explica que, inicialmente, las tapas son orientadas de forma correcta para su asentamiento sobre el cuello del envase mediante una tolva giratoria equipada con pernos magnéticos. Estas tapas son distribuidas a través de un conducto calentado con vapor. Por medio de este, las tapas son guiadas y orientadas correctamente hasta los envases colocados sobre la banda transportadora. A partir de esto, normalmente es inyectado un pulso de vapor en el espacio superior y la tapa es finalmente roscada o comprimida para la finalización del proceso.

6.3.2. Posicionamiento de tapaderas

El proceso de posicionamiento de tapaderas es considerado como una pre-etapa. En este momento, se posicionan las tapaderas elegidas sobre la rosca del envase por medio de una tolva o una brazo robótico [4].

El tipo de tapadera de rosca se debe de seleccionar según las características y naturaleza de la máquina y sus componentes.

Los principales tipos de tapadera son:

- Tapadera de rosca plana
- Tapón PUSH PULL
- Tapón antigoteo.
- Tapón DISC TOP.
- Tapón irrellenable.
- Tapón de seguridad.

Debido a los convenios entre todos los proyectos y máquinas asociadas, la tapadera a utilizar será la **tapadera de rosca plana**. Debido a la selección de dicho tipo de roscado, se deben de tener en consideración ciertas piezas indispensables como el disco que permitirá el giro, el brazo de sujeción, la caja de engranajes asociada y demás [4].

Debido a que las roscas tanto del frasco como de la tapadera deben de estar alineadas en cierta posición para su correcto enrosque, se debe diseñar un mecanismo de sentido que reconozca ambas posiciones y las alinee previo al inicio del proceso de roscado [4].

6.3.3. Roscado

Tanto antes como después de haber envasado el producto, es importante asegurar su integridad. Hay varias herramientas que pueden utilizarse para monitorizar el estado del producto. Entre ellas, podemos implementar detectoras de vacío, dosificadoras de volumen, llenadoras, detectoras de metales y más [4].

Después del ordenamiento de los envases, con la tapadera superpuesta, se debe de tener un control claro de la posición, cantidad y nivel del producto dentro de los mismos. Previo al roscado, se debe de tener un control de calidad y de cumplimiento del proceso [4].

Depende de la selección del proceso correspondiente de los descritos anteriormente, en este caso un proceso de roscado en envases plásticos, se deben de seleccionar las etapas específicas de producción. Para el roscado, existen diferentes tipos de métodos para asegurar las tapaderas. Desde fajas y cadenas, hasta métodos electroneumáticos que garantizan una buena sujeción [1].

6.3.4. Preparación de envases secundarios

Mientras los envases de primera línea o inmediatos están siendo roscados, en la línea de producción debe existir cierta armonía o pipeline de tareas que permita realizar diferentes etapas del proceso simultáneamente. Por ende, mientras algunos envases son roscados, los siguientes en la línea de producción deben de alinearse y prepararse [1].

6.4. Diseño mecánico

El diseño mecánico es una tarea compleja que requiere disponer de habilidades de dibujo y de visualización. Su complejidad requiere una secuencia de pasos ordenados, desde la presentación y revisión de las ideas, necesidades y restricciones, hasta su implementación y manufactura. Se utilizan diferentes herramientas de diseño como el diseño asistido por ordenador (computer-aided design – CAD), el análisis por elementos finitos (finite element analysis – FEA). La utilización de solucionadores matemáticos o la impresión 3D, entre otras [9].

Senabre (2011) en su libro *Diseño mecánico con Autodesk Inventor paso a paso* [9], define *Diseñar* como la formulación de un plan que sirva para satisfacer una necesidad específica o para resolver un problema. Menciona que, si el plan da como resultado la creación de un objeto físico, este debe ser funcional, seguro, fiable, competitivo, útil, fabricable y, por supuesto, comercializable.

El diseño y manufactura de piezas mecánicas requiere la toma de decisiones, en la mayoría de los casos, con una gran incertidumbre. Ya sea por falta de información o por un exceso de información contradictoria. Otras veces las decisiones se toman de manera tentativa, por lo cual es necesario realizar numerosos ajustes a medida que se obtienen más datos. Por lo tanto, es importante que el ingeniero mecánico sea capaz de tomar decisiones y resolver los problemas que van surgiendo durante el proceso [8].

Cabe recalcar que la ingeniería mecánica incluye aspectos como la producción y el procesamiento de maquinaria, las estructuras y las instalaciones, la producción, transporte y almacenamiento de energía, con el suministro de los medios de producción, con los medios de transporte y con las técnicas de automatización. Por lo tanto, las bases de conocimiento necesarias para ejercer la actividad son muy amplias [9].

Por tales motivos, es necesario entender el proceso y la finalidad principal de la máquina a diseñar. Estableciendo todos los supuestos y todas las decisiones, ya que, de modo general, los problemas de diseño reales no tienen soluciones únicas, si no opciones adaptables a las necesidades principales según estas se jerarquizen [1].

Descripción general del proceso industrial

El objetivo principal del diseño de una línea de producción para el laboratorio de Automatización e Instrumentación Industrial del *Centro de Innovación y Tecnología CIT*, es permitirle a los estudiantes el acercamiento directo con un proceso industrial y su control.

El proceso seleccionado es el envasado de granos, el cual permite tener varias estaciones programables que fomentan y permiten el aprendizaje significativo en temas de programación y optimización de líneas de producción. El proceso completo se dividió en 4 subprocesos principales. Siendo estos **sanitización**, **llenado**, **roscado** y **clasificación** de los mismos.

En este documento, se diseñará solamente el sub proceso de roscado o cierre de tapaderas, así como sus pre y post etapas correspondientes. Para realizar la descripción técnica y el diseño mecánico de la máquina, se deben establecer ciertos limitantes o requerimientos de diseño. Estos ayudan a tener un panorama claro de las principales demandas y objetivos asociados a las necesidades críticas. A continuación, podemos observar los requisitos funcionales, operacionales y las restricciones iniciales del proyecto.

7.1. Requisitos y restricciones operacionales

7.1.1. Requisitos funcionales

- Debe medir menos de 3 m de largo para su fácil funcionamiento en cualquier área de los laboratorios de la UVG.
- Debe de poder detenerse en cualquier momento que el usuario así lo desee por términos de seguridad industrial.
- Se debe de minimizar el ruido que la misma produce a un máximo de 95 Db. Debido

a la protección auditiva de los estudiantes y usuarios de los laboratorios.

- El proceso de producción debe realizarse a una altura aproximada de 1.2 m.

7.1.2. Requisitos operacionales

- Seguro de utilizar para no poner en riesgo la integridad de los involucrados.
- Compatible mecánica, eléctrica y funcionalmente con las demás máquinas asociadas al mismo proceso.
- Debe estar controlado por un PLC, la activación será manual por medio de la fuente de alimentación asociada a la banda transportadora.

7.1.3. Restricciones

- Debe ser ensamblable y desarmable.
- Se debe de instalar en un área menor a 6 m².
- El proceso debe de ser totalmente programable y controlable.

TIPO DE REQUISITO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
Requisitos funcionales	RF01	Debe medir menos de 3 m de largo para su fácil funcionamiento en cualquier área de los laboratorios de la UVG
	RF02	Debe de poder detenerse en cualquier momento que el usuario así lo desee por términos de seguridad industrial.
	RF03	Se debe de minimizar el ruido que la misma produce a un máximo de 95 Db. Debido a la protección auditiva de los estudiantes y usuarios de los laboratorios.
	RF04	El proceso de producción debe realizarse a una altura de 1.2 m.
Requisitos operacionales	RO01	Seguro de utilizar para no poner en riesgo la integridad de los involucrados.
	RO02	Compatible mecánica, eléctrica y funcionalmente con las demás máquinas asociadas al mismo proceso.
	RO03	Debe estar controlado por un PLC, la activación será manual indirecta por medio del mismo.
Restricciones	RE01	Se debe de instalar en un área menor a 6 m^2 .
	RE02	El proceso debe de ser totalmente programable y controlable.
	RE03	Debe ser ensamblable y desarmable.

Cuadro 1: Restricciones de diseño y requisitos operacionales



Figura 4: Envase a utilizarse en el proceso.

7.2. Generalidades del proceso de roscado de tapaderas

A partir de las especificaciones anteriores, se dimensionó la descripción general del proceso de roscado de tapaderas para la línea de producción didáctica para el Laboratorio de Automatización e Instrumentación Industrial del CIT.

Principalmente, se identificaron dos etapas en el proceso. Siendo estas la **etapa de posicionamiento de tapaderas** y la **etapa de roscado**. Ambas conectadas por una banda transportadora elegida en conjunto con los otros procesos asociados a la línea de producción.

La finalidad principal del proceso es, posicionar y roscar las tapaderas plásticas en los envases de plástico evitando botar o dañar el producto que contienen. Así mismo, se debe de mantener la integridad general del proceso, evitando atascos o posibles mal funcionamientos en la maquinaria.

7.2.1. Selecciones de equipo estándar

Existen componentes cuya selección se basó en las necesidades generales de toda la línea de producción. Se estandarizaron por ejemplo, la banda transportadora, el motor y los envases a utilizar.

Envase utilizado

El envase plástico a utilizarse es de Grupo Polytec. Posee una rosca plana de 70mm con una capacidad de 479mL (Figura 5) [10].

Este envase fue seleccionado dada su practicidad específica con respecto a la rosca, tamaño y altura. Se vende en lotes de 100 Unidades, siendo de PVC, tiene un peso total aproximado de 30g.

Banda transportadora

La necesidad de una banda transportadora estándar, radica en en la necesidad de continuidad entre las diferentes etapas del proceso. La banda transportadora a utilizarse [11] es del fabricante MISUMI, las especificaciones principales se pueden observar en el Cuadro 1.

Característica	Magnitud
Ancho	150mm
Largo	1000 mm
Carga	10kg
Velocidad máxima	26.4 (m/min)
Tipo de banda	Cinturones Planos
Voltaje nominal	220 V

Cuadro 2: Características de la banda Transportadora.

A partir de la tabla anterior y de las características del envase plástico, podemos observar que el peso de estos no es un problema para la carga máxima soportada por la banda. Se utilizó el modelo CAD 3D de la misma en *Autodesk Inventor 2022* para realizar los cálculos correspondientes respecto a cargas.

Motor de acople

El Motor de acople seleccionado [12] es del fabricante *Oriental Motors*, utilizando el acople en 110V del motor. Las especificaciones principales se pueden observar en el Cuadro 2.

Característica	Magnitud
Potencia de salida	6 W
Fuente de alimentación	110/115 VAC
Frecuencia	60 Hz
Corriente	0.28 A

Cuadro 3: Características principales del motor de acople.

Se realizaron análisis de compatibilidad eléctrica entre la banda transportadora correspondiente. Esto, para garantizar el buen funcionamiento del proceso en general.

7.2.2. Etapa de posicionamiento de tapaderas

Para el posicionamiento de tapaderas asociado a la máquina, existen diferentes metodologías de control y transmisión de objetos. Las necesidades a cumplir, se detallan a continuación.

- Deberá permitir el traslado de tapaderas desde su almacén hasta el frasco posicionado en la banda transportadora.



Figura 5: Imagen ilustrativa tolva industrial.

- Se debe de tener un control por sensores de los envases para accionar esta etapa.
- Se debe garantizar el posicionamiento alineado de las mismas sobre los envases.

Tomando en cuenta los puntos mencionados anteriormente, se porponen dos mecanismos diferentes que cumplen con las necesidades detalladas.

Tolva de llenado

El primer mecanismo propuesto detalla una tolva de llenado en la cual los estudiantes deberán posicionar las tapaderas en conjunto para después estas ser despachadas por un mecanismo de control dinámico que permita regular el flujo de las mismas.

Una tolva en el ámbito industrial (Figura 6) se utiliza comunmente en el procesamiento de materiales. Habitualmente se emplea en la canalización o depósito de materiales, existen distintas formas y estructuras, dependiendo del uso principal al tipo de proceso al cual este destinada. En las principales limitantes de este mecanismo, encontramos la dificultad de alinear las tapaderas y las roscas con los envases posicionados en la banda transportadora. Esto debido a que, no hay posibilidad de garantizar que la rosca este alineada al envase al caer. Sin embargo, es un método sencillo y económico de implementar.

Banda transportadora en el transporte de tapaderas

El Mecanismo propuesto se rige en el funcionamiento y capacidad de transporte de las tapaderas por medio de bandas. Se ubica una banda de transmisión a una altura de 140 mm (Por encima del envase), la cual transporta las tapaderas de 70mm anteriormente ubicadas

por los estudiantes. Al llegar al final de la banda descrita, se posiciona un mecanismo regulador que se acciona cuando un envase se encuentra al final, posicionando así la tapadera en el lugar correcto.

De las principales esventajas de este mecanismo, encontramos el labor manual de posicionar las tapaderas en la banda transportadora una a una. Sin embargo, garantizamos el buen posicionamiento de las tapaderas y la alineación de roscas.

7.2.3. Roscado

Para el roscado de tapaderas, se encontraron diferentes limitantes en el diseño, dados los requisitos presentados.

- Deberá permitir el correcto acople del mecanismo a las tapaderas a roscar.
- Deberá roscar las tapaderas de una mandera alineada evitando vibraciones que puedan derramar el contenido de los envases.
- Se debe garantizar el posicionamiento alineado de las botellas en todo momento.

Inicialmente, se había considerado el uso de un brazo robótico con una pinza que sujetara las tapaderas y las rosacara. Este diseño se encontro poco funcional y difícil de implementar. Esto debido a que, si el torque aplicado excede el necesario, la rosca plana asociada al mecanismo de cierre, puede dañarse y ser infuncional para futuras aplicaciones. Y si el torque es menor al necesitado, las tapaderas no serán cerradas correctamente y el equipo puede derramarse.

De las principiáles limitantes de diseño, encontramos que, la altura de las tapaderas debe ser constante en todo el funcionamiento y esta no puede ser configurable para un futuro proceso diferente, lo que la hace poco didáctica y hace que el proceso no pueda ser sujeto de mejoras o cambios.

