



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE APLICADORES DE CABINA DE
PINTURA EN LA EMPRESA TECNERO S.A.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Mecánico

AUTOR: PAÚL FERNANDO PEÑA VERGARA

TUTOR: ING. NELSON GUSTAVO JARA COBOS, PHD.

Cuenca - Ecuador

2023

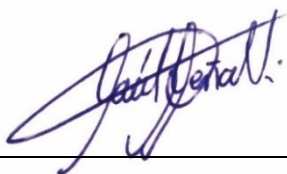
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Paúl Fernando Peña Vergara con documento de identificación N° 0105811913, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 06 de febrero del 2023

Atentamente,



Paúl Fernando Peña Vergara

0105811913

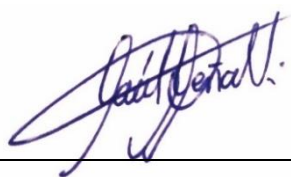
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Paúl Fernando Peña Vergara con documento de identificación N° 0105811913, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto técnico: “Diseño y automatización del sistema de aplicadores de cabina de pintura en la empresa Tecnero S.A.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 06 de febrero del 2023

Atentamente,



Paúl Fernando Peña Vergara


0105811913

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Nelson Gustavo Jara Cobos con documento de identificación N° 0102679644, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE APLICADORES DE CABINA DE PINTURA EN LA EMPRESA TECNERO S.A.”, realizado por Paúl Fernando Peña Vergara con documento de identificación N° 0105811913, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico, que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 06 de febrero del 2023

Atentamente,



Ing. Nelson Gustavo Jara Cobos, PhD.

0102679644

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a:

Mis padres Fernando y Ruth, quienes con su cariño han inculcado en mis los valores y enseñanzas del día a día y llegar a ser una persona de bien para la sociedad, por todo su cariño, apoyo y sacrificio durante mi paso por la universidad, gracias infinitas, ellos me han permitido cumplir una meta más de mi vida.

A mis Abuelos José y Margarita, por su apoyo incondicional, por todos sus consejos y enseñanzas que hasta el día de hoy me ayudan para seguir mejorando como persona.

A mis hermanas Emily y Ana Paula, por todo su cariño y apoyo incondicional.

A todas mis amistades, que a lo largo de estos años me han dado sus consejos y apoyo en todo lo que he realizado, gracias totales.

Paúl Fernando Peña Vergara.

AGRADECIMIENTOS

En este apartado quiero agradecer de manera muy especial a mis compañeros y amigos de carrera quienes siempre me apoyaron durante el paso por la universidad.

De igual manera a la empresa “Tecnero S.A.” por abrir las puertas y permitir desarrollar el proyecto con total confianza.

Al Ing. Nelson Jara, PhD. por su colaboración y ayuda profesional en el desarrollo del proyecto.

Paúl Fernando Peña Vergara.

RESUMEN

El presente proyecto tiene como fin principal el diseño y automatización de un sistema de aplicadores de cabina de pintura para la empresa Tecnero S.A., empresa dedicada a la producción y mantenimiento de cilindros de GLP de uso doméstico en la ciudad de Cuenca – Ecuador. Los diseños establecen propuestas que luego de su implementación permitan mejorar el proceso de pintura y acabados de los cilindros de gas que ingresan al área de pintura de la empresa.

Sobre la base de las instalaciones e infraestructura del área de pintura, los equipos existentes y sobre todo las necesidades de la empresa Tecnero, se realizó una investigación bibliográfica del estado de la técnica que respaldan las propuestas de diseño y sus características para la mejora del proceso de pintura y acabados, el estudio centra también en la necesidad de automatizar y diseñar los soportes con deslizamiento que sujetan los aplicadores de pintura electrostática.

Con las mejoras incorporadas en el diseño y luego de la implementación en el sistema de pintura y acabados de la empresa, será posible controlar las velocidades de desplazamiento y la trayectoria de los aplicadores de pintura vertical, superior e inferior, permitiendo llegar a cubrir con el polímero de manera total la superficie metálica de los cilindros de GLP, evitando acumulaciones de material y disminuyendo el tiempo de proceso.

Con el respaldo de los cálculos pertinentes y la investigación bibliográfica, se procede a realizar el diseño de los tres soportes deslizantes que sujetan a los aplicadores de pintura, se verifica mediante un modelo de simulación el correcto funcionamiento del sistema en su totalidad y se calculan sus partes y componentes.

Adicionalmente se realizan simulaciones mediante software especializado de las piezas diseñadas sujetas a mayor esfuerzo, obteniendo factores de seguridad adecuados y asegurando los resultados obtenidos.

Palabras clave: Cabina de pintura, aplicadores de pintura, pintura electrostática

ABSTRACT

The main purpose of this project is the design and automation of a paint booth applicator system for the company Tecnero S.A., a company dedicated to the production and maintenance of LPG cylinders for domestic use in the city of Cuenca - Ecuador. The designs establish proposals that after their implementation make it possible to improve the painting process and finishes of the gas cylinders that enter the company's painting area.

Based on the facilities and infrastructure of the painting area, the existing equipment and, above all, the needs of the Tecnero company, a bibliographical investigation of the state of the art was carried out that supports the design proposals and their characteristics for the improvement of the process. of paint and finishes, the study also focuses on the need to automate and design the sliding supports that hold the electrostatic paint applicators.

With the improvements incorporated in the design and after the implementation in the painting and finishing system of the company, it will be possible to control the movement speeds and the trajectory of the vertical, upper and lower paint applicators, allowing to cover with the polymer completely on the metallic surface of LPG cylinders, avoiding accumulations of material and reducing process time.

With the support of the pertinent calculations and the bibliographical research, the design of the three sliding supports that hold the paint applicators is carried out, the correct functioning of the system in its entirety is verified by means of a simulation model and its functions are calculated parts and components.

Additionally, simulations are carried out using specialized software of the designed parts subject to greater effort, obtaining adequate safety factors and ensuring the results obtained.

Keywords: Paint booth, paint applicators, electrostatic painting.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Título.....	14
2. Introducción	14
3. Problema de estudio.....	14
3.1. Antecedentes	14
3.2. Diagnóstico de la situación actual de la empresa	15
3.2.1. Ubicación de la empresa	15
3.2.2. Misión de la empresa	15
3.2.3. Visión de la empresa	15
3.3. Importancia y alcances.....	16
3.4. Delimitación	17
4. Objetivos	17
4.1. Objetivo general.....	17
4.2. Objetivos específicos.....	17
5. Marco Teórico.....	17
5.1. Análisis de la cabina de pintura de la empresa	17
5.1.1. Elementos que conforman la cabina de pintura	18
5.2. Análisis de características para el pintado	19
5.2.1. Pintura electroestática	19
5.2.2. Factores que alteran la conductividad de los iones	20
5.2.3. Equipos de aplicación para pintura electroestática	21
5.2.4. Equipos de pulverización.....	21
5.2.5. Arduino uno.....	23
5.2.6. Servomotores	23

6.	Metodología	24
6.1.	Diagnóstico de la cabina de pintura	25
6.1.1.	Determinación de la necesidad	25
6.1.2.	Definición de variables	25
6.1.3.	Proceso de pintado para cilindros	26
6.2.	Diseño de las mejoras a incorporar en la cabina de pintura	27
6.2.1.	Determinación del movimiento de rotación para los aplicadores	27
6.2.2.	Diseño del mecanismo de sujeción de pistolas en la cabina	29
6.2.3.	Análisis de Von Mises y deformación total en elementos	36
6.2.4.	Cálculo para el sistema piñón cremallera del aplicador vertical	41
6.2.5.	Cálculo de esfuerzo superficial en piñón	45
6.2.6.	Programación de los servomotores para generación de movimiento angular	51
6.3.	Análisis técnico financiero	54
7.	Resultados	58
7.1.	Resultado del diseño y automatización del sistema de aplicadores de cabina de pintura	58
7.2.	Resultado del análisis de precios unitarios	60
8.	Conclusiones	61
9.	Recomendaciones	62
10.	Bibliografía	63
11.	Anexos	64
11.1.	Anexo 1 – Planos	64
11.2.	Anexo 2	73
11.3.	Anexo 3 – plano sistema deslizamiento	77
11.4.	Anexo 4 – Sistema de control	85

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Interiores de la empresa TECNERO S.A.....	16
Figura 2. Logotipo de la empresa TECNERO S.A.	16
Figura 3. Partes de cabina de pintura. 1. Pistola superior, 2. Pistola móvil, 3. Pistola inferior. [Autor].....	18
Figura 4. Pistola de aplicación. [Autor]	19
<i>Figura 5. Proceso de pintura electrostática en cilindros de GLP. [4]</i>	<i>20</i>
Figura 6. Efecto de asimetría. [3]	20
Figura 7. Equipo de aplicación electrostática en polvo. [4]	21
Figura 8. Partes en una pistola electrostática. 1.Gatillo, 2. Transformador de alto voltaje, 3. Generador, 4. Sistema de electrodos, 5. Deflector. [5]	22
Figura 9. Arduino Uno y sus partes. [6].....	23
Figura 10. Servomotores. [7].....	24
Figura 11. Cuadro metodológico. [Autor].....	24
Figura 12. Aplicador de pintura móvil. [Autor]	26
Figura 13. Aplicador de pintura estático. [Autor]	27
Figura 14. Movimiento horizontal requerido en los aplicadores. [Autor]	27
Figura 15. Diagrama referencial para obtención de ángulo. [Autor]	28
Figura 16. Articulaciones (a y b) propuestas para el sistema de sujeción de la pistola. [Autor]	29
Figura 17. Esquema para esfuerzo de tracción en placa. [Autor]	30
Figura 18. Esquema para esfuerzo de aplastamiento en placa. [Autor]	31
Figura 19. Esquema para esfuerzo de corte en placa. [Autor]	32
Figura 20. Esquema para esfuerzo permisible en perno. [Autor].....	32
Figura 21. Sección del traslape donde se produce el esfuerzo cortante doble. [Autor]	33