Otro mecanismo a considerar, es el presentado en la Figura 7. El cual consiste en un control de torque por revolución que rosca tapaderas de botellas y envases plásticos. Para encontrar el valor de torque necesario para el cierre, se propusieron diferentes alternativas tanto prácticas como experimentales. En primera instancia, se analizó la posibilidad de adquirir un aparato específico de cierre que, al funcionar como un *torquímetro*, mide el torque aplicado a una botella mientras esta se cierra. El catálogo encontrado para estos equipos es de la marca Andilog. [7]

Estas máquinas funcionan con ciertos componentes principales como el plato que funciona como un soporte de botellas que protege el tornillo durante el posicionamiento de la misma. Las muestras están mantenidas sobre los puestos de ensayos mediante dedos de caucho flexibles que evitan el deslizamiento, la degradación o la marcación de las muestras durante las mediciones de par. El ajuste del diámetro de apriete, de 10 hasta 200 mm, se hace através de una rueda que permite un posicionamiento al centro del plato. [7] Con respecto al funcionamiento de los sensores, tenemos que la electrónica embarcada verifica al arranque del torquímetro que el sensor no sea deteriorado o anormalmente sobre cargado. [7]



Figura 6: Máquina ilustrativa de control por revoluciones.

Al utilizar estas máquinas, se resuelve el problema del torque necesitado. Sin embargo, los diferentes problemas de diseño, siguen existiendo. Lo que hace de este diseño, poco viable y funcional.

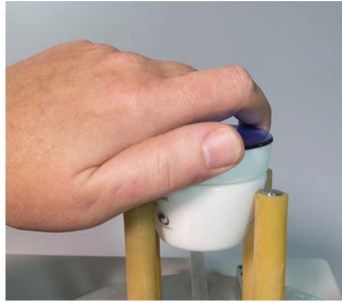
Se encontraron opciones manuales que cumplen las características establecidas, cuyo precio es mucho mas accesible y comercial, pudiendo medir el torque necesario para cada aplicación, guardando el dato y programando para cerrar las botellas de una manera correcta y específica. Sin embargo, el control del mismo es puramente manual y no puede ser controlado por un PLC o una señal automatizada. Por ende, el equipo como tal, fue descartado.

Si bien el equipo propuesto, el funcionamiento puede llegar a ser funcional si se logra tener control de las señales asociadas. Por tal motivo, se buscó cambiar el diseño completo de la máquina a una alternativa neumática o más viable para poder obtener el mejor diseño y trabajar sobre la línea de funcionalidad establecida en los requisitos de funcionamiento y fabricación.

Se tienen dos propuestas de diseño para lograr un mecanismo mas acoplado a las necesidades tanto de control como de diseño. Estas dos ideas se analizan detrás de un *Trade Study* para analizar su funcionalidad y ventajas.

El primer diseño retrata un mecanismo que replica la funcionalidad del equipo anterior, pero con accionado por un PLC o dispositivo de control y automatismo. Su funcionalidad se basaría en el posicionamiento prematuro de las tapaderas sobre las botellas, para que después, por medio de un mecanismo de accionamiento neumático, un dispositivo baje, se posicione y gire para lograr cerrar las botellas.

Por medio de este diseño, y al ser controlado de manera neumática, podemos regular el



Página 3

Anditork, Medición manual del par de apriete en los tapones



Página 6

Drivetork, mediciones de par automatizadas

Figura 7: Imágen ilustrativa torquimetro ANDILOG.



Figura 8: Imagen ilustrativa de proceso de roscado controlado neumáticamente

paso de las válvulas asociadas y lograr que se acople a la altura necesitada en el proceso según las necesidades.

Un claro ejemplo de esta modalidad de trabajo en la industria, puede apreciarse en la Figura 7. En donde un proceso neumático rige las botellas y su roscado.

Con respecto al diseño y fabricación del mismo, se puede utilizar un mecanismo de acople mecánico ajustable al diámetro de trabajo y, este se pueda acoplar a un dispositivo de control y un motor DC que permita el giro.

La segunda idea de roscado, se basa en un componente puramente de control mecánico, basado en rodillos y fajas. En este, se puede apreciar un funcionamiento de dos rodillos o bandas trasladándose en dirección opuesta. Uno en contacto con la tapadera y otro en contacto con el frasco. La velocidad de las bandas de roscado debe ser alineada a la velocidad de paso de la banda transportadora, evitando atrasos en la línea de producción.

Debido al deslizamiento mecánico presente en las banadas y rodillos, pueden existir

productos o elementos que no sean cerrados de una manera correcta. Sin embargo, el diseño y control de la misma es mucho más sencillo y barato que las ideas presentadas anteriormente.

En ambas opciones, se debe de considerar el posicionamiento anterior de las tapaderas y la alineación de roscas.

En esta sección se detallan los prototipos realizados basándose en las restricciones, necesidades y propuestas hechas anteriormente.

8.1. Prototipo 1

El diseño del prototipo 1 se basó en la etapa de roscado solamente. Esto, basándose en las ideas principales planteadas anteriormente. Realizando así el diagrama presentado en la Figura 10. En donde se ilustra y simula el funcionamiento neumático elegido en el capítulo anterior.

El diseño se realizó en *Autodesk Inventor 2022*. Se fabricaron las diferentes piezas requeridas, utilizando los cilindros neumáticos DIN ISO 6432 de 8mm de diámetro y 16mm de carrera. Al ser el primer prototipo, se tomaron en cuenta solamente las generalidades de funcionamiento del mismo. Se estableció la base y los pistones anteriormente mencionados. En este, se pueden visualizar solamente los elementos asociados al roscado como una visualización y posicionamiento de piezas.

Este prototipo tiene deficiencias de diseño y manufactura significativas. Principalmente, notamos que la pieza que soporta el mecanismo neumático es un bloque de Aluminio de 10x10 cm. Lo cual, la hace sumamente cara y difícil de fabricar. Otra deficiencia de diseño que encontramos en este prototipo es que, los soportes no están definidos, por lo tanto encontramos diferentes vibraciones mecánicas y de desalineación.

El momento de torsión al que está expuesto el soporte del mecanismo neumático, es significativo. Esto debido a que se encuentra en voladizo. Esto hace que los esfuerzos asociados a la estructura no soporten mantenerse en pie.

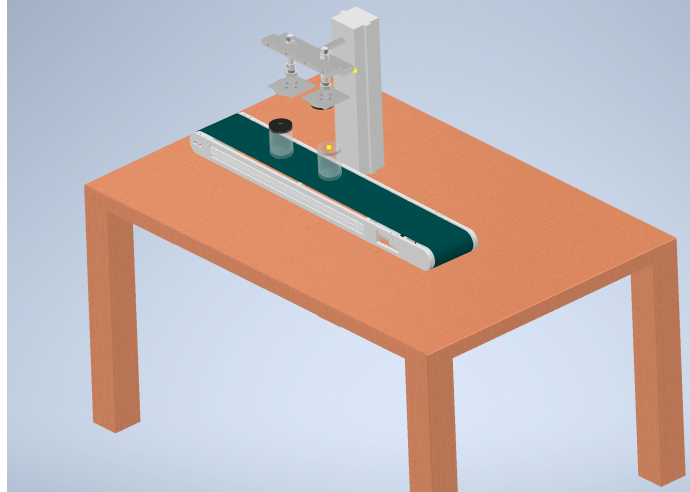


Figura 9: Prototipo inicial.

Por ende, el prototipo 01 posee muchos puntos de mejora y requiere un rediseño completo estructural y mecánicamente, por lo que se realizó una estructura con perfiles **T-Slots** de 30X30mm del fabricante MISUMI.

En esta nueva propuesta, se resuelven los problemas de manufactura de la estructura y las piezas asociadas. Así mismo, se plantea el uso de perfiles en *L* para la sujeción en la mesa y evitar así vibraciones y desalineamientos importantes en el proceso de trabajo. Se utilizan los mismos cilindros que en la propuesta inicial. Sin embargo, se identifican nuevas limitantes de diseño.

Como se puede observar, la pieza sigue estando en voladizo, lo que en términos de esfuerzos, impide el funcionamiento correcto de la máquina. Así mismo, el proceso neumático sufre muchas deficiencias de diseño al no tener un eje de deslizamiento y guía vertical.

8.2. Prototipo 02

En el prototipo 2 se enfocó principalmente en la pre etapa de posicionamiento de tapaderas en los envases plásticos previo al roscado.

En este nuevo prototipo, podemos observar la elección de la propuesta de una Tolva que posicionara las tapaderas en un mecanismo tipo dispensador. Dadas las limitantes presentadas anteriormente, asociadas directamente con la tolva, se optó por un tubo de diámetro de 72mm. El diámetro limitado de este tubo, permite que los estudiantes puedan ingresar las tapaderas alineadas y orientadas correctamente, para después pasar por un pasillo cuya altura difiere del ancho de la tapadera por 3mm, y llegar así a un tornillo sin fin cuyo diseño se explica a continuación.

Todas estas piezas y ensambles se encuentran montados en una estructura de perfiles de Aluminio de 30x30 mm del fabricante MISUMI [13], cuyo máximo soporte se encuentra un 35% arriba del peso real recargado en ellos.

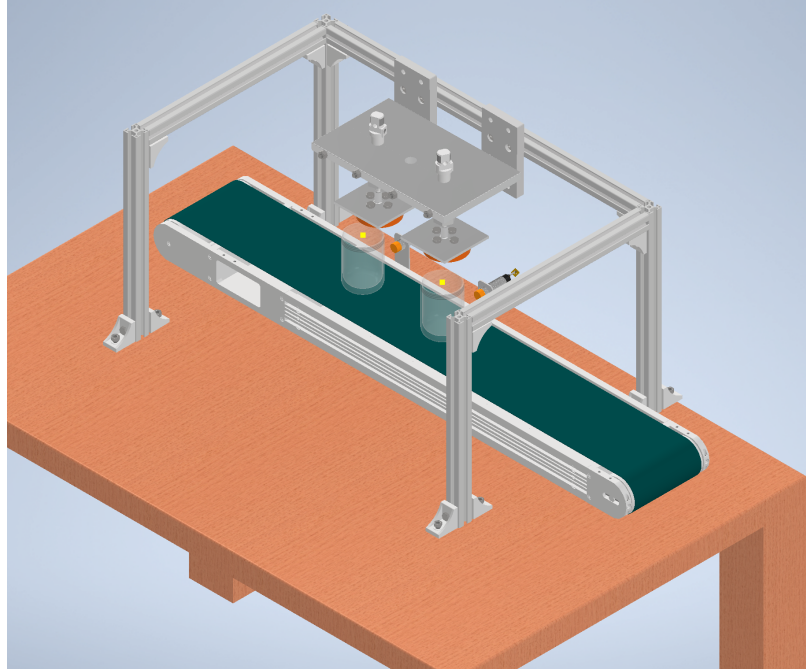


Figura 10: Prototipo inicial versión 2.

8.2.1. Diseño de tornillo sin fin

El tornillo sin fin que se puede apreciar en el prototipo 02, sirve como un mecanismo de control para dispensar las tapaderas solamente cuando un envase se encuentra en la posición deseada. Esto por medio de unos sensores de proximidad explicados en el diseño eléctrico.

Torques y momentos asociados

En este eje se tiene como fuerzas externas las producidas por el contacto con la estructura de sosten y los cojinetes de manera axial. Así mismo, la fricción asociada a este tipo de contacto. Sin embargo, solo se toman en cuenta las fuerzas axiales como el peso del eje. El torque es considerado despreciable dado el posicionamiento vertical del mismo.

Los rodamientos axiales, están diseñados para resistir la fuerza en la misma dirección que el eje. Esto se denomina carga axial o carga de empuje. En la Figura , se puede observar una figura ilustrativa del posicionamiento de los mismos

Cabe recalcar que, en el ensamble final, el eje se acompaña de los rodamientos axiales mencionados. Esto para garantizar su buen funcionamiento y para evitar fallos por cargas y fuerzas asociadas.

El diseño del tornillo sin fin fué basado en el libro *Machine Elements in Mechanical Design* (2004) [14]. Principalmente, se estableció el tipo de curvatura de hélice dependiendo de la aplicación a realizar.

Mott (2004) [14] menciona los diferentes tipos de hélice según la aplicación, información detallada en el Cuadro 5.

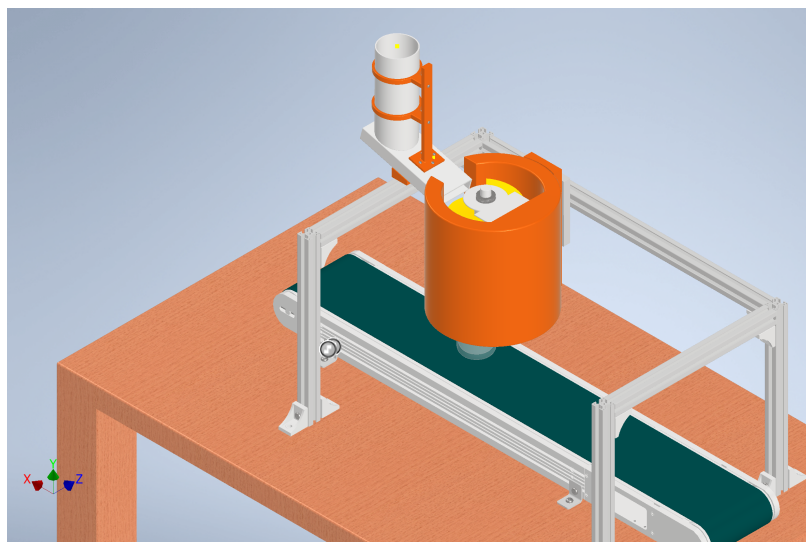


Figura 11: Prototipo 2: Posicionamiento de tapaderas vista 1

Tipo de hélice	Aplicación
Hélice continua	Tipo de hélice normal para transporte de sólidos
Hélice de gran paso	Se utiliza para productos que fluyen muy bien
Hélice de pequeño paso	Se utiliza en tornillos sin fin inclinados hasta unos 20-25° o cuando se quiere un prolongado tiempo de permanencia en el tornillo.
Hélice de paso variable	Utilizado para compresión de productos, como es el caso de las prensas de tornillo.
Hélice de diámetro variable	Se utiliza como extractor dosificador de sólidos de tolvas.

Cuadro 4: Mott, (2004) aplicaciones de tornillo sin fin [14]

Como podemos observar, la aplicación destinada para este tornillo sin fin es el transporte de sólidos, en este caso las tapaderas. Utilizando entonces una hélice continua y sin variaciones diametrales.

Uribe (1996) en su Artículo *Transporte de la pulpa de café a los Procesadores mediante Tornillo Sin Fin* [15] menciona la proporción necesaria entre el diámetro del eje y la hélice, comparado con el diámetro total del objeto de transporte, en este caso las tapaderas. Esta proporción de ideal funcionamiento menciona que, al menos la mitad de la tapadera debe de estar dentro de las hélices del tornillo [15]. Tomando en cuenta que las tapaderas tienen un diámetro total de 70 mm Mostrado en la Figura 4, podemos concluir que el mínimo radio libre de hélice debe de ser de 35mm. Respecto al eje asociado, y debido a que el mismo no cuenta con esfuerzos radiales que contribuyan al sistema, se procede a dimensionar los diámetros del mismo basándose solamente en las proporciones necesarias para el buen funcionamiento del tornillo sin fin.

Uribe (1996) [15] menciona que la proporción ideal entre el eje de trabajo y el radio de hélice libre debe ser 0.4.

Se menciona también que, mientras mayor sea la porción del objeto a transportar dentro de la hélice, menor será la probabilidad de deslizamiento en el movimiento de transporte, por

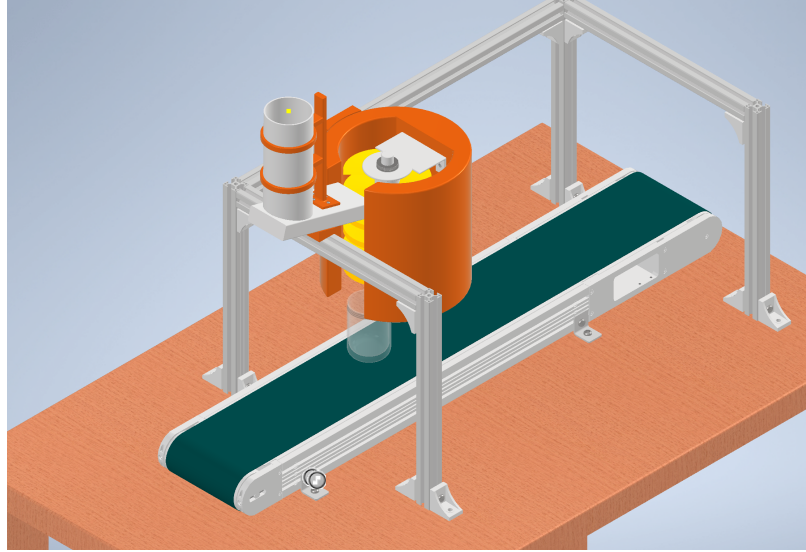


Figura 12: Prototipo 2: Posicionamiento de tapaderas vista 2

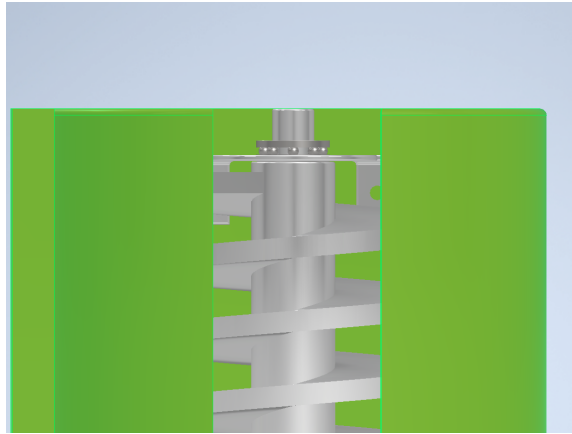


Figura 13: Posicionamiento de cojinete axial en tornillo sin fin.

lo que, al adecuarlo al arreglo estructural se trabajo con un radio de hélice libre de 50mm.

Por ende, y respetando las proporciones mencionadas anteriormente, se llegó a las medidas representadas a continuación.

$$R_{helice} = 50mm \quad (1)$$

$$D_{eje} = 20mm \quad (2)$$

Por su parte, el paso del tornillo sin fin debe ser el radio mínimo permitido para la hélice, permitiendo siempre el paso de las tapaderas.

$$Paso_t = 35mm \quad (3)$$

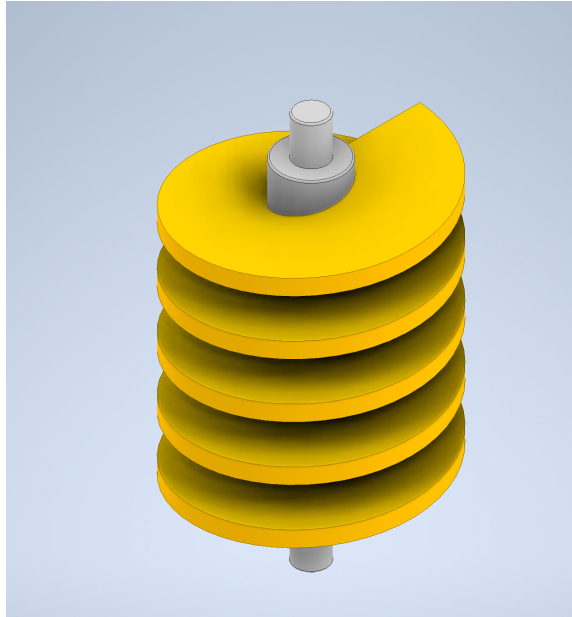


Figura 14: Diseño final del tornillo sin fin

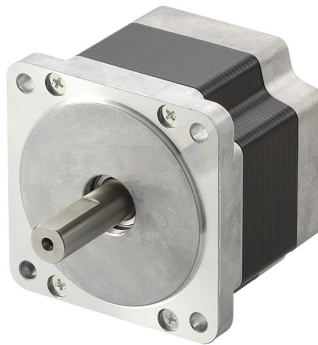


Figura 15: Motor stepper DC.

El largo, o cantidad de crestas del tornillo se dimensionaron basándonos en cuantas tapaderas podrán estar dentro del proceso al mismo tiempo. En este caso, 5 tapaderas. Este número se tomo debido a la velocidad de proceso y funcionamiento esperada de la máquina.

A partir del diseño de componentes realizado anteriormente, se pudo concluir que el diseño de ambos componentes mecánicos, cumple con las especificaciones de diseño planteadas al inicio, evitando así la falla o mal funcionamiento del mismo.

El arreglo propuesto para la máquina utiliza como eje de entrada, la salida del motor eléctrico presentado en la figura siguiente. Por ende, el eje a diseñar debe ser el eje de salida del sistema.

El motor presentado anteriormente será el encargado de girar el eje asociado al prototipo por medio de un acople con una brida FC 149 Incluida en el motor. Se eligio un motor DC, contrario a uno AC por el control que se tiene sobre estos respecto al control por revoluciones y el tamaño. Enriquez (2006) en su libro *The ABC of Electrical Machines* [16] menciona

Tipo	2-Phase
VDC	1.9 V
D Eje	1/2 in
Brida/Acople	MLR-20C-6-8

Cuadro 5: Características del motor DC

que, un motor AC con las mismas condiciones que un motor DC, puede llegar a pesar hasta un 30 % más. Peso que no sería soportado por la estructura actual.

Otra ventaja que considerable es la cantidad de mantenimiento y desgaste que sufren ambos tipos de motores. Siendo el mantenimiento del motor DC mucho menor.

En el Cuadro 4, se pueden observar las características principales del motor asociado.

Este motor fue validado bajo ciertos criterios tanto de acople mecánico por medio de bridas, como los cálculos respecto a las necesidades de torque y velocidad del tornillo sin fin.

El torque necesario para mover el tornillo sin fin esta dado por la siguiente ecuación:

$$\tau = I\alpha \quad (4)$$

Donde, τ es el torque asociado, I el momento de inercia y α la velocidad angular especificada para el proceso. La velocidad de funcionamiento en el despacho de las tapaderas y el tornillo sin fin, es dependiente directamente de la velocidad global del proceso y de la línea de producción. The order Expert (2019) [1] menciona que el promedio de embotelladoras trabajan a una velocidad promedio de 80 bpm. Esto debido a muchos implicantes económicos asociados a la industria alimenticia.

Sin embargo, el enfoque principal de la línea de producción es la práctica y aprendizaje de los estudiantes. Por lo que se espera, ellos puedan programar, entender y visualizar cada etapa a una velocidad adecuada. Por ende, la velocidad global de la línea de producción será la mitad del promedio industrial, 40bpm. Siendo la velocidad de cada una de las 4 etapas 10bpm.

A partir de esto, se trabajó con la relación establecida en la ecuación 4. Uribe (1996) menciona que, cuando un tornillo sin fin es utilizado para transportar objetos sólidos no granulados contables,el mismo se puede modelar matemáticamente como un eje cuyo diámetro estándar es el diámetro externo de la rosca libre [15].

De esta manera, se puede utilizar el mismo modelo como un factor de seguridad que garantice que el torque calculado puede suplir el torque real del arreglo. Definiéndose entonces el momento de inercia con la ecuación 5.

$$I = \frac{1}{12}ML \quad (5)$$

Esta ecuación define el momento de inercia de un eje con masa M y Longitud L , estando el eje de giro alineado al centro de masa.

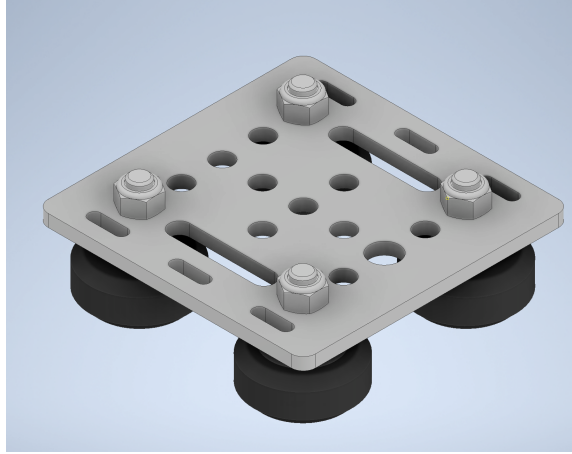


Figura 16: Kit de rieles

La información física del objeto se obtuvo de *Autodesk Inventor 2022*. En donde se cálculo la masa estimada del objeto al manufacturarlo en Aluminio 6061. Se eligió este material para la manufactura del tornillo sin fin, debido a que es una aleación de una resistencia entre media y alta. Resiste bien la corrosión, y tiene buena soldabilidad, ductilidad y maquinabilidad. Permitiendo así su buen manejo por los estudiantes y profesores. La masa estimada proporcionada por Inventor es de aproximadamente 2.6 Kg. y el largo 250 mm.

$$I = \frac{1}{12}(2.6)(0.25) = 0.054kgm^2 \quad (6)$$

En el prototipo final 2 se muestran dos estructuras principales. En estas, se retratan las etapas específicas asociadas al proceso de cerrado de tapaderas, siendo estas el posicionamiento de tapaderas controlado principalmente por el tornillo sin fin diseñado, y el roscado de las mismas.

8.3. Prototipo 03

El prototipo 3 presenta la unión y convergencia de las dos etapas asociadas a la máquina. Tanto de posicionamiento de tapaderas, como el roscado de las mismas. En las Figuras [17](#) y [18](#), se puede observar que se implementan dos estructuras parecidas a las descritas anteriormente. Sin embargo, en la etapa de roscado observamos considerables mejoras en el mecanismo neumático.

Se utilizaron cilindros cuya carrera asciende a los 20cm del fabricante FESTO. se incluyeron los ejes y guías verticales, garantizando un movimiento alineado y el buen movimiento del marco móvil. Esto se realizó por medio de rieles y perfiles **V-Slots** de 20x20 mm del fabricante *OPENBUILDS*. Por medio de estos perfiles en V, podemos garantizar el buen deslizamiento de todo el marco superior guiado por los rieles mostrados en la Figura [16](#).

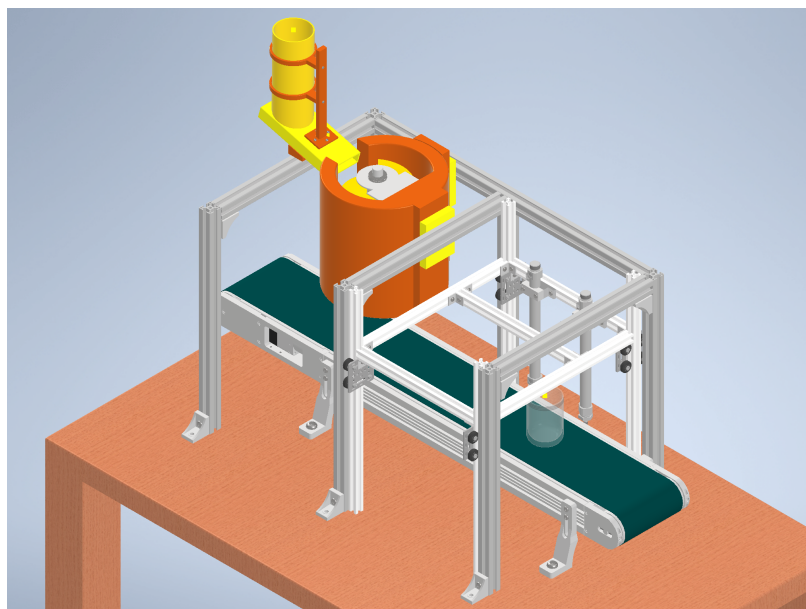


Figura 17: Prototipo 03 vista 1

8.3.1. Diseño neumático

Como se mencionó anteriormente, en la segunda subetapa de roscado de tapaderas, se utiliza un sistema de aire comprimido para el accionamiento de los cilindros neumáticos. Este sistema se encuentra conformado por tuberías y accesorios a través de los cuales se mueve el flujo de aire desde el compresor hasta el actuador. En este caso, los cilindros.

Para tener un control total en el accionamiento de la red neumática, se utilizaron válvulas direccionales electroneumáticas cuya función principal es abrir o cerrar los conductos de la red. Funcionando como conexión e interrupción entre el actuador y el compresor.

La selección de una válvula adecuada radica en que, la válvula funciona como el elemento donde se centraliza el control proveniente desde el PLC en la red. En este caso, se debe de utilizar una válvula monoestable.