Figura 22. Análisis del esfuerzo cortante obtenido mediante software computacional. [Autor]	34
Figura 23. Análisis de momentos obtenidos en el eje principal mediante software computacional. [Autor]	36
Figura 24. Resultado de análisis esfuerzo de Von Mises en software computacional. [Autor]	37
Figura 25. Resultado de análisis de deformación total en software computacional. [Autor]	37
Figura 26. Resultado de análisis esfuerzo de Von Mises en software computacional. [Autor]	38
Figura 27. Resultado de análisis de deformación total en software computacional. [Autor]	38
Figura 28. Resultado de análisis esfuerzo de Von Mises en software computacional. [Autor]	39
Figura 29. Resultado de análisis de deformación total en software computacional. [Autor]	39
Figura 30. Resultado de análisis esfuerzo de Von Mises en software computacional. [Autor]	40
Figura 31. Resultado de análisis de deformación total en software computacional. [Autor]	40
Figura 32. Mecanismo piñón cremallera del sistema. [Autor]	41
Figura 33. Factores para diseño en piñones. [8]	42
Figura 34. Cremallera impulsada por un piñón. [9]	44
Figura 35. Factor de geometría tomado de la norma AGMA. [9]	47
Figura 36. Factores de sobrecarga sugeridos. [9]	48
Figura 37. Factores de tamaño sugeridos. [9]	48
Figura 38. Factor de proporción del piñón. [9]	49
Figura 39. Factor de alineamiento del engranado. [9]	49
Figura 40. Factor de espesor de borde. [9]	50
Figura 41. Factor dinámico. [9]	50
Figura 42. Elementos del circuito para el sistema. 1. Arduino uno, 2. Potenciómetro, 3. Pulsante1, 4. Pulsante2, 5. Pulsante3, 6. Servomotor1, 7. Servomotor2, 8. Servomotor3. [Autor]	52
Figura 43. Código de programación para servomotores. [Autor]	54

Figura 44. Ensamble total del sistema en vista frontal. [Autor].....	59
Figura 45. Ensamble total en vista isométrica. [Autor].....	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa de resultados obtenidos mediante software y método analítico. [Autor].....	35
Tabla 2. Comparativa de resultados obtenidos mediante software y método analítico. [Autor].....	36
Tabla 3. Valores máximos y mínimos de análisis en software computacional. [Autor].....	38
Tabla 4. Valores máximos y mínimos de análisis en software computacional. [Autor].....	39
Tabla 5. Valores máximos y mínimos de análisis en software computacional. [Autor].....	40
Tabla 6. Valores máximos y mínimos de análisis en software computacional. [Autor].....	41
Tabla 7. Análisis de precios unitarios de los sistemas electrónicos y de control. [Autor].....	55
Tabla 8. Análisis de precios unitarios para la construcción del soporte de los aplicadores. [Autor].....	56
Tabla 9. Análisis de precios unitarios para la construcción del mecanismo piñón cremallera. [Autor].....	57
Tabla 10. Análisis de precios unitarios para la instalación y puesta en marcha del sistema. [Autor].....	58
Tabla 11. Análisis de costos totales. [Autor]	60

1. Título

Diseño y automatización del sistema de aplicadores de cabina de pintura en la empresa Tecnero S.A.

2. Introducción

Actualmente la empresa mantiene herramientas y equipos diseñados para cada necesidad a cubrir dentro del área de producción, sin embargo, en muchas ocasiones es difícil solucionar los nuevos problemas que se llegan a presentar por la actualización y exigencias de los nuevos mercados en nuestro país. La empresa “Tecnero S.A.” se dedica a brindar soluciones de manera global en la fabricación y mantenimiento de cilindros para envasar GLP para un mercado ávido de calidad. Dentro del área de acabados en la empresa, se encuentra la cabina de pintura, misma que posee un sistema adaptado y ha llegado a cumplir su función a lo largo de los años.

Se han identificado variables que con la ayuda de cálculos y diseño respectivo pueden llegar a optimizarse, ayudando a generar un mejor acabado en los productos, factor muy importante a los ojos de los consumidores y clientes de la empresa.

Por este motivo, el objetivo principal de este proyecto es el diseño y automatización del sistema de aplicadores de cabina de pintura, a fin de que brinde un movimiento horizontal repetitivo con la capacidad de poder regular las velocidades de avance, esto simulando el movimiento real que puede llegar a realizar un operador en la vida real.

Este proyecto puede ser implementado dentro de la línea de producción en distintas industrias que utilicen un sistema de aplicación de pintura automatizado, que se encuentren en el sector productivo a nivel nacional.

3. Problema de estudio

3.1. Antecedentes

En el trabajo a desarrollar se toma para el análisis a la empresa “TECNERO S.A” en el país Ecuador, es una empresa Cuencana con más de 20 años de trayectoria y se dedica a la fabricación y reparación de cilindros de gas en 15kg y 45kg, fabricación de asas, bases para cilindros y reparación de válvulas para GLP. Se tomará específicamente el área de pintura y acabado para nuestro estudio.

Los procesos de pintura y acabados en los diferentes productos a lo largo del tiempo han sido clave para determinar calidad de los mismos, por ello han tenido que irse actualizando de acuerdo a los avances tecnológicos en cada país y adaptarse constantemente a estos cambios de tecnología, control y métodos de aplicación. La correcta aplicación de la pintura es muy importante, ya que a partir del proceso depende el ahorro de la materia prima, es necesario obtener una aplicación uniforme dentro del área en el producto, lo que garantiza un correcto acabado, ahorros de materia prima y sobre todo ahorro de tiempos en los procesos productivos.

Por lo general las pequeñas y medianas empresas en el país adquieren o elaboran artesanalmente sus máquinas y herramientas, adaptándose de acuerdo con las necesidades requeridas a cubrir en sus actividades diarias. [1]

En la empresa “TECNERO S.A” el diseño de los reciprocantes para los aplicadores han sido adaptaciones poco eficientes, basándose en las necesidades presentadas, lo que provoca una serie de inconvenientes y derivados en el área de aplicación de pintura.

3.2. Diagnóstico de la situación actual de la empresa

3.2.1. Ubicación de la empresa

La empresa TECNERO S.A., está ubicada en la Calle Juan Eljuri Chica y Cornelio Vintimilla. Detrás de la empresa Parmalat, cantón Cuenca, provincia del Azuay.

3.2.2. Misión de la empresa

Nos preocupamos por ser parte de la vida de nuestros usuarios, dándoles atención y satisfacción. TECNERO S.A. es una solución global en la fabricación y mantenimiento de cilindros para envasar GLP. Para un mercado ávido de calidad, cumplimiento y servicio; gracias al cual crecemos permanentemente con el apoyo de los accionistas y el esfuerzo de nuestro talento humano.

3.2.3. Visión de la empresa

Ser el proveedor referente de soluciones metalmecánicas integrales, somos el aliado estratégico ideal de las comercializadoras de GLP, la industria y el comercio en la creación de soluciones metalmecánicas integrales. TECNERO S.A. impulsará la expansión de C.E.M. Loja-

gas, fabricando y efectuando mantenimiento a sus cilindros para envasar GLP, buscando siempre una ventaja tecnológica y el crecimiento de nuestro talento humano.

En la Figura 1, se puede apreciar las instalaciones de TECNERO S.A., en la Figura 2, se puede observar el logotipo de la empresa utilizado para sus actividades comerciales.



Figura 1. Interiores de la empresa TECNERO S.A.



Figura 2. Logotipo de la empresa TECNERO S.A.

3.3. Importancia y alcances

En el área de acabados de pintura en la empresa, existe una pérdida de eficiencia, esto debido a que el polímero no se distribuye homogéneamente en el cilindro de GLP, esto provocado ya que los aplicadores están estáticos y no generan un movimiento que ayude a alcanzar a una mayor cobertura mientras el cilindro pasa por su trayectoria, para lo que se ha propuesto en este proyecto técnico diseñar un sistema de automatización controlada, obteniendo una trayectoria para los tres aplicadores de pintura, garantizando una cobertura cien por ciento homogénea en todas las partes de los cilindros de GLP, garantizando calidad en el acabado y reduciendo los costos en combustibles para el horno y sobre todo reduciendo tiempo en la línea de producción.

3.4. Delimitación

El presente proyecto puede llegar a tener un alcance macro, ya que el diseño del sistema puede ser implementado dentro de la línea de producción en distintas industrias que requieran aplicadores de pintura en sus procesos productivos en los diferentes campos a nivel nacional.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de automatización, que obtenga una trayectoria para los tres aplicadores de pintura, garantizando una cobertura cien por ciento homogénea en todas las partes de los cilindros de GLP.