Como se sabe, estas tienen una posición de reposo estable, que es en la que permanecerá la válvula de forma indefinida si no actúa sobre ella la señal de control proveniente del PLC. Las válvulas monoestables pueden ser normalmente abiertas o normalmente cerradas. Serán NA cuando en su posición estable dejen pasar el aire comprimido hacia los elementos de consumo. Serán normalmente cerradas NC cuando en su posición estable no dejen pasar el aire o lo dejen pasar desde los elementos actuadores hacia el escape. En el caso aplicable al sistema neumático de la máquina, se traduce a que, la válvula debe de enviar un pulso o una señal momentánea de control que active el movimiento vertical del marco de roscado hasta que se envíe una nueva señal de paro o bien, se llegue al límite mecánico permitido.

Según la clasificación de válvulas presentada anteriormente, se eligió una válvula de 5 vías y 2 posiciones monoestable del fabricante FESTO código MFH-5-1/4-S-NPT. (Figura 20).

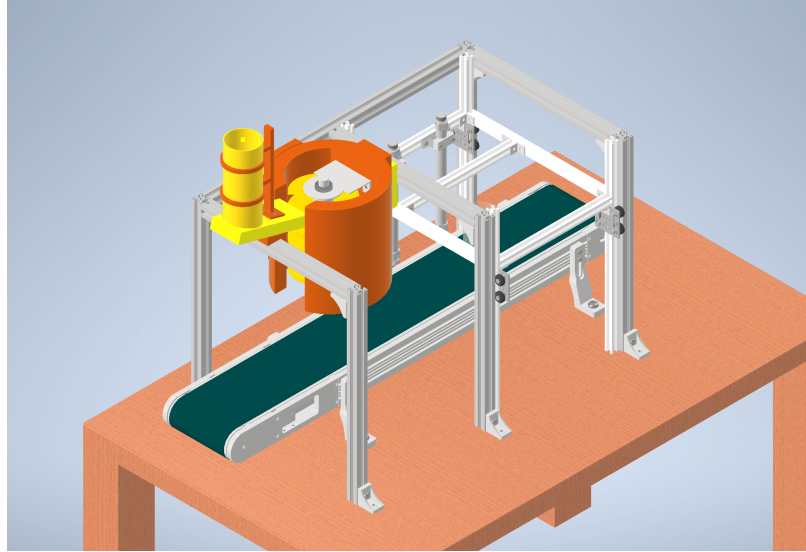


Figura 18: Prototipo 03 vista 2

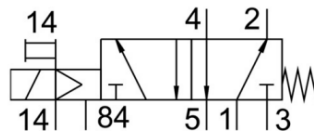


Figura 19: Diagrama de válvula 5/2

Respecto al compresor, se utilizó uno de 6 a 10 bar de la marca Atlas Copco. Estos tienen un promedio de 20000 hrs de vida útil, con un ciclo de trabajo del 100 % tipo LF exento de aceite con una presión máxima de trabajo de 10 bar (145 psi). A partir de la tabla presentada en la Figura 21, se pudo especificar el compresor exacto a utilizarse en el arreglo.

Para dimensionar el compresor con ayuda de la Figura 21, se necesita encontrar el Caudal medido en condiciones de aspiración o FAD. Tenemos que tener en cuenta entonces la temperatura de aspiración del aire, humedad y presión absoluta en el lugar donde se ubica el compresor. Rigiéndose por la norma ISO 1217, se utilizó un Compresor LF5 con el cual se realizó la simulación neumática de la red en *FESTO Fluidsim Pneumatics*.

Se utilizó este software para el dimensionamiento, simulación y estructuración de la red neumática debido a que, tanto los cilindros de activación neumática y las válvulas 5/2 son del mismo Fabricante.

En esta simulación se realizó con el peso total del Marco móvil calculado en inventor con un factor de seguridad de 3 (8.3 N). Esto para poder suplir el movimiento vertical del marco creado con VSlots de 20x20 mm y todos los componentes asociados al proceso (Figura 22)

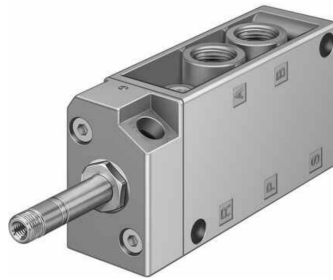


Figura 20: Válvula MFH-5-1/4-S-NPT. FESTO (2021)

EXENTOS DE ACEITE: SERIE LF

Tipo de compresor	Presión máxima de trabajo		FAD a 50 Hz			FAD a 60 Hz			Potencia instalada del motor		Nivel sonoro
	bar	psig	l/s	m ³ /min	cfm	l/s	m ³ /min	cfm	kW	CV	dB(A)
LF 2	10	145	3,1	0,19	6,57	3,5	0,21	7,42	1,5	2	82
LF 3	10	145	4	0,24	8,48	5,5	0,33	11,65	2,2	3	83
LF 5	10	145	8,2	0,49	17,37	11,1	0,67	23,52	4	5	83
LF 7	10	145	11	0,66	23,31	18,4	1,1	38,99	5,5	7	84
LF 10	10	145	15,5	0,93	32,84	24,2	1,45	51,28	7,5	10	86

* Opcionalmente puede incorporar secador frigorífico, adsorción o membrana con sus filtros correspondiente.

Figura 21: Tabla de selección de compresores. Atlas Copco (2021).

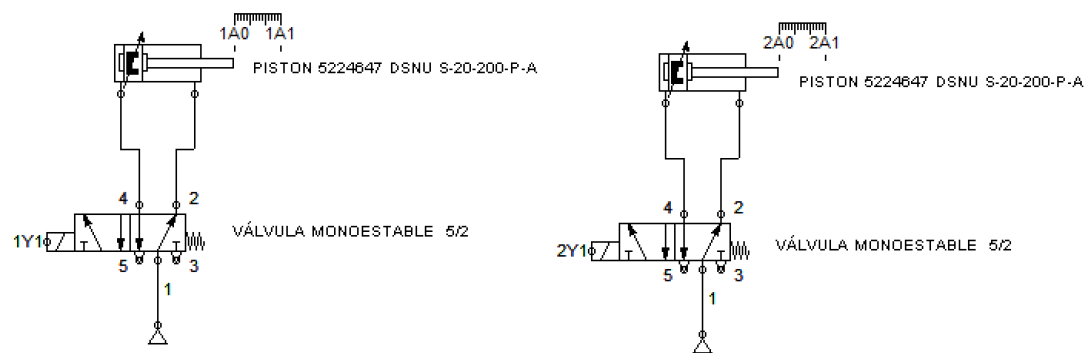


Figura 22: Simulación neumática realizada en FLUIDSIM PNEUMATICS.

Calibre de cable	Ampacidad		Cubiertos	
	60°C	75°C	Ohm/km	Área (mm ²)
24 AWG	2	2		0.34
22 AWG	3	3		0.34
20 WG	5	5		0.65
18 AWG	7	7	26.5	0.823
16 AWG	10	10	16	1.31

Cuadro 6: Características de conductores AWG según NEC

Selección de calibre de cable		
Componente	Consumo (A)	Calibre
Motor banda transportadora	0.35	24
Motor DC	3	22
Sensores de proximidad	0.08	24
Bobina de válvulas	2	24
Alimentación del sensor	0.06	24
Salidas sensor	0.06	24
Motor (24V DC)	3	22
Driver de motor DC	0.42	24

Cuadro 7: Consumo de corriente de componentes activos y calibre de cable seleccionado

8.3.2. Diseño eléctrico

Una vez terminada la distribución y planeación tanto mecánica como neumática, se procedió a realizar el unifilar y la interconexión eléctrica entre los actuadores, motores y el dispositivo de control. El proceso de diseño de la red eléctrica se realizó con ayuda del software *Autodesk Electrical 2022*. El unifilar se realizó basándose en los artículos 310 y 240 del NEC [17]. En estos, se establecen los principios de funcionamiento e instalación de máquinas industriales de consumo de corriente establecido.

Se calculó el amperaje de los elementos asociados que tienen un consumo de corriente significativo. Debido a que es una máquina didáctica cuyo funcionamiento depende de la programación y enfoque que cada estudiante le desee dar, el factor de carga para establecer el calibre de cable de trabajo se considera bajo el peor de los casos (Conexión continua) igual a 1.25.

Se multiplicó entonces el consumo aparente de cada componente activo con el factor de carga para encontrar el consumo real en el peor de los casos. En el Cuadro 7 podemos observar las características principales y la ampacidad de cada uno de los calibres de cable AWG.

A partir de la ampacidad descrita en el cuadro, y el consumo real según la temperatura de funcionamiento, se pueden observar estos datos y criterios de elección en el cuadro.

El unifilar de relaciones y conexiones eléctricas se realizó en *Autodesk Inventor 2022*.

CAPÍTULO 9

Presupuestos

En este capítulo se estarán desarrollando y ampliando los presupuestos planeados para la correcta ejecución e implementación de la máquina de roscado de tapaderas diseñada en el cuerpo de este documento. Se encuentran considerados todos los materiales mecánicos, eléctricos y de control que se utilizaron en la planimetría y diseño del prototipo final (Prototipo 03).

Referencia	Cantidad	Unidad	Nombre	Fabricante	Código
1	2	UN	Pistones cilindricos	FESTO	5224647 DSNU S-20-200-P-A
2	4	UN	KITS para VSLOTS	OPENBUILDS	1195-Set
3	22	UN	Brackets de soporte	MISUMI	HBLFSNF8
4	8	UN	Anclajes de soporte	MISUMI	HFDANK6
5	2	UN	Rodamiento axial	SKF	51104
6	1	UN	Banda transportadora	MISUMI	CVSMA-150-1000-6-TA220-SCM
7	2	UN	Sensores de proximidad	FESTO	CRSMT 8PSK 5L 24
8	5	m	Perfil de aluminio T-Slot 30x30 mm	MISUMI	KHFS6-3030-1000
9	6.5	m	Perfil de aluminio V-Slot 20x20 mm	OPENBUILDS	280-LP
10	1	UN	Motor monofasico 1HP	WEG	13029397
11	20	Metros	Cable	ELECTROMA	NA
12	20	Metros	Cable	ELECTROMA	NA
13	1	UN	Tornillo sin fin	LOCAL	
14	1	UN	Piezas de manufactura	LOCAL	NA
15	1	UN	Piezas de impresión 3D	LOCAL	NA
16	2	UN	Valvulas FESTO pneumatics	FESTO	564212

Cuadro 8: Presupuestos 1.1

Referencia	Descripción	Precion Unitario	Sub Total
1	Pistones de activacion neumática	\$ 58.00	\$ 116.00
2	V-Slot gantry kit - 20mm	\$ 31.99	\$ 127.96
3	Brackets - 8 series, reversal brackets, with tab	\$ 0.85	\$ 18.70
4	Anchors for aluminum extrusions	\$ 17.14	\$ 137.12
5	Rodamientos axiales de bolas de simple efecto	\$ 19.15	\$ 38.30
6	Flat belt conveyor motor - integrated type 3, groove frame, pulley diameter 70mm	\$ 2,265.99	\$ 2,265.99
7	Proximity sensor, contactless, PNP, for drives w/T-slot, 10-30V, 5m cable	\$ 93.93	\$ 187.86
8	30x30 aluminum extrusion - 6 series, base 30	\$ 11.44	\$ 57.20
9	20x20 Auminum extrusion VSLOT	\$ 10.69	\$ 69.49
10	Motor monofásico 1HP 1500 rpm WEG	\$ 160.00	\$ 160.00
11	Cable AWG calibre 8	\$ 6.41	\$ 128.21
12	Cable AWG calibre 12	\$ 4.49	\$ 89.74
13	Tornillo sin fin manufactura	\$ 200.00	\$ 200.00
14	Variedad de piezas de aluminio	\$ 200.00	\$ 200.00
15	Variedad de piezas de filamento 3D	\$ 300.00	\$ 300.00
16	Valvulas FESTO pneumatics	\$ 150.00	\$ 300.00
			\$ 4,396.56

Cuadro 9: Presupuestos 1.2

- El fabricar una máquina de roscado y posicionamiento de tapaderas es significativamente menos costoso comparado con la compra de una máquina industrial pre fabricada.
- Se realizaron los planos mecánicos de todas las piezas diseñadas tanto en 3D como piezas torneadas. Permitiendo su fácil implementación futura.
- Si bien los tornillos sin fin son comunmente utilizados en el ambiente industrial para transporte de granos, se demostró su eficiencia en el transporte vertical de sólidos contables como las tapaderas.
- Se cumplieron las necesidades didácticas establecidas al inicio del proyecto, permitiendo tener procesos completamente programables y adaptables.
- Se diseñó un modelo 3D por medio de software asistido por computadora, que permite la correcta visualización y distribución de componentes y estructuras.

Recomendaciones

- Realizar el cableado eléctrico y de acople en *Autodesk Electrical* para tener una noción más clara respecto a la distribución de cables de transmisión en el arreglo. De esta manera, se puede tener un panorama claro del cableado físico.
- Realizar un manual de armado que permita el buen ensamble y optimizar el proceso. Para facilitar la implementación de buenas prácticas y garantizar el armado del mismo.
- Fijar la mesa de soporte al suelo en el lugar donde se implementará la línea de producción. Evitando así vibraciones significativas que podrían dañar el proceso.
- Imprimir las piezas para re validar los calculos realizados. Implementar los análisis de deflexión en los laboratorios de Metal-Mecánica de la universidad para garantizar un buen funcionamiento de la máquina sin fallos inesperados.
- Optimizar la producción por medio de análisis de tiempo. Por medio de análisis de optimización, se puede garantizar una mejor aplicación de las líneas de producción y los procesos industriales.

-
- [1] T. O. Expert, “How to Set Up a Simple Production Line,” vol. 1, n.º 1, pág. 1, 2019.
 - [2] F. IV, “Real Academia Española,” *RAE*, vol. 1, n.º 1, pág. 1, 2019.
 - [3] S. Electric, *Manual Electrotécnico Telesquemario*. Estado, 2017, vol. 1, pág. 187.
 - [4] L. Solar, *Técnicas de envasado y empaque*. ITDG, 1998, vol. 5, pág. 33.
 - [5] S. MILLAN GOMEZ, *Procedimientos de Mecanizado*. Paraninfo, 2006, vol. 1, pág. 0309.
 - [6] T. Sánchez Muñoz, “Envasado de conservas vegetales. INAVO109,” págs. 110-122, 2014.
 - [7] ANDILOG, “Torquímetros ANDILOG,” <https://es.andilog.com/torquímetros-medida-torque-centor-celula-de-par-estatica-dinamica.html>, vol. 1, n.º 1, pág. 1, 2021.
 - [8] V. N. Beliáev, *Atlas De elementos de Máquinas y Mecanismos*. GSB, 1985, vol. 1, págs. 44-56.
 - [9] C. S. Blanes, *Diseño mecánico con Autodesk Inventor paso a paso*. Club Universitario, 2011, vol. 1, págs. 269-281.
 - [10] D. L. Grupo Polytec, “ENVASE PLASTICO 70MM,” pág. 01, 2021.
 - [11] MISUMI, “Flat Belt Conveyor Motor - Integrated Type 3, Groove Frame, Pulley Diameter 70mm (MISUMI) (Drawing/Specifications),” pág. 01, 2021.
 - [12] O. Motors, “AC Speed Control Motor and Controller,” pág. 01, 2021.
 - [13] MISUMI, “30x30 Aluminum Extrusion (MISUMI) (Drawing/Specifications),” pág. 01, 2021.
 - [14] R. L. Mott, *Machine Elements in Mechanical Design*. Pearson Educación, 2004, vol. 1, págs. 360-362.
 - [15] J. R. S. Uribe, “Transporte de la pulpa de café a los Procesadores mediante Tornillo Sin Fin,” *Avances Técnicos CENICAFE*, vol. 1, n.º 1, págs. 1-8, 1996.
 - [16] G. E. Harper, *The ABC of Electrical Machines*. LIMUSA, 2006, vol. 1, págs. 11-14.
 - [17] N. F. P. Association, *National Eléctrical Code*. NFPA, 2017, vol. 1, págs. 150, 447.

CAPÍTULO 13

Anexos

En esta sección se presentan los planos mecánicos y de implementación de la totalidad de piezas mecánicas presentadas en el prototipo 03.

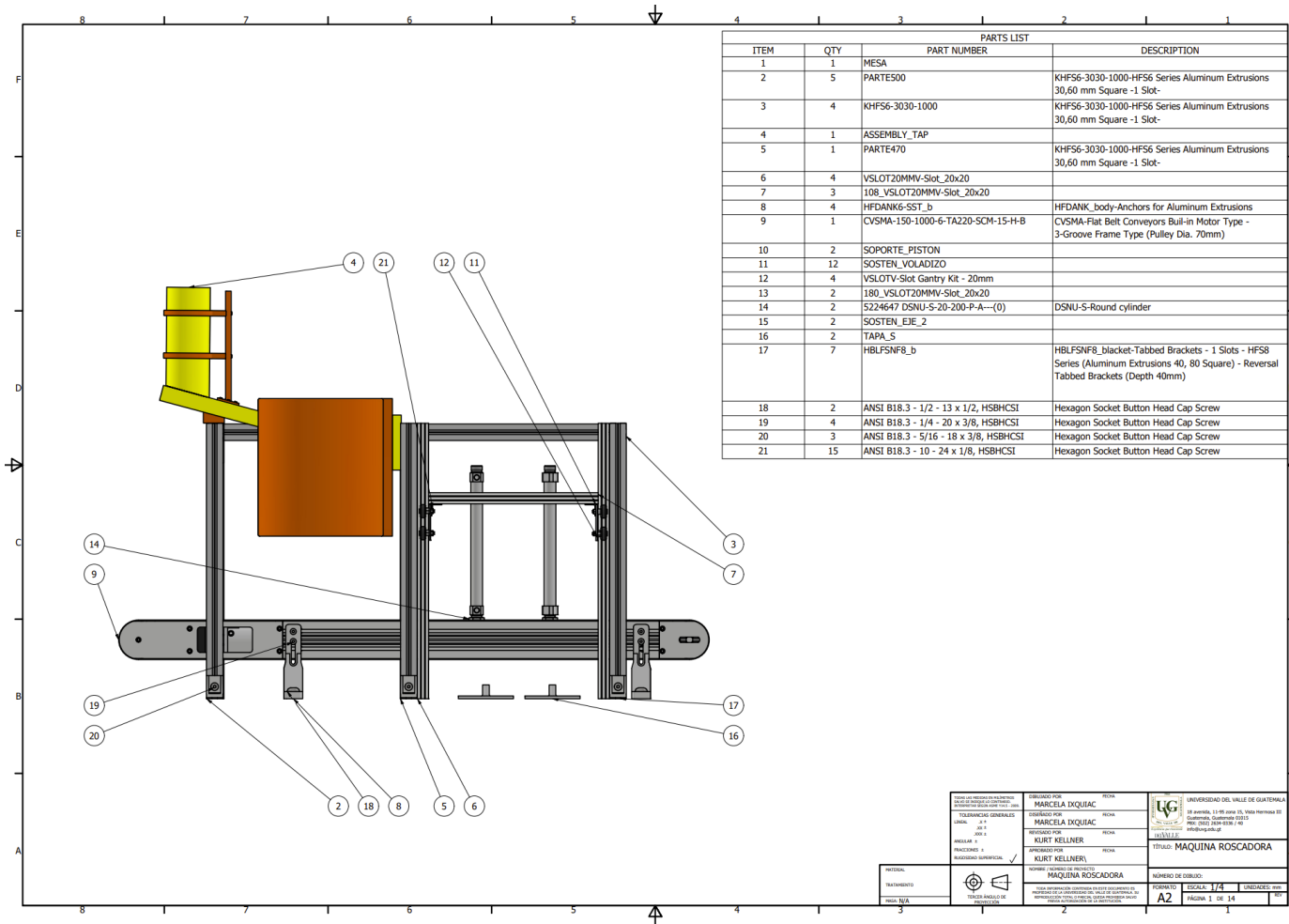
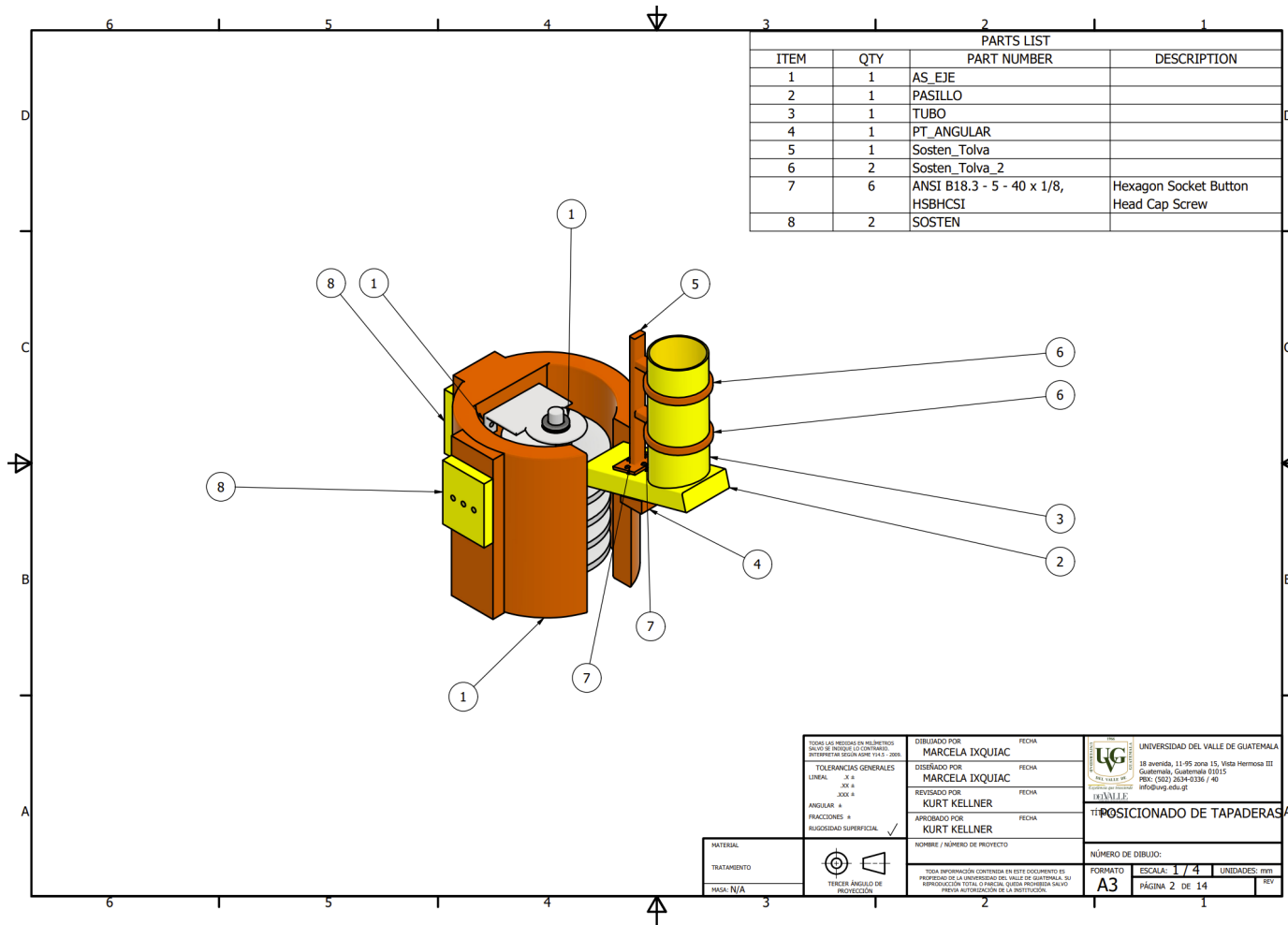


Figura 24: Ensamble inicial.



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	AS_EJE	
2	1	PASILLO	
3	1	TUBO	
4	1	PT_ANGULAR	
5	1	Sosten_Tolva	
6	2	Sosten_Tolva_2	
7	6	ANSI B18.3 - 5 - 40 x 1/8, HSBHCSI	Hexagon Socket Button Head Cap Screw
8	2	SOSTEN	

<small>TOMAR LAS MEDIDAS EN MILIMETROS SEGUN EL SISTEMA SI (CONVERSION: INTERNACIONAL SEGUN ISO 1:1 - 2008)</small>		DIBUJADO POR MARCELA IXQUIAC		FECHA	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBR: (022) 2634-0336 / 40 info@uvj.edu.gt
TOLERANCIAS GENERALES LINEAL: ± 0.1 XXX ± ANGULAR: ± XXX ± FRACCIONES: ± RUGOSIDAD SUPERFICIAL: ✓		DISEÑADO POR MARCELA IXQUIAC		FECHA	
MATERIAL:		REVISADO POR KURT KELLNER		FECHA	
TRATAMIENTO:		APROBADO POR KURT KELLNER		FECHA	
N/A		TENER ANGLULO DE PROTECCION		NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO	
<small>TODA INFORMACION CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL, SIN EL CONSENTIMIENTO PREVIA AUTORIZACION DE LA INSTITUCION.</small>				NÚMERO DE DIBUJO:	
FORMATO: A3				ESCALA: 1 / 4 UNIDADES: mm	
				PÁGINA 2 DE 14	