4.2. Objetivos específicos

- Identificar los ángulos de trayectoria para cada aplicador de manera que se cubra en su totalidad cada espacio en los cilindros de GLP.
- Proponer un diseño para cada aplicador de pintura y controlar su trayectoria.
- Conocer la eficiencia que genera el sistema propuesto, reflejado en los hornos de curado para los cilindros de GLP.
- Realizar un análisis técnico financiero que determine los costos de implementación al nuevo diseño para los aplicadores de pintura.

5. Marco Teórico

En este acápite se desarrollará el análisis de la cabina de pintura que actualmente posee la empresa TECNERO S.A., posterior se desarrollará una revisión bibliográfica sobre los equipos que componen la cabina para pintura y acabado de los cilindros de GLP y finalmente algunos indicadores financieros que serán de gran ayuda para desarrollar una comparación y determinar la rentabilidad del diseño.

5.1. Análisis de la cabina de pintura de la empresa

La cabina de pintura, está compuesta por un sistema de tres aplicadores, tres de ellos están ubicados de manera fija (empotrada) y uno de ellos tiene un movimiento de desplazamiento vertical, el cual está dado gracias a un cilindro neumático de simple efecto.

5.1.1. Elementos que conforman la cabina de pintura

La cabina de pintura ubicada en el área de acabados, está conformada principalmente por los elementos que se observan en la Figura 3.

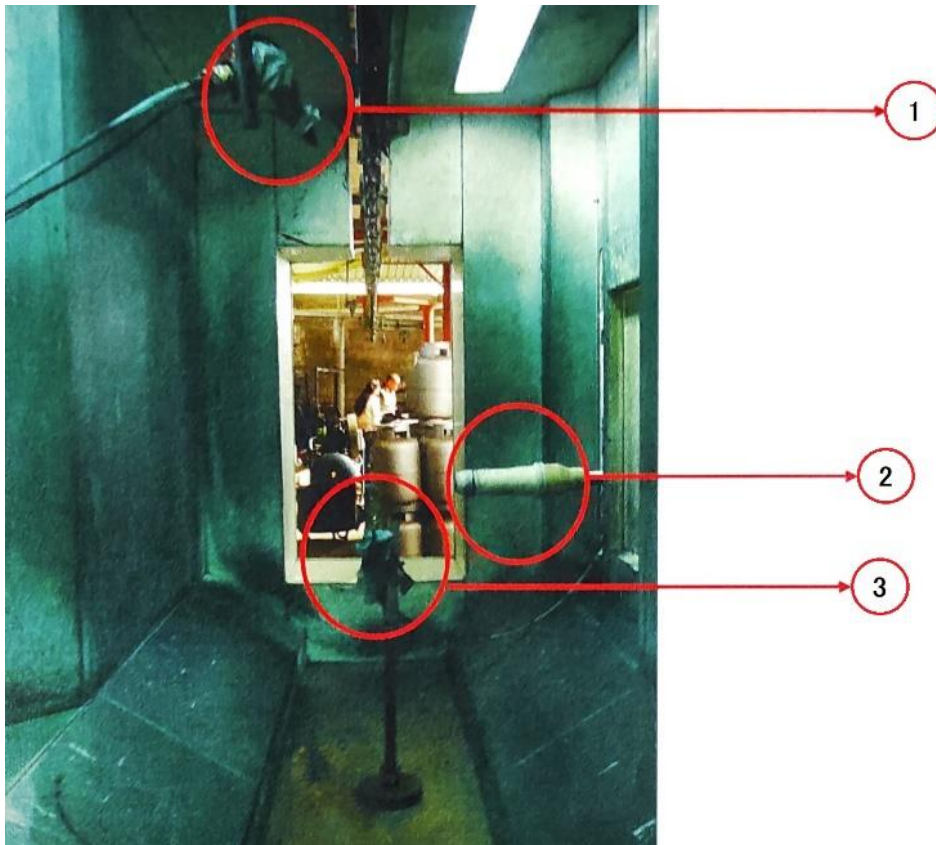


Figura 3. Partes de cabina de pintura. 1. Pistola superior, 2. Pistola móvil, 3. Pistola inferior. [Autor]

5.1.1.1. Pistolas de aplicación.

En la cabina existen 3 pistolas de aplicación ubicadas en 3 partes diferentes, parte superior, intermedia (móvil) e inferior. La pistola de aplicación de pintura (Figura 4) funciona por medio de un electrodo cargado. Por lo tanto, el material se pulveriza y atrae a cualquier superficie puesta a tierra. [2]

Con la atomización electrostática, se puede lograr el efecto envolvente. Con este, la pintura atomizada se esparce por la pieza con conexión a tierra y la recubre, logrando pintar la parte posterior de la pieza, así como sus bordes. Con este efecto, se incrementa la eficiencia de transferencia, que en algunos casos de atomización electrostática alcanza el 98%. Esto se

traduce en menores costos de pintura, producción más rápida, menos limpieza y menos VOC. [2]



Figura 4. Pistola de aplicación. [Autor]

5.2. Análisis de características para el pintado

5.2.1. Pintura electroestática

En el pintado electrostático, la pintura es cargada electrostáticamente por un generador, siendo atraída y depositada sobre el objeto a pintar, el cual deberá estar conectado a tierra, de tal manera que la pintura se deposita, atrayéndose totalmente sobre el objeto, evitando así las habituales pérdidas de pintura pulverizada y no depositada observadas en el sopleteado común. Se logra así un ahorro de material que puede llegar, según la forma del objeto, hasta a un 70%. El hecho que no vuele pintura pulverizada hace prácticamente innecesarias las instalaciones habituales de seguridad (cortina de agua) y solamente se requieren extractores para eliminar el solvente evaporado. [3]

La ausencia de niebla de pintura también significa mejores condiciones de salubridad. Con este método de pintado, la pintura pulverizada no se deposita solamente sobre el frente del objeto, sino que prácticamente lo envuelve, garantizando una homogeneidad absoluta en el proceso. [3]

Es muy importante asegurarse que la carga de las partículas de pintura se mantenga constante en el proceso, caso contrario, las partículas de pintura no tomarían acción de adherencia hacia el objeto a pintar, ocasionando pérdidas del material.



Figura 5. Proceso de pintura electroestática en cilindros de GLP. [4]

5.2.2. Factores que alteran la conductividad de los iones

En una solución infinitamente diluida los iones están tan separados que la única resistencia al movimiento de los mismos hacia los electrodos es la fricción con el solvente, con lo cual las movilidades permanecen constantes e iguales (movilidad a dilución infinita). [5]

Si la solución es más concentrada, el ion disminuye su movilidad debido al efecto de asimetría (atracción eléctrica entre iones de signo opuesto) y al efecto electroforético (atracción del disolvente por iones de distinto signo que se mueven en direcciones opuestas). Ambos efectos se intensifican a medida que aumenta la concentración del electrolito, de manera que las fuerzas retardadoras aumentan y la conductividad disminuye. [3]

Para comprender el efecto de asimetría se introduce el concepto de atmósfera iónica; en ausencia de un campo eléctrico externo, ésta puede imaginarse como una esfera de carga opuesta que se encuentra distribuida simétricamente alrededor del ion, de manera que no ejerce una fuerza neta sobre él. En presencia de un campo externo, a medida que el ion se mueve en una dirección, la atmósfera se distorsiona, no permanece distribuida esféricamente alrededor del ion, y se retarda. Como consecuencia, el ion también se retarda en su movimiento.

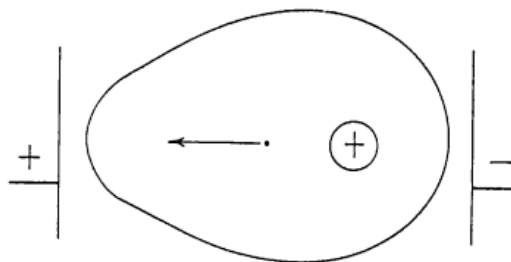


Figura 6. Efecto de asimetría. [3]

5.2.3. Equipos de aplicación para pintura electroestática

El equipo necesario para la aplicación de la pintura electroestática consta de una unidad electrónica de aplicación de pintura en polvo, mediante una pistola de aspersión (Figura 2). La pistola aplica cargas eléctricas a las partículas de polvo, las cuales se ven fácilmente atraídas a la pieza a pintar que se haya conectada a la tierra eléctrica del sistema. El principio de aplicación se basa en el hecho de que las partículas con cargas eléctricas opuestas se atraen. Tal principio es útil en el pintado de máquinas y aparatos electrodomésticos, muebles de oficina, accesorios para automóviles, alambres, perfiles y elementos de fachadas, entre otros. [4]



Figura 7. Equipo de aplicación electroestática en polvo. [4]

5.2.4. Equipos de pulverización

La pulverización consiste en aplicar el material base (pintura) a una distancia determinada valiéndonos de la atomización de las partículas de pintura por efecto de la presión, la alimentación del aire o bien una influencia sinérgica de ambos factores. [4]

Dependiendo de si para atomizar el material se utiliza aire o se aumenta la presión, la pulverización puede variar, diferenciándose:

- Pulverización aerográfica: convencional, HVLP, EPA
- Pulverización mixta
- Pulverización airless
- Pulverización electrostática

5.2.4.1. Pistolas electrostáticas

Los sistemas de pulverización utilizan aplicadores en forma de pistolas especialmente diseñadas para atomizar la pintura.