Figura 25: Ensamble posicionador de tapaderas

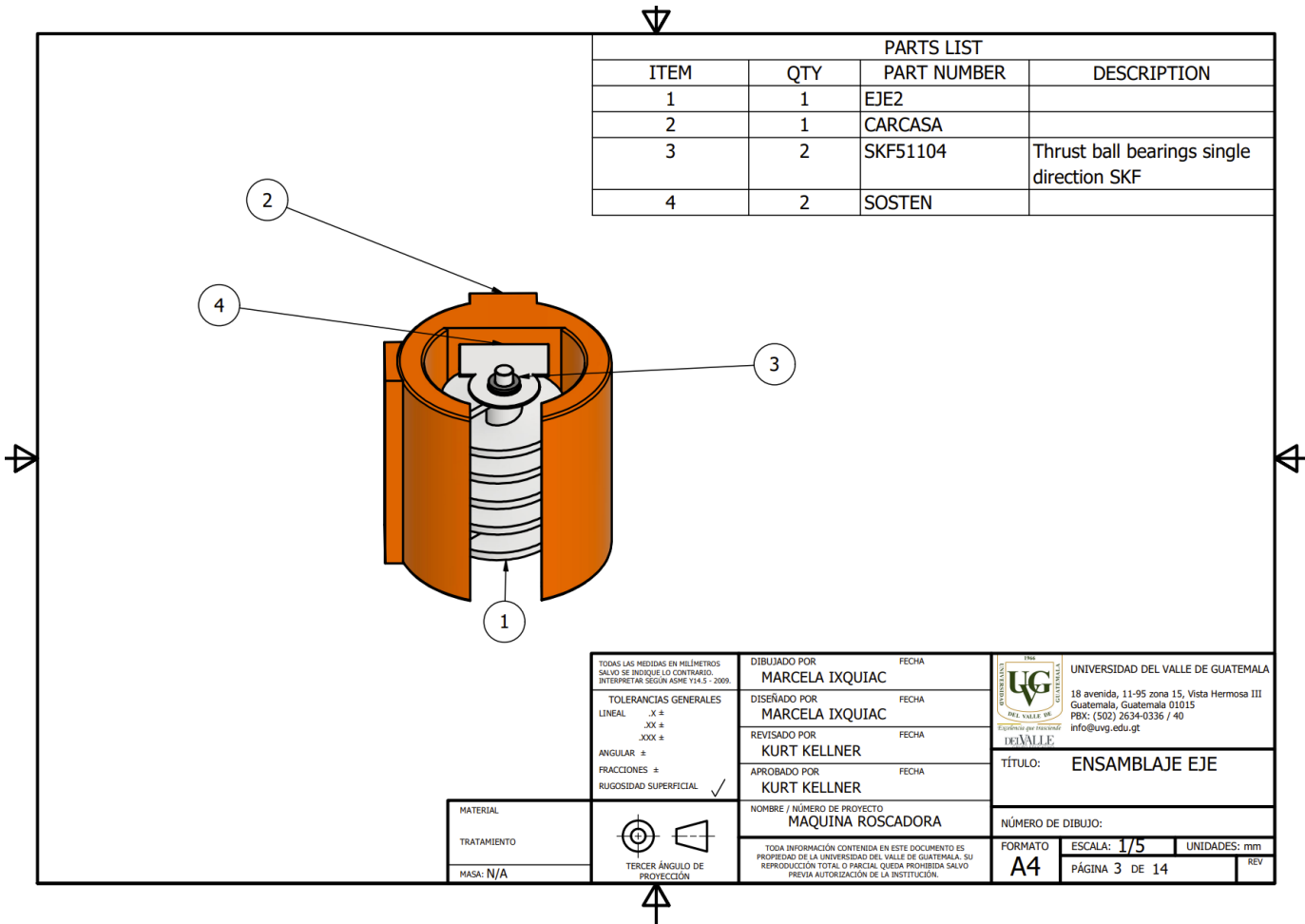


Figura 26: Ensamble tornillo sin fin

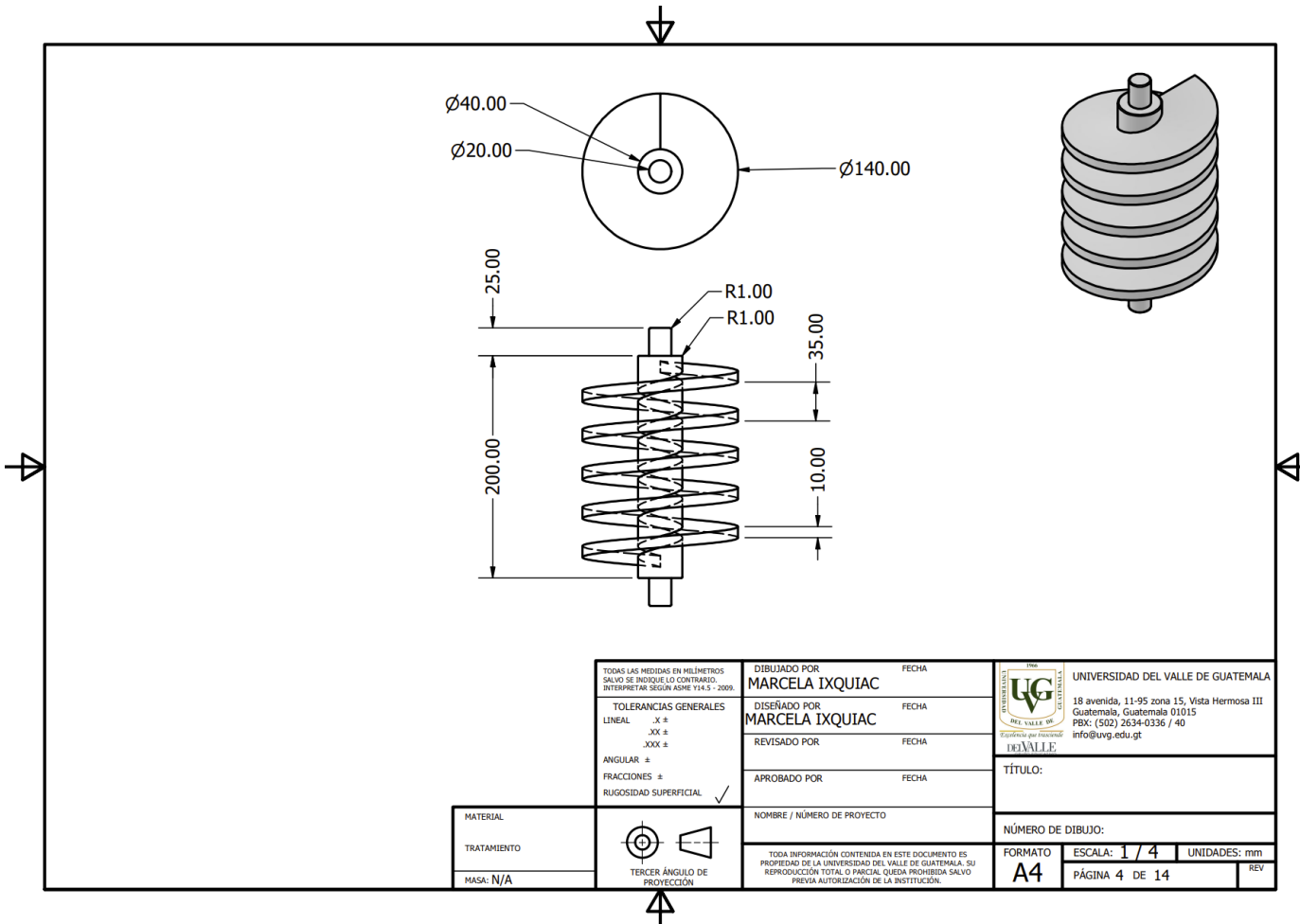


Figura 27: Plano de tornillo sin fin.

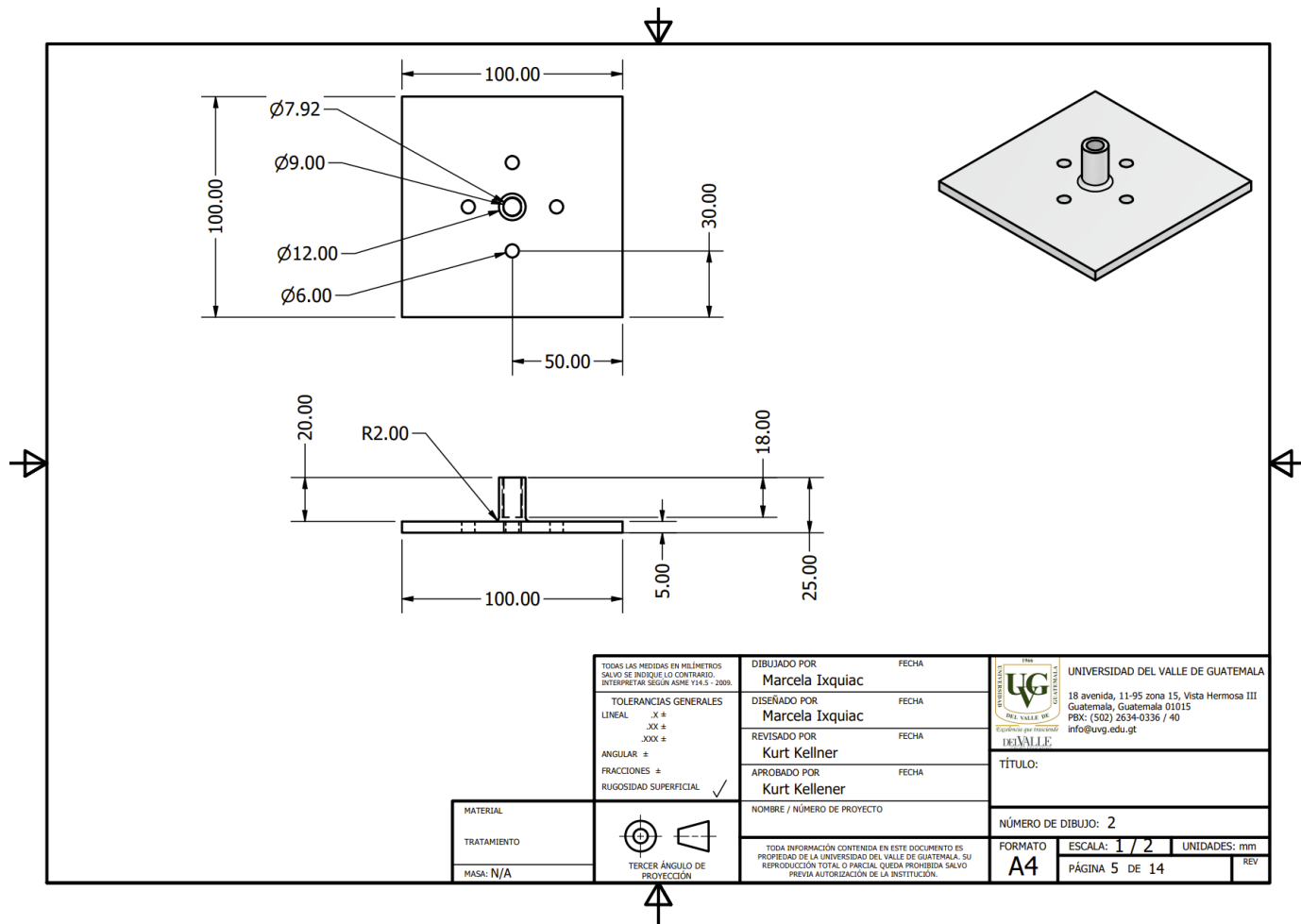


Figura 28: Plano pieza de ensamble.

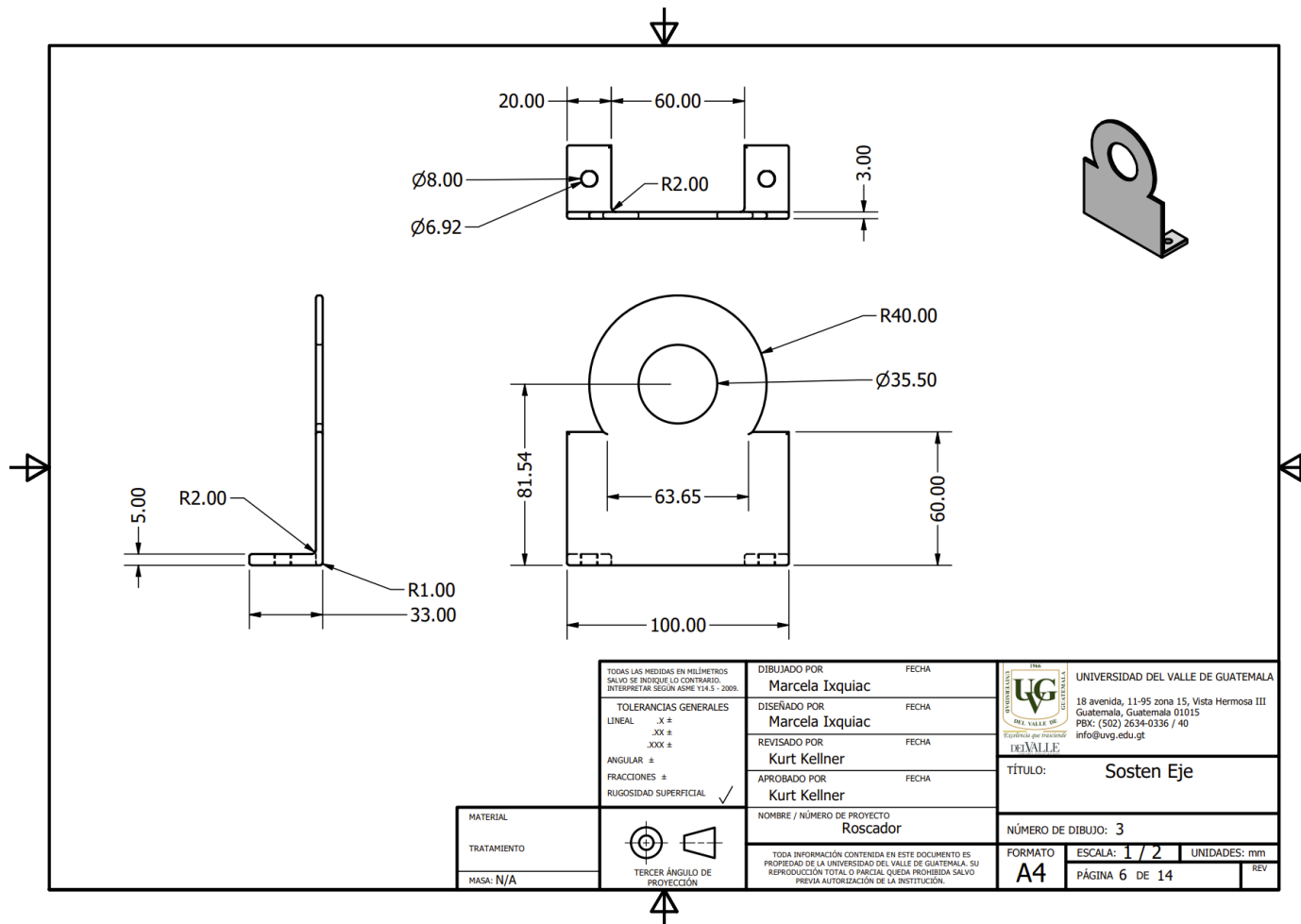


Figura 29: Soporte de tornillo sin fin.