Las funciones de las pistolas electrostáticas son:

- Dar forma y dirigir el flujo de la pintura.
- Controlar el tamaño y forma del abanico de rociado.
- Regular la densidad de la pintura en polvo fluidizada.
- Impartir carga eléctrica a las partículas de pintura.
- Controlar el recubrimiento de la pieza que se pinta; según: La posición de la pistola, el abanico de rociado y el nivel de carga electrostática.

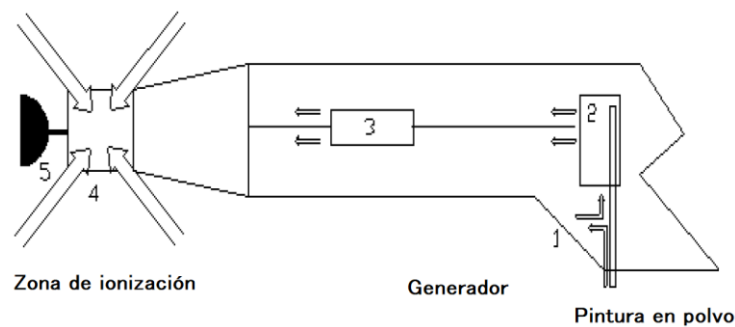


Figura 8. Partes en una pistola electrostática. 1. Gatillo, 2. Transformador de alto voltaje, 3. Generador, 4. Sistema de electrodos, 5. Deflector. [5]

El espesor del recubrimiento en polvo se puede controlar por:

- La posición de la pistola.
- El tiempo rociado.
- El nivel de carga electrostática.
- La velocidad del flujo de pintura en polvo de la pistola al objeto.
- La forma del objeto.

El espesor de la pintura en polvo aplicado también se ve afectado por el tamaño y distribución de partícula, forma y tipo de pintura. Generalmente existen 2 tipos de pistolas electrostáticas: Manuales o mecánicas; sin embargo, entre cada tipo existen diferencias en los medios de transmitir la carga y en los medios de darle forma al abanico de rociado. [5]

5.2.5. Arduino uno

El Arduino uno es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega328p, desarrollada por la compañía Arduino. es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso, cuenta con un total de 14 pines de entrada/salida digital, 6 entradas analógicas, un cristal oscilador de 16 MHz, conector USB, Jack de alimentación, terminales ICSP y un botón de reseteo. [6]

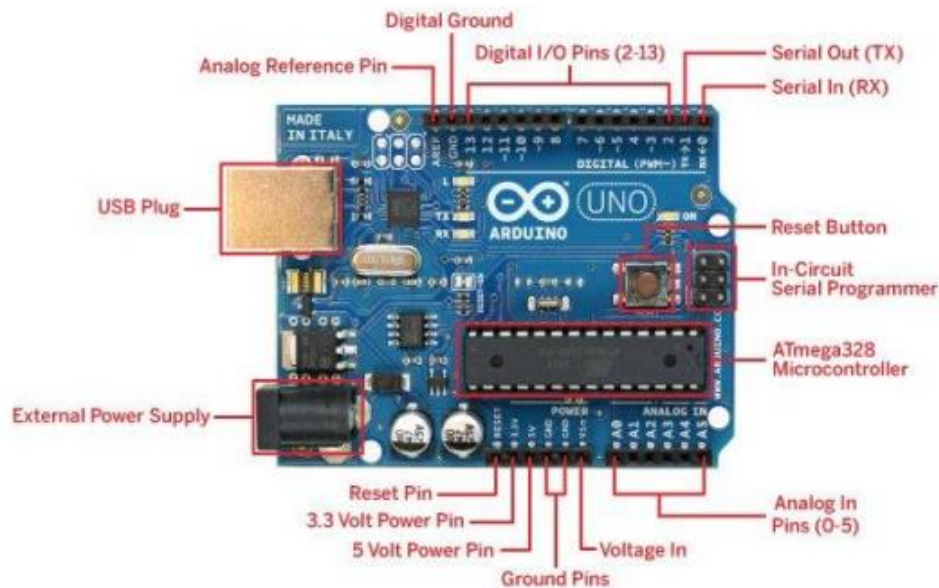


Figura 9. Arduino Uno y sus partes. [6]

5.2.6. Servomotores

Un servomotor es un dispositivo pequeño que trabaja con corriente continua y tiene un eje de rendimiento controlado. Este puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Con tal de que una señal codificada exista en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular del engranaje. Cuando la señal codificada cambia, la posición angular de los piñones cambia. En la práctica, se usan servomotores para posicionar superficies de control como el movimiento de palancas, levas, ejes, pequeños ascensores y timones. Ellos también se usan en radio control, y por supuesto, en robots. [7]



Figura 10. Servomotores. [7]

6. Metodología

La metodología ocupada para el diseño del sistema de aplicadores de cabina de pintura en la empresa TECNERO S.A., se encuentra en la Figura 11, la cual cumple con el propósito de ayudar a establecer una guía de ruta a seguir para lograr desarrollar el proyecto con beneficios que permitan una mejor eficiencia del mismo.

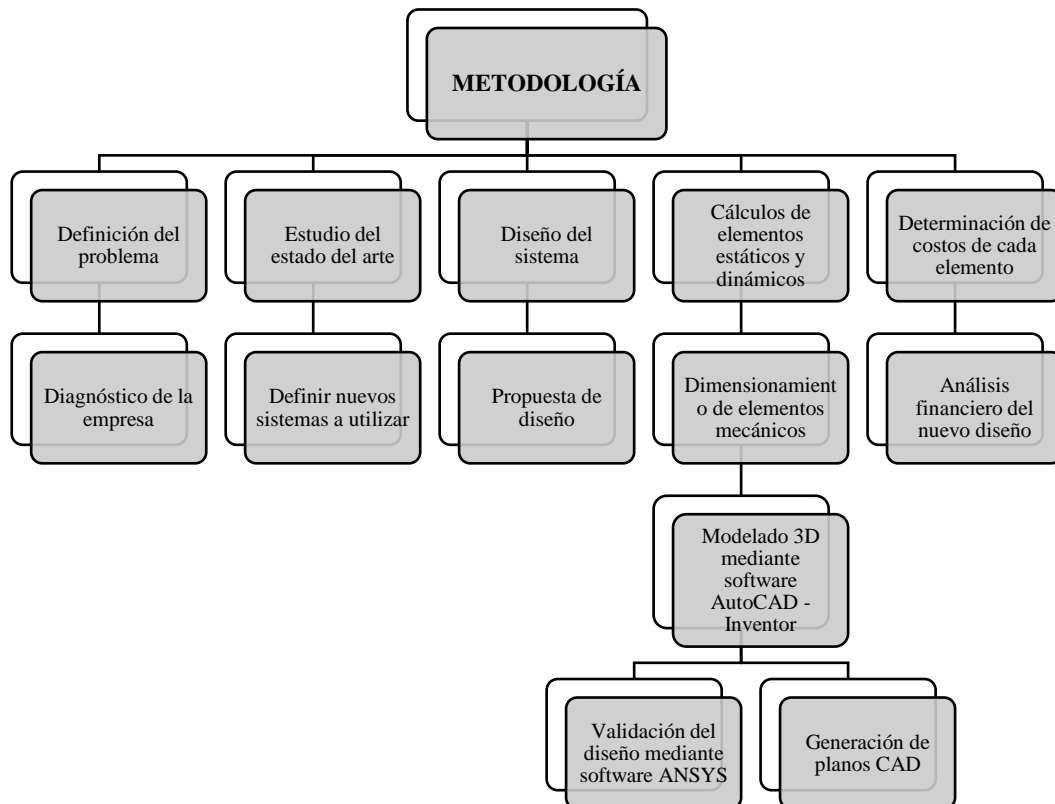


Figura 11. Cuadro metodológico. [Autor]

6.1. Diagnóstico de la cabina de pintura

6.1.1. Determinación de la necesidad

El área y cabinas de pintura de la empresa “TECNERO S.A” cuenta con un sistema poco eficiente para la aplicación de pintura en lo que se denomina como “cuerpo del cilindro” y en los aplicadores de los domos tanto superior como inferior en donde se encuentran el asa y la base respectivamente, no cuentan con un sistema automatizado en los 3 aplicadores de pintura electrostática, es decir están estáticos mientras los cilindros pasan por la cabina, actualmente, el movimiento rotativo de los cilindros lo genera un mecanismo de cremallera y catalinas, el trayecto de giro se genera desde que el cilindro ingresa a la cabina hasta que finalmente sale de la misma.

El mecanismo utilizado para generar el movimiento rotativo en ciertos tramos falla (por desgastes) y en la cabina solamente un aplicador tiene un movimiento vertical automatizado generado por un pistón neumático, lo que sería insuficiente para generar una cobertura homogénea de pintura en los cilindros. Es un grave problema para la empresa ya que al no tener una cobertura homogénea de pintura (incluso teniendo dobles capas en algunos sectores en los cilindros), se presentan problemas principalmente en los hornos, ya que por estos fallos se aumenta el tiempo de curado, lo que genera mayor consumo del combustible GLP para los hornos, problemas en el acabado de los cilindros y tiempos muertos en la línea de producción.