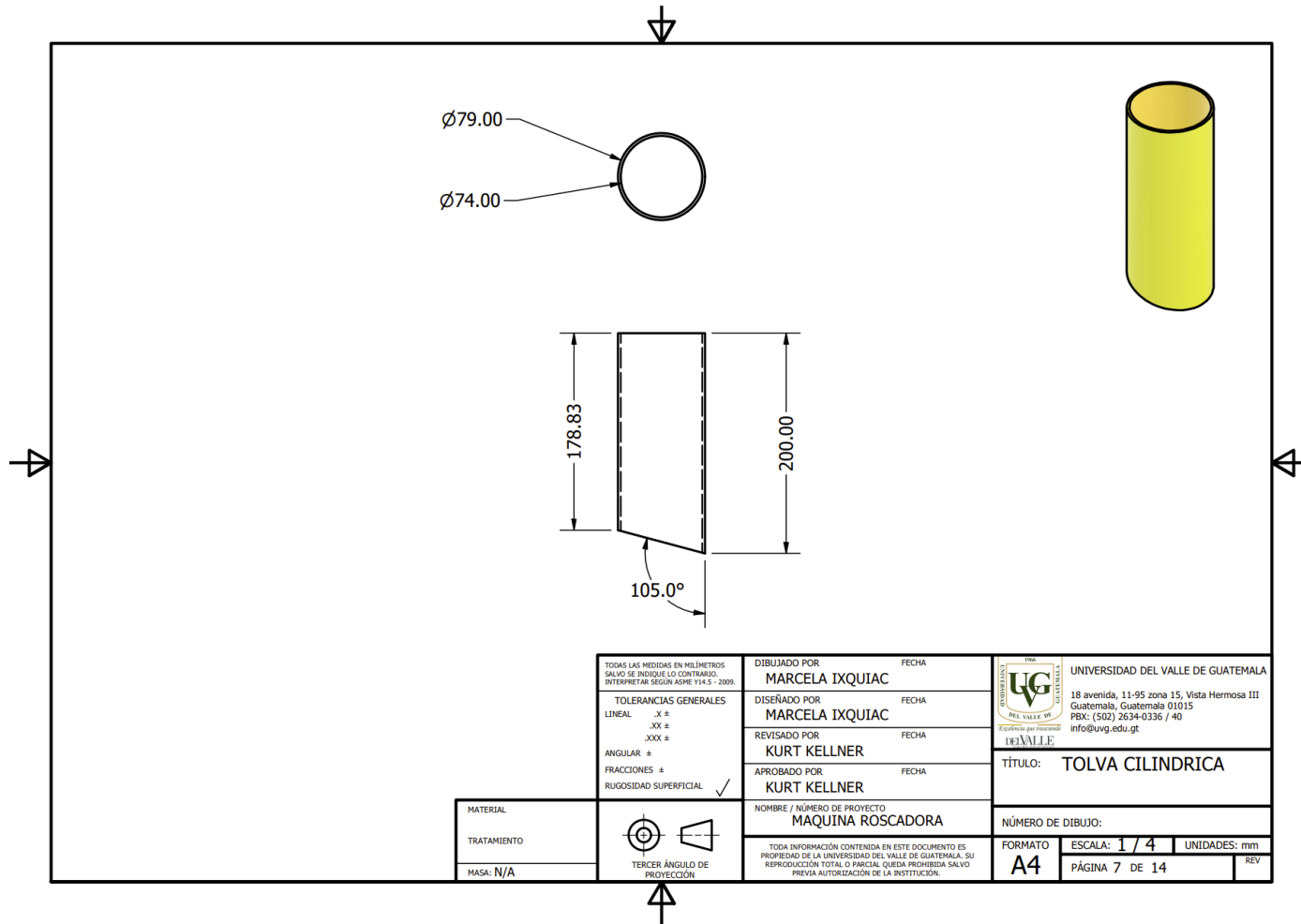


Figura 30: Plano tolva cilíndrica

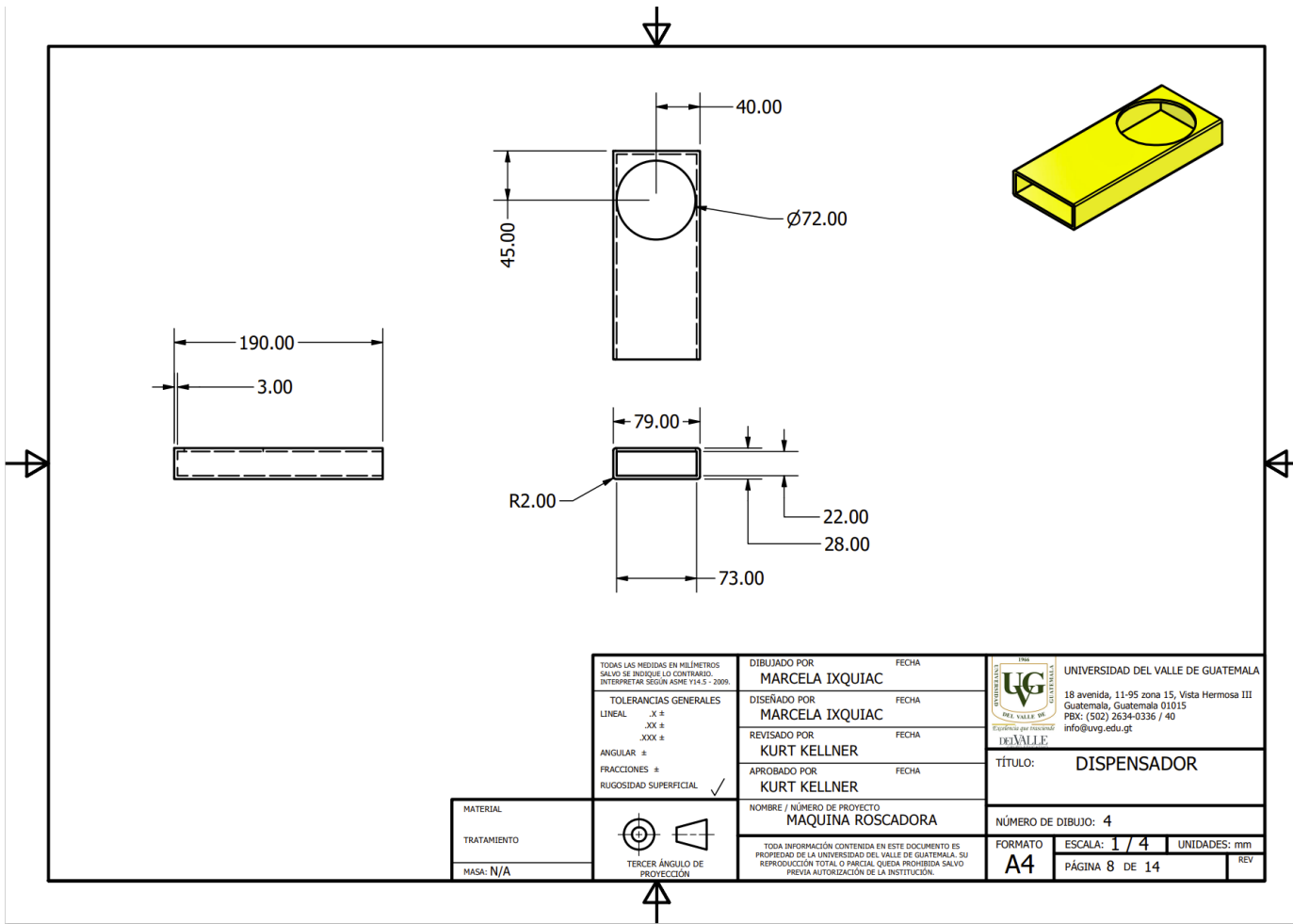


Figura 31: Planos pasillo de tapaderas

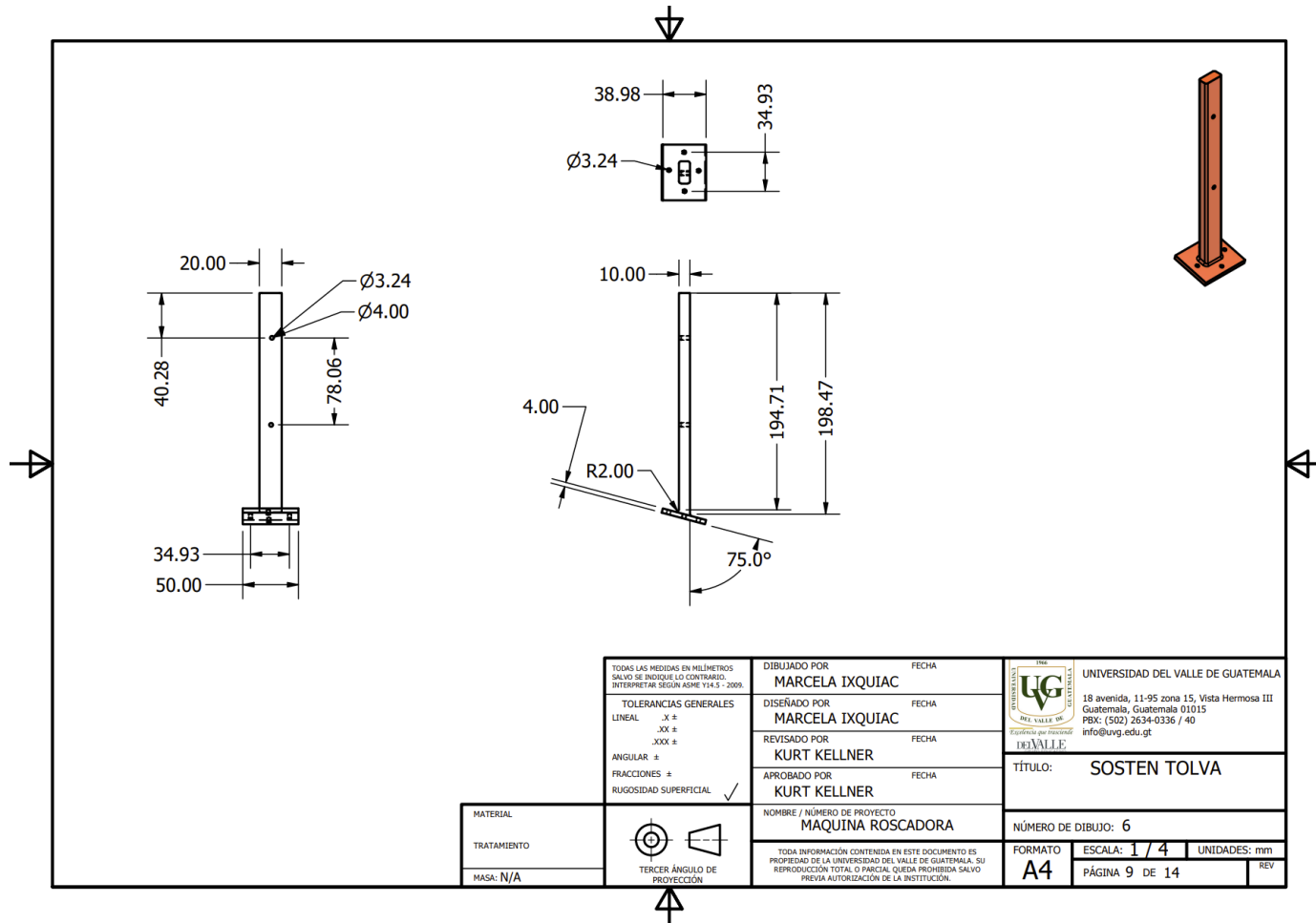


Figura 32: Plano sostén de tolva

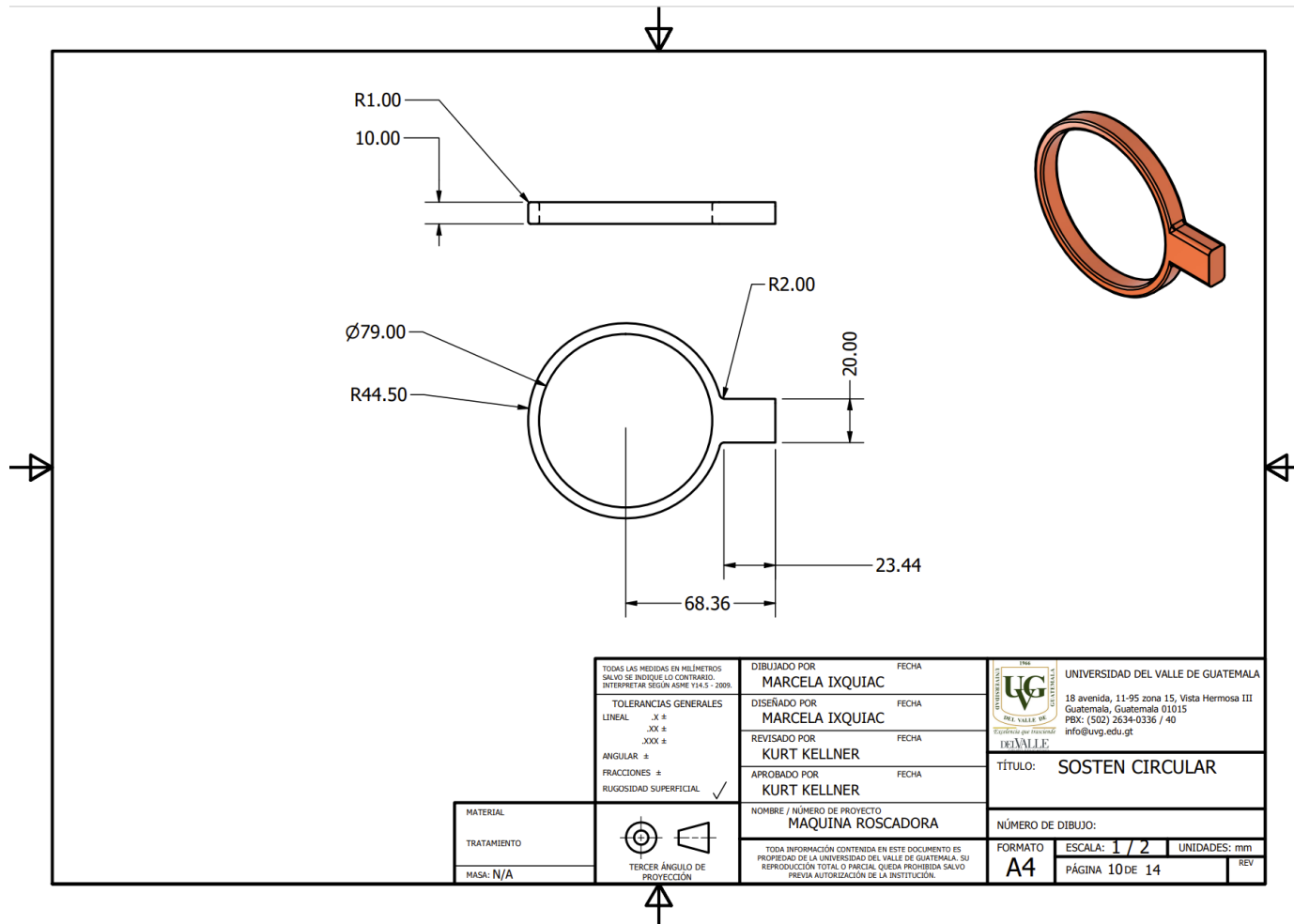


Figura 33: Plano sostén circular de tolva