Al reducir la falta de eficiencia la empresa TECNERO S.A. obtendrá un nuevo diseño que le permitirá mejorar en algunos aspectos como son: tiempos en la línea de producción, acabados finales, ahorro de materia prima (pintura), ahorro de material combustible en los hornos de curado. El diseño va de acuerdo con la necesidad de la empresa, lo que permitirá desarrollarse de una manera más eficiente.

6.1.2. Definición de variables

- La velocidad de la trayectoria para los tres aplicadores de pintura debe ser regulable.
- Los materiales, equipos y mecanismos utilizados deben ser de fácil reemplazo y disponibilidad en el mercado local o a nivel nacional.

- Los aplicadores de pintura deben tener una trayectoria que garantice la cobertura de manera homogénea en todas las partes de los cilindros de GLP, cubriéndolo en su totalidad.
- El diseño partirá en base a la cabina existente que posee la empresa.

6.1.3. Proceso de pintado para cilindros

Para el proceso de pintado se cuenta con 4 aplicadores, los cuales están ubicados de manera estratégica dentro de la cabina de pintura, logrando cubrir en su totalidad al cilindro.

6.1.3.1. Aplicador móvil

Dentro de la cabina existe un aplicador de pintura el cual posee un movimiento vertical, este mismo dado gracias a un pistón neumático de simple efecto. La cabina de pintura posee un mecanismo de cremallera y catalinas en la parte superior, el cual hace girar al cilindro, el trayecto de giro se genera desde que el cilindro ingresa a la cabina hasta que finalmente sale de la misma. El movimiento garantiza la aplicación uniforme de pintura en la parte central del cilindro de GLP (ver figura 12).



Figura 12. Aplicador de pintura móvil. [Autor]

6.1.3.2. Aplicadores estáticos

Dentro de la cabina de pintura existen 3 aplicadores estáticos, es decir, sin movimiento alguno, cada aplicador tiene una ubicación estratégica para en este caso llegar a cubrir los extremos de los cilindros (bases y asas).



Figura 13. Aplicador de pintura estático. [Autor]

6.2. Diseño de las mejoras a incorporar en la cabina de pintura

6.2.1. Determinación del movimiento de rotación para los aplicadores

Los aplicadores de pintura tomarán un movimiento horizontal, tal como se puede observar en la Figura 14, esto simulando los movimientos naturales del brazo de un operador al momento de pintar una superficie.

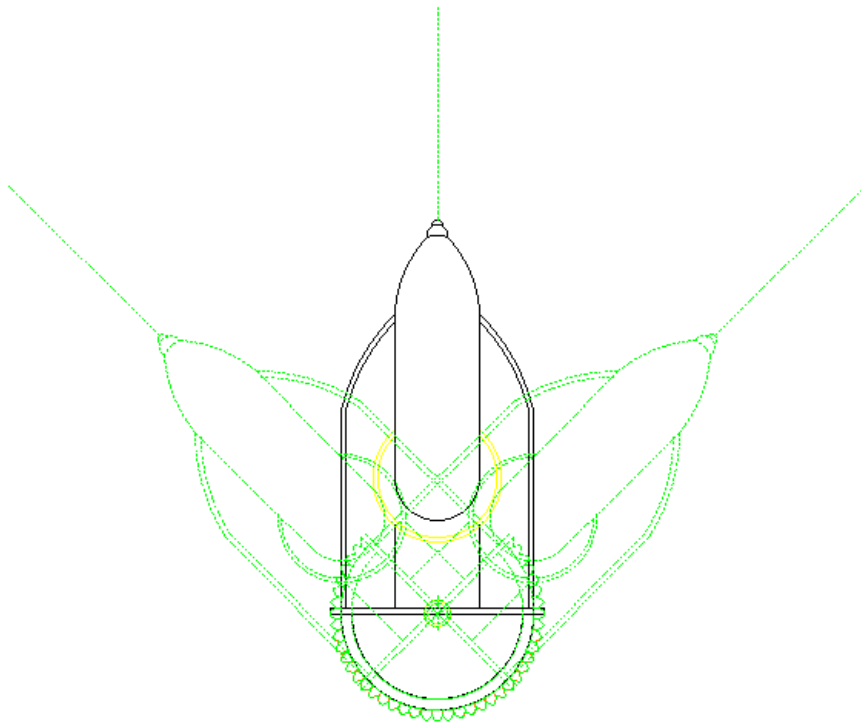


Figura 14. Movimiento horizontal requerido en los aplicadores. [Autor]

6.2.1.1. Cálculo del ángulo de rotación para los aplicadores de pintura

En primera instancia se necesita obtener el diámetro del cilindro de gas y la distancia del cilindro hasta la punta de la pistola para determinar el ángulo de rotación, el movimiento de rotación generado tendrá de generarse de manera repetitiva hasta terminar el ciclo de pintura en los cilindros, es decir se tendrá que generar un movimiento en “loop”. De esta manera podemos garantizar que se cubra en su totalidad la superficie del cilindro.

Mediante funciones trigonométricas logramos determinar el ángulo.

Donde:

Diámetro del cilindro = 320mm

Distancia del cilindro a la pistola = 160mm

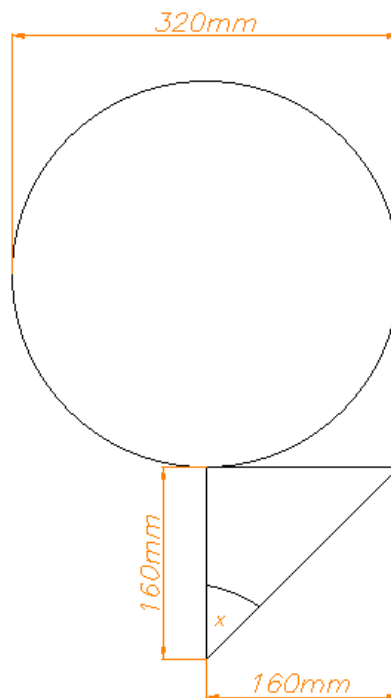


Figura 15. Diagrama referencial para obtención de ángulo. [Autor]

$$\tan(x) = \frac{a}{b} \quad (1)$$

$$\tan(x) = \frac{160mm}{160mm}$$

$$x = \tan^{-1} \left(\frac{160\text{mm}}{160\text{mm}} \right)$$

$$x = 45^\circ$$

Determinamos que el ángulo de rotación de los aplicadores de pintura es partiendo de 45° hacia -45° este movimiento se logrará con la implementación de un servomotor.

6.2.2. Diseño del mecanismo de sujeción de pistolas en la cabina

Se pasó a desarrollar el sistema de sujeción en el software de diseño AutoCAD Figura 18, todo esto con base a las necesidades de la empresa, se utilizará un diseño mediante articulaciones y uniones emperradas para garantizar movimientos extras de ser necesario, cada articulación permite mover hasta 270° para así evitar que las bases de las pistolas se queden completamente empotradas en la cabina (como es el caso del diseño actual del sistema), teniendo como ventaja el poder ubicar a la pistola en una determinada posición de acuerdo con la necesidad y tipo de cilindro a pintar. Los dibujos de todos los conjuntos y elementos se encuentran en el Anexo 1 y 2.

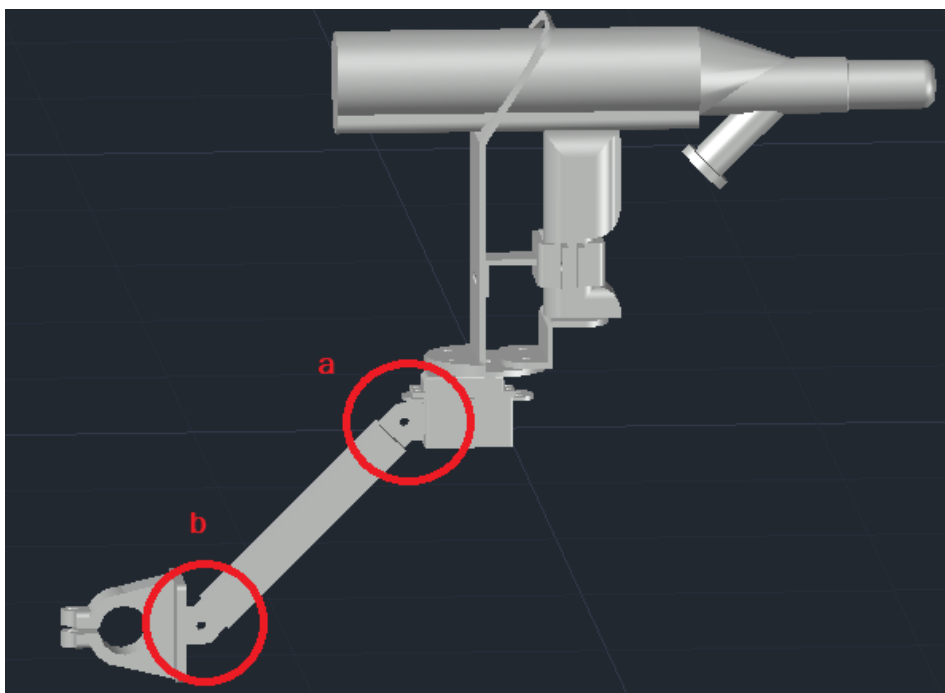


Figura 16. Articulaciones (a y b) propuestas para el sistema de sujeción de la pistola. [Autor]

6.2.2.1. Cálculo de la carga máxima que se puede aplicar al traslape de las barras

A partir de los esfuerzos del material a utilizar (en este caso A36) se determinan las cargas máximas que pueden llegar a soportar los traslapes del mecanismo de sujeción con los siguientes datos:

- Espesor= 5mm
- Diámetro pernos= 8mm
- Esfuerzo cortante permisible en pernos 80MPa
- Esfuerzo de tracción permisible en placa 250MPa
- Esfuerzo de aplastamiento permisible en placa 400MPa
- Esfuerzo de corte en placa 145MPa

Con la ecuación 2, se calcula el esfuerzo de tracción y aplastamiento necesarios de acuerdo con las situaciones dadas para el traslape de las barras.

a). Caso 1. Esfuerzo de tracción en barra traslapada.

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (2)$$

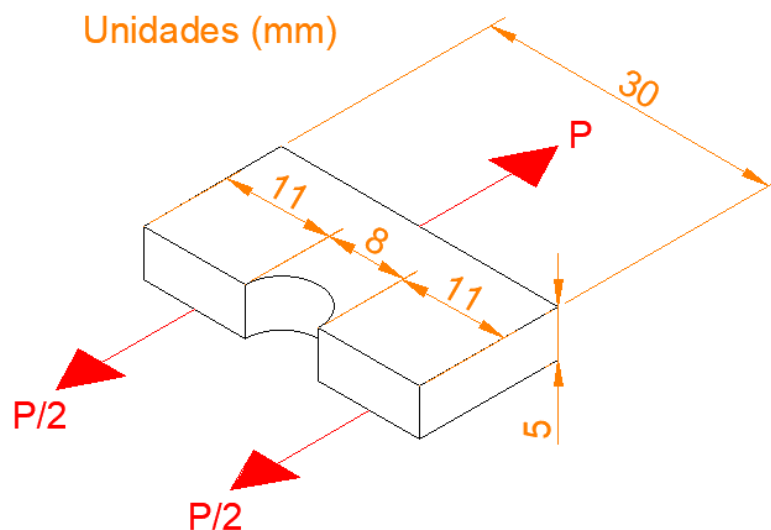


Figura 17. Esquema para esfuerzo de tracción en placa. [Autor]

$$(\sigma)_t = \frac{N}{A}$$

$$250 \times 10^6 \frac{N}{m^2} = \frac{P}{2(0.011m) * (0.005m)}$$

$$P = 110 \times 10^{-6} \text{m}^2 * 250 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P = 27.5 \text{kN}$$

B). Caso 2. Esfuerzo de aplastamiento en barra traslapada.

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (2)$$

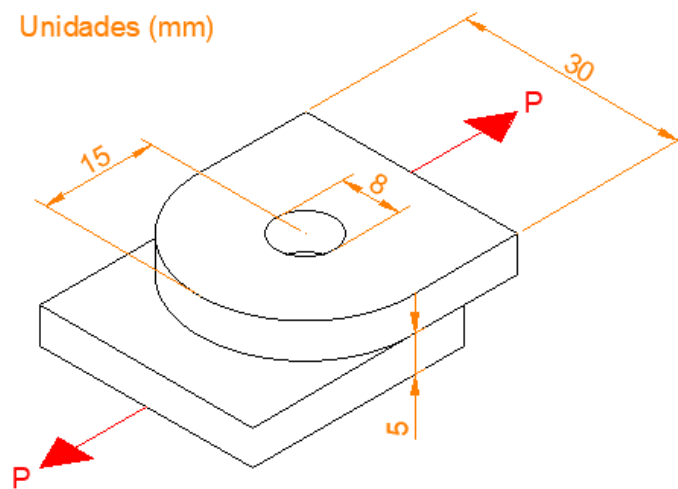


Figura 18. Esquema para esfuerzo de aplastamiento en placa. [Autor]

$$(\sigma)_b = \frac{N}{A}$$

$$400 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{P}{(0.008 \text{m}) * (0.005 \text{m})}$$

$$P = 4 \times 10^{-5} \text{m}^2 * 400 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P = 16 \text{kN}$$

C). Caso 3. Esfuerzo de corte en barra traslapada.

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (3)$$

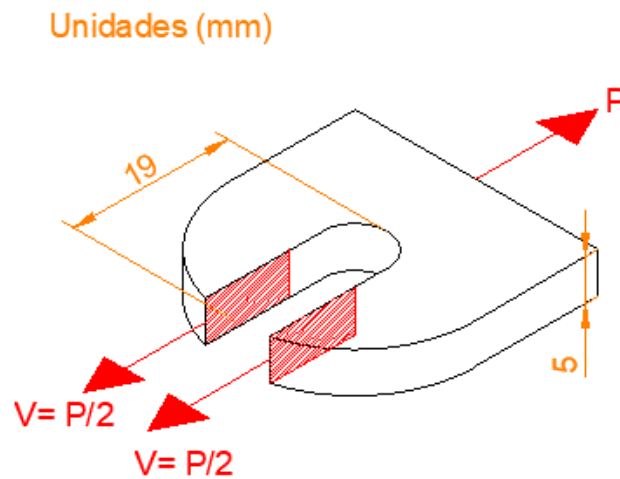


Figura 19. Esquema para esfuerzo de corte en placa. [Autor]

$$(\tau)_p = \frac{V}{A}$$

$$145 \times 10^6 \frac{N}{m^2} = \frac{P}{(0.019m) * (0.005m)}$$

$$\frac{P}{2} = 95 \times 10^{-6} m^2 * 145 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$P = 27.6 kN$$

D). Caso 4. Esfuerzo permisible en el perno.

$$\tau = \frac{V}{A} \tag{3}$$

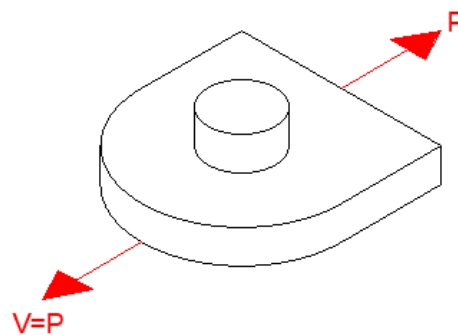


Figura 20. Esquema para esfuerzo permisible en perno. [Autor]

$$(\tau)_b = \frac{V}{A}$$

$$80 \times 10^6 \frac{N}{m^2} = \frac{P}{\pi * (0.004m)^2}$$

$$P = 5.0266 \times 10^{-5} m^2 * 80 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$P = 4.021 kN$$

6.2.2.2. Cálculo del esfuerzo cortante en los pernos del traslape

Teniendo en cuenta que el perno se encuentra dentro de la superficie de 2 traslapes se tomará un esfuerzo cortante “doble”.

Con la ecuación 4, se calcula el esfuerzo cortante necesario de acuerdo con las dimensiones de la plancha y pernos dadas para el traslape de las barras.

Donde:

$$Fuerza = 70N$$

$$Pernos = \varnothing 8mm$$

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{4}$$

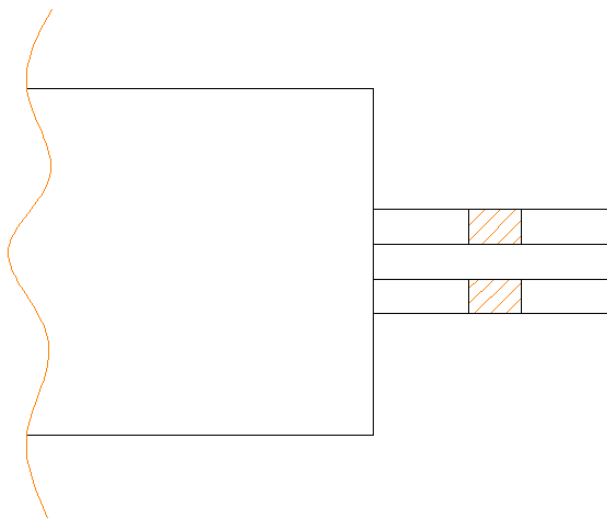


Figura 21. Sección del traslape donde se produce el esfuerzo cortante doble. [Autor]

$$A = \frac{\pi}{4} * d^2 \quad (5)$$

$$A_p = \frac{\pi}{4} * (0.008m)^2$$

$$A_p = 5.027 \times 10^{-5} m^2$$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{70N}{2 * (5.027 \times 10^{-5} m^2)}$$

$$\tau = 696.2 \text{ kPa}$$

Para comprobar los cálculos expuestos, se realizó una simulación en el software ANSYS en el apartado de “Static Structural” Figura 22. En la Tabla 1 se muestran los resultados de la simulación del sistema de traslape ilustrado y calculado en comparativa con los resultados obtenidos en ambos casos.