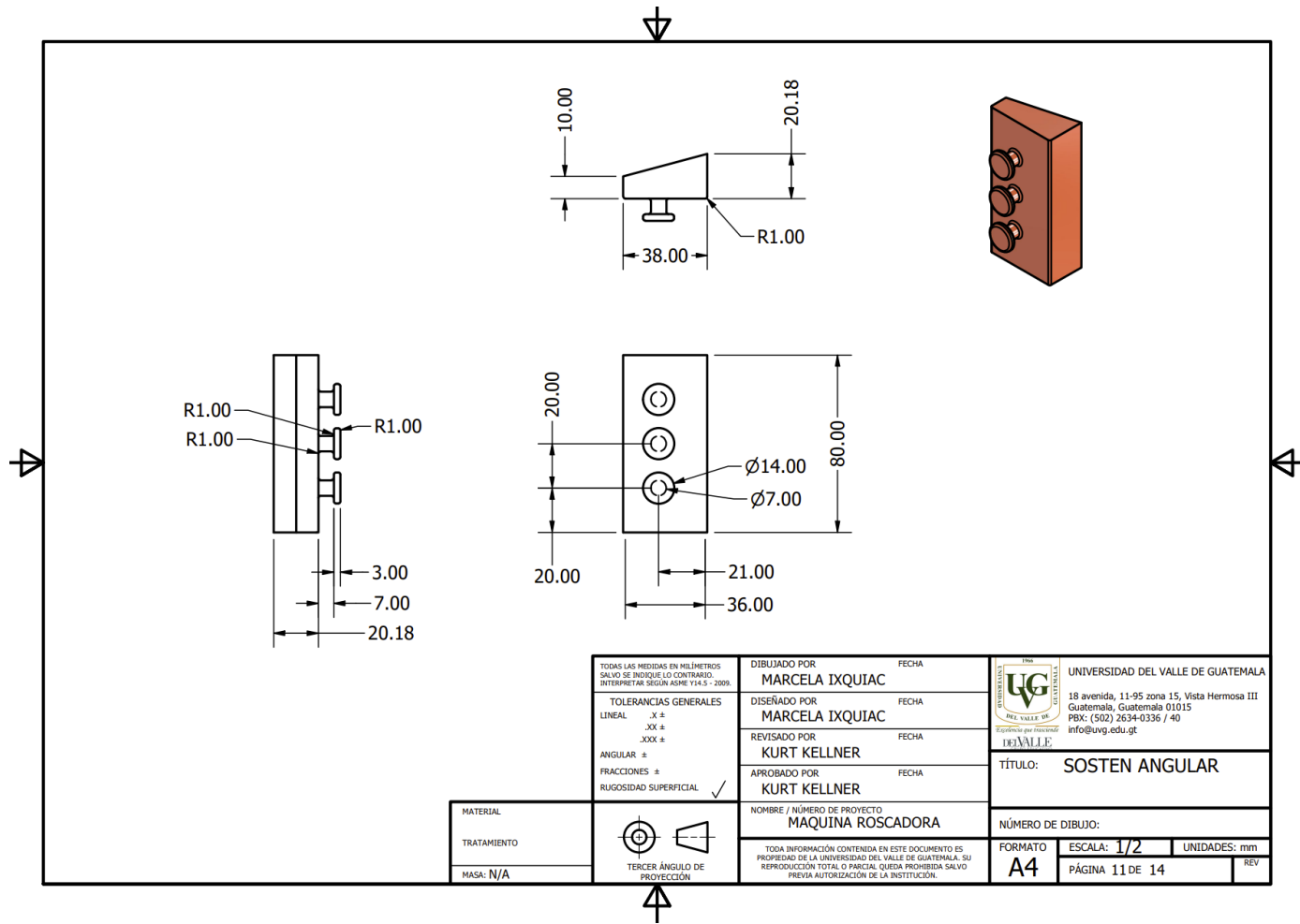


Figura 34: Plano sostén angular

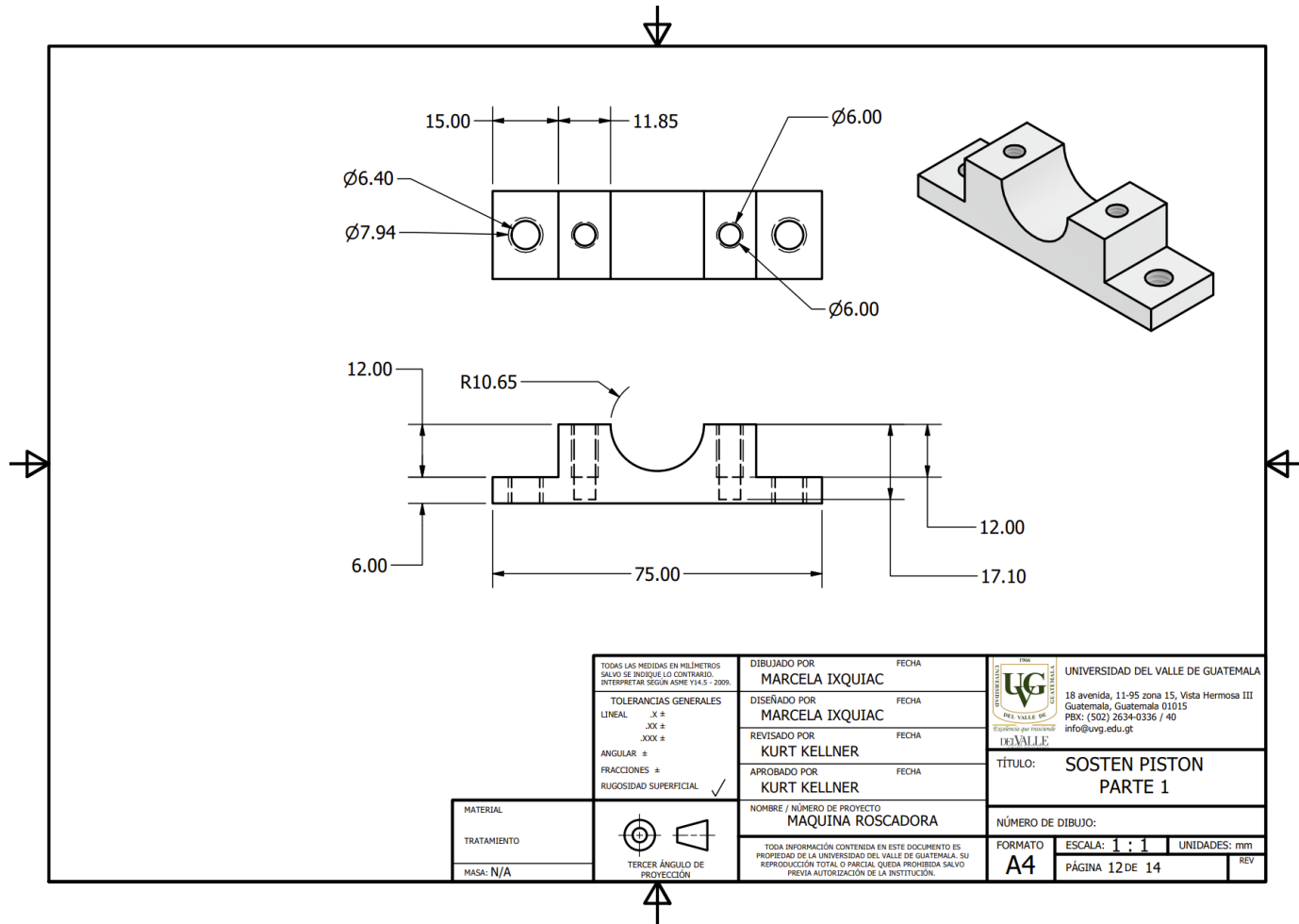


Figura 35: Plano sostén de pistón 1.1

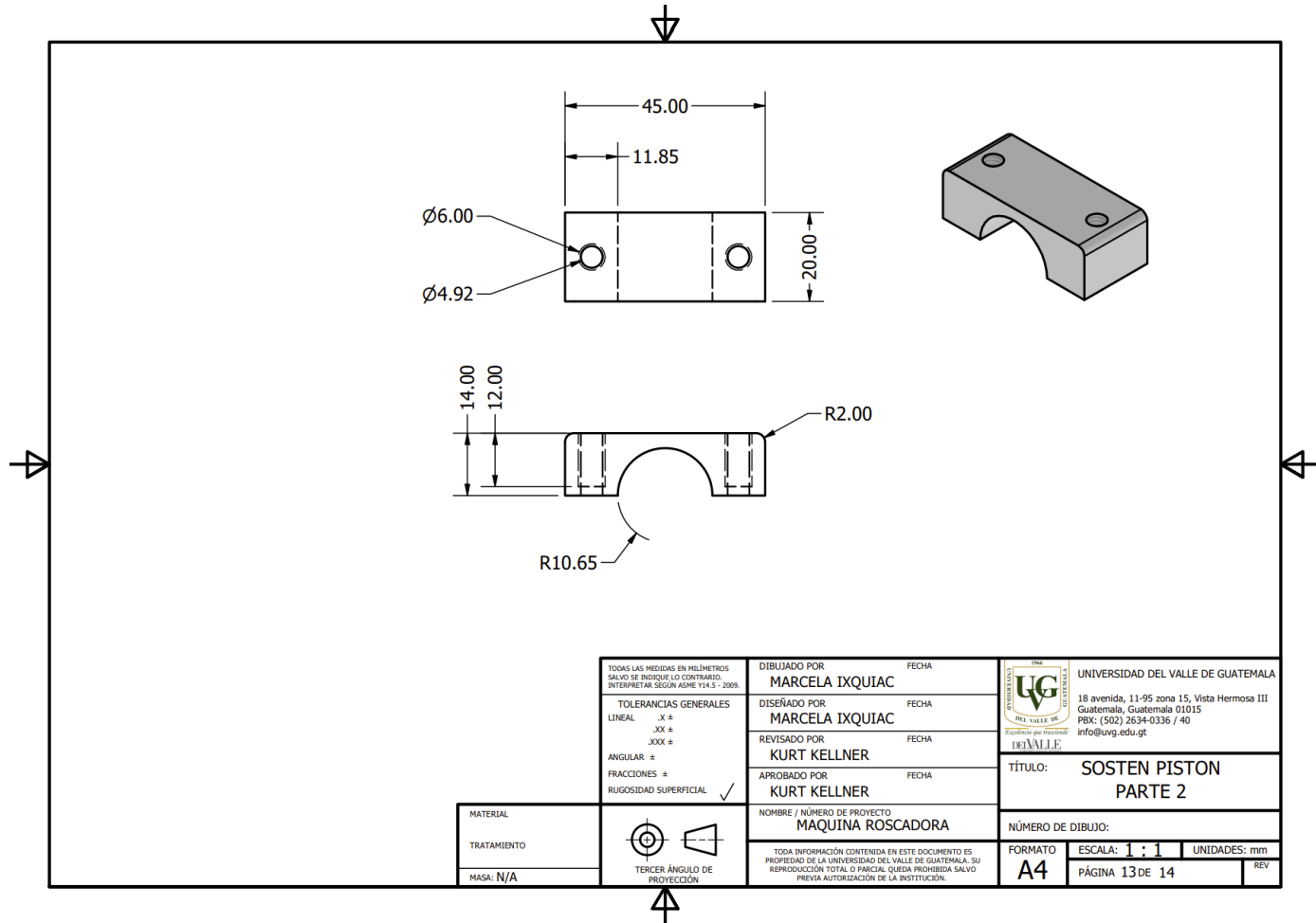


Figura 36: Plano sostén de pistón 1.2

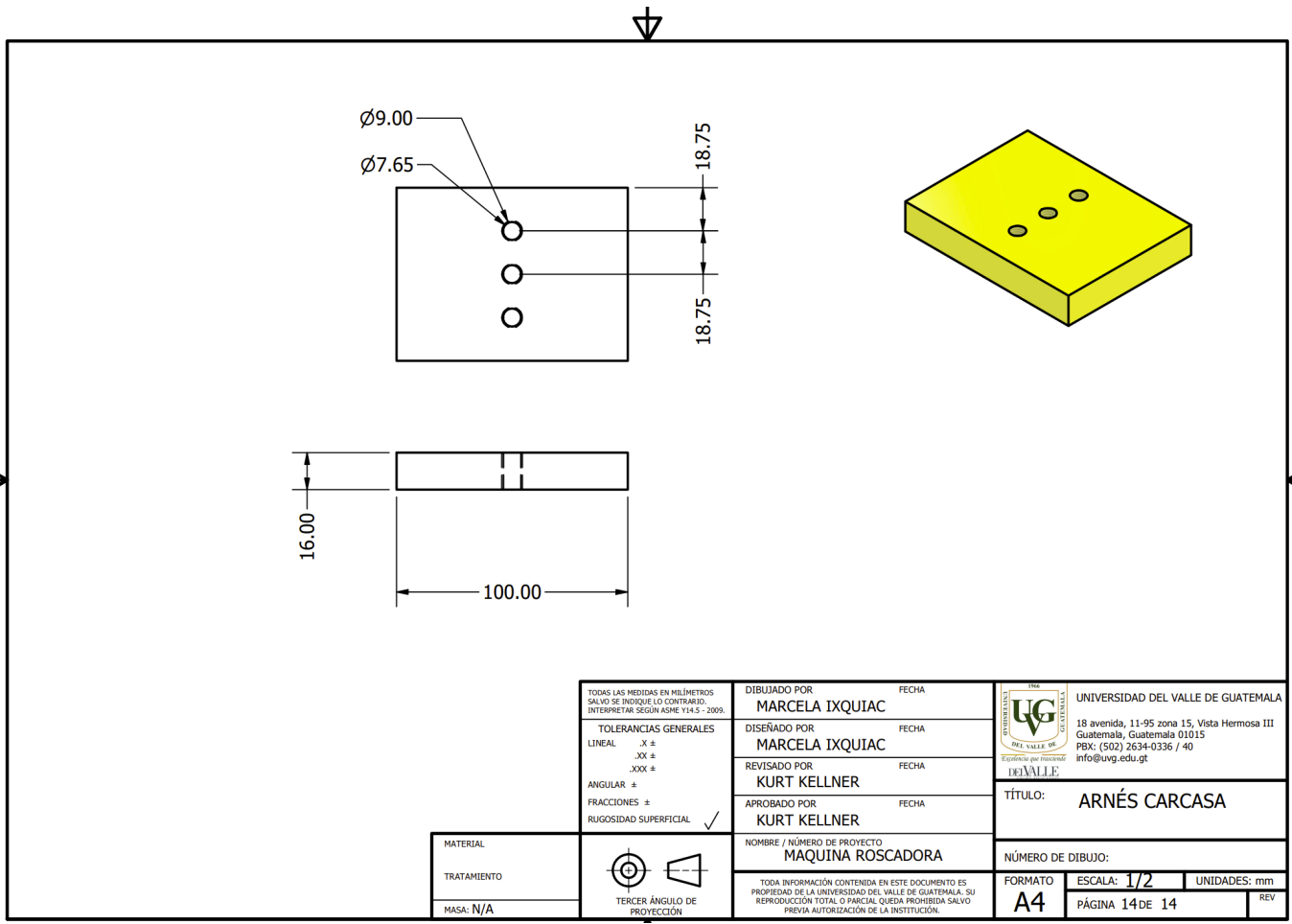


Figura 37: Arnés carcasa