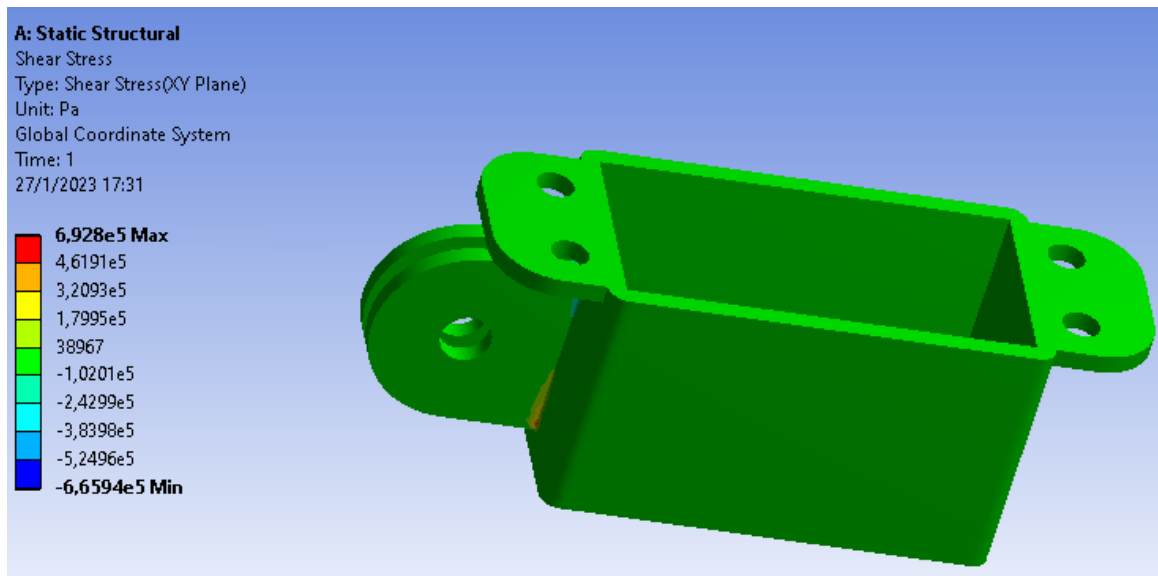


Figura 22. Análisis del esfuerzo cortante obtenido mediante software computacional. [Autor]

Tabla 1. Comparativa de resultados obtenidos mediante software y método analítico. [Autor]

$\tau_{\text{máx}}$	Valor ANSYS	Valor calculado
Esfuerzo cortante máximo en los pernos de los traslapes	693 kPa	696.2 kPa

6.2.2.3. Análisis de momentos en la barra principal

Teniendo en cuenta la distribución de la fuerza en la barra principal del soporte, obtenemos las componentes de la fuerza tanto en el eje x como en el eje y.

$$F_x = 70N * \cos(45^\circ)$$

$$F_x = 49.5N$$

$$F_y = 70N * \sin(45^\circ)$$

$$F_y = 49.5N$$

Utilizando la ecuación 6 obtenemos el momento sometido del eje principal del sistema de sujeción, para el caso del eje se obtiene momentos en el eje y.

$$M = F * d \tag{6}$$

$$M_y = F_y * d$$

$$M_y = 49.5N * 0.23m$$

$$M_y = 11.39 N * m$$

Para comprobar los cálculos expuestos, se ha realizado una simulación en el software ANSYS en el apartado de “Static Structural” Figura 22. En la Tabla 2 se muestran los resultados de la simulación en el eje principal ilustrado y calculado en comparativa con los resultados obtenidos en ambos casos.

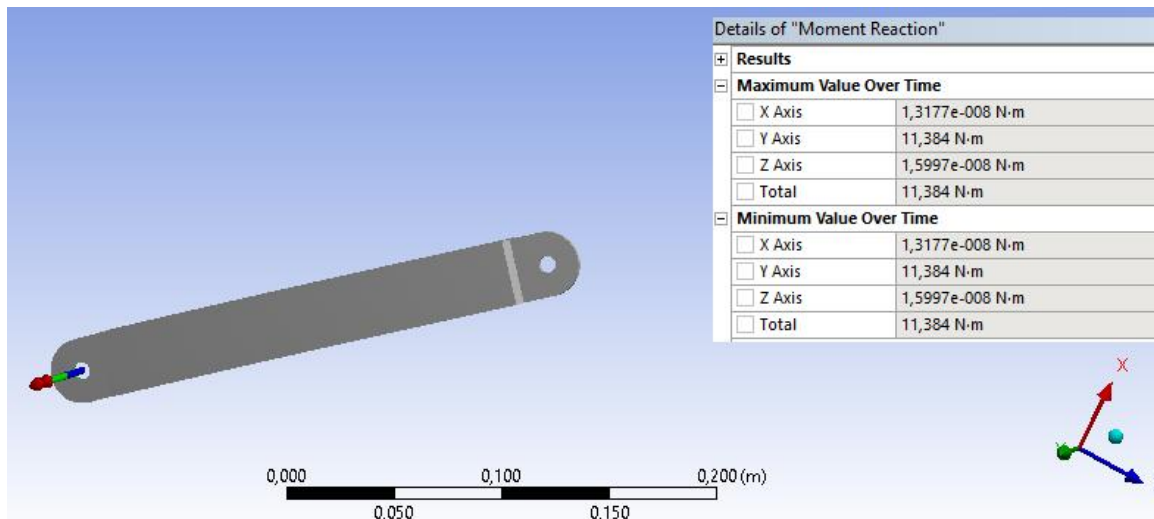


Figura 23. Análisis de momentos obtenidos en el eje principal mediante software computacional. [Autor]

Tabla 2. Comparativa de resultados obtenidos mediante software y método analítico. [Autor]

	Valor ANSYS	Valor calculado
Momentos en el eje y de la barra principal de sistema de sujeción	11.38 N*m	11.39 N*m

6.2.3. Análisis de Von Mises y deformación total en elementos

De acuerdo con los parámetros de diseño obtenidos, es muy importante saber los valores de deformación de cada elemento por separado, es decir verificar cuanta deformación sufren al momento de generar su total funcionamiento dentro del entorno.

Mediante el software ANSYS y el apartado de “Static Structural” se procedió a generar un análisis para cada elemento comprometido dentro del sistema de sujeción del brazo y el sistema de sujeción del aplicador de pistola.

6.2.3.1. Proceso de mallado

El proceso de mallado de las geometrías a utilizar es muy importante ya que procedemos a dividir nuestro elemento en pequeñas partes para lograr resolver mediante los algoritmos de ecuaciones el tipo de análisis que deseamos saber, obteniendo valores muy aproximados.

La calidad de los resultados es directamente relacionada con la calidad del mallado, es decir, si tenemos una malla grande o por “default” los resultados serán muy alejados de la realidad, mientras que si la malla es más pequeña nuestros resultados cada vez serán más cercanos a los valores reales. Ver Anexo 2 para detalles de figuras y mallado.

a). Análisis en abrazadera principal

En la Figura 24 y 25 se puede observar el análisis de esfuerzo de “Von-Mises” y el análisis de deformación total, realizado en la abrazadera principal mediante software computacional ANSYS, los valores de los resultados máximos y mínimos obtenidos se detallan en la tabla 3.

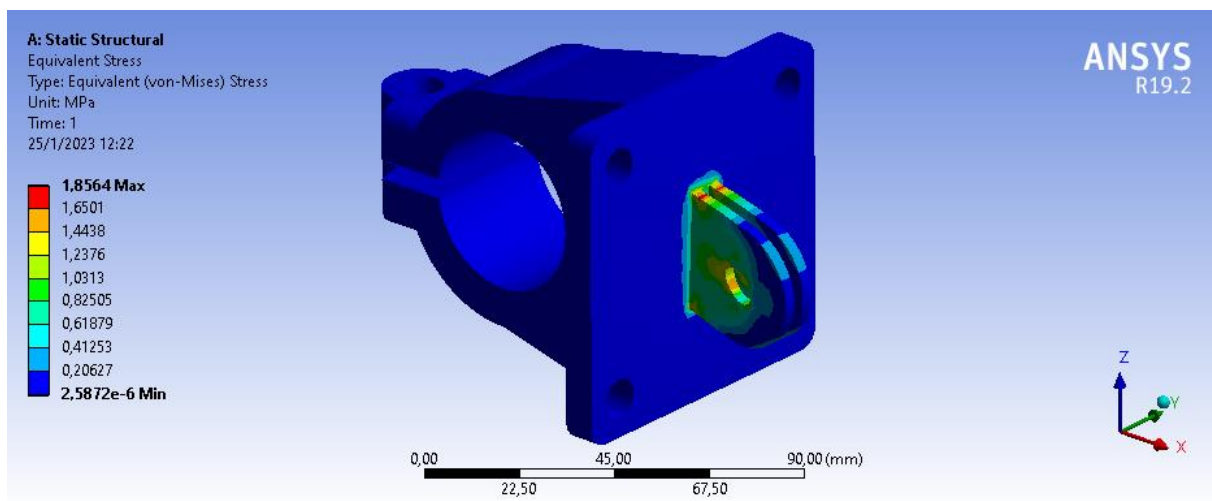


Figura 24. Resultado de análisis esfuerzo de Von Mises en software computacional. [Autor]

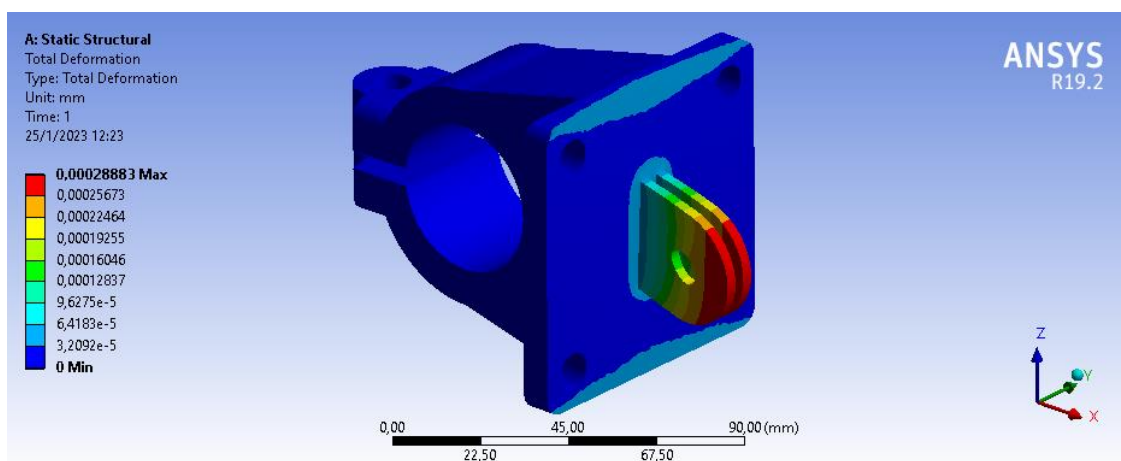


Figura 25. Resultado de análisis de deformación total en software computacional. [Autor]

Tabla 3. Valores máximos y mínimos de análisis en software computacional. [Autor]

	Análisis de esfuerzo Von Mises [MPa]	Análisis de deformación total del elemento [mm]
Valor máximo	1.856 MPa	0.00029 mm
Valor mínimo	2.58e ⁻⁶ MPa	0 mm

b). Análisis en eje principal

En la Figura 26 y 27 se puede observar el análisis de esfuerzo de “Von-Mises” y el análisis de deformación total, realizado en el eje principal del sistema mediante software computacional ANSYS, los valores de los resultados máximos y mínimos obtenidos se detallan en la tabla 4.

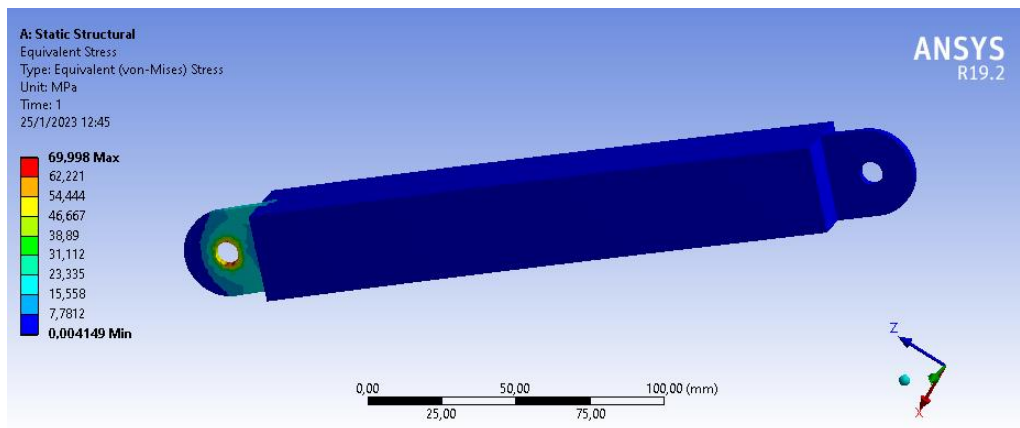


Figura 26. Resultado de análisis esfuerzo de Von Mises en software computacional. [Autor]

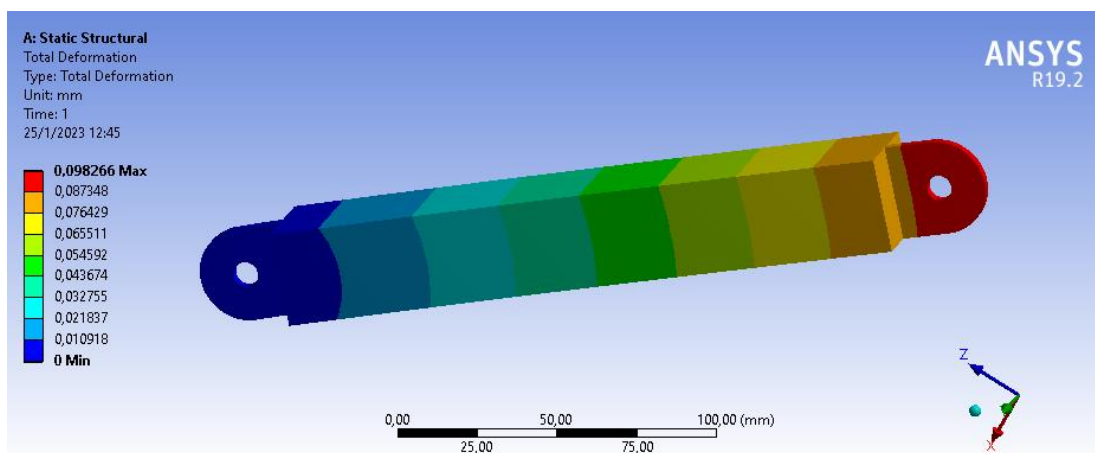


Figura 27. Resultado de análisis de deformación total en software computacional. [Autor]

Tabla 4. Valores máximos y mínimos de análisis en software computacional. [Autor]

	Análisis de esfuerzo Von Mises [MPa]	Análisis de deformación total del elemento [mm]
Valor máximo	70 MPa	0.0982 mm
Valor mínimo	0.00414 MPa	0 mm

c). Análisis en soporte para servomotor

En la Figura 28 y 29 se puede observar el análisis de esfuerzo de “Von-Mises” y el análisis de deformación total, realizado en el soporte para servomotor mediante software computacional ANSYS, los valores de los resultados máximos y mínimos obtenidos se detallan en la tabla 5.

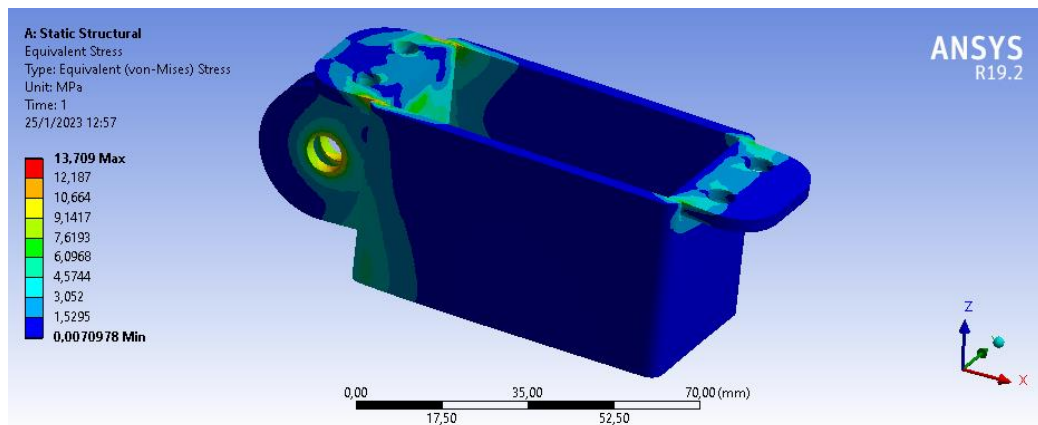


Figura 28. Resultado de análisis esfuerzo de Von Mises en software computacional. [Autor]

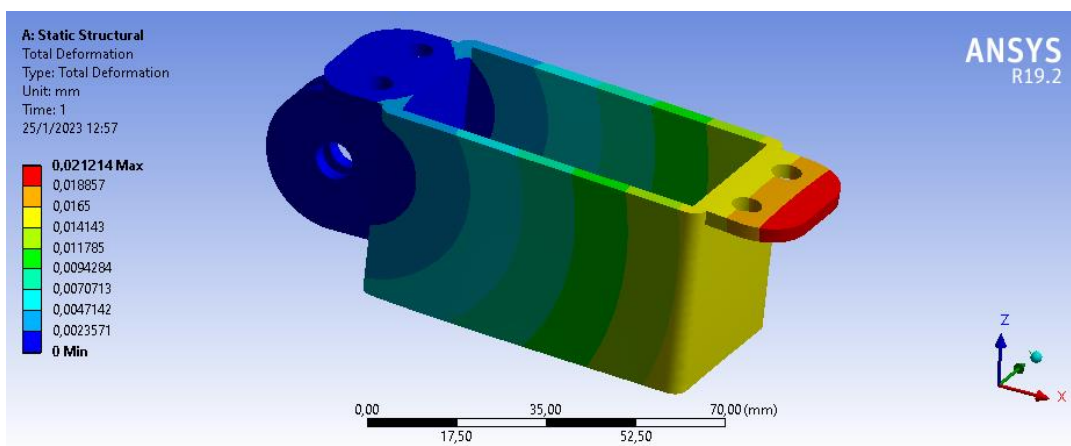


Figura 29. Resultado de análisis de deformación total en software computacional. [Autor]

Tabla 5. Valores máximos y mínimos de análisis en software computacional. [Autor]

	Análisis de esfuerzo Von Mises [MPa]	Análisis de deformación total del elemento [mm]
Valor máximo	13.709 MPa	0.02121 mm
Valor mínimo	0.00709 MPa	0 mm

d). Análisis en soporte para pistola

En la Figura 30 y 31 se puede observar el análisis de esfuerzo de “Von-Mises” y el análisis de deformación total, realizado en el soporte para pistola mediante software computacional ANSYS, los valores de los resultados máximos y mínimos obtenidos se detallan en la tabla 6.

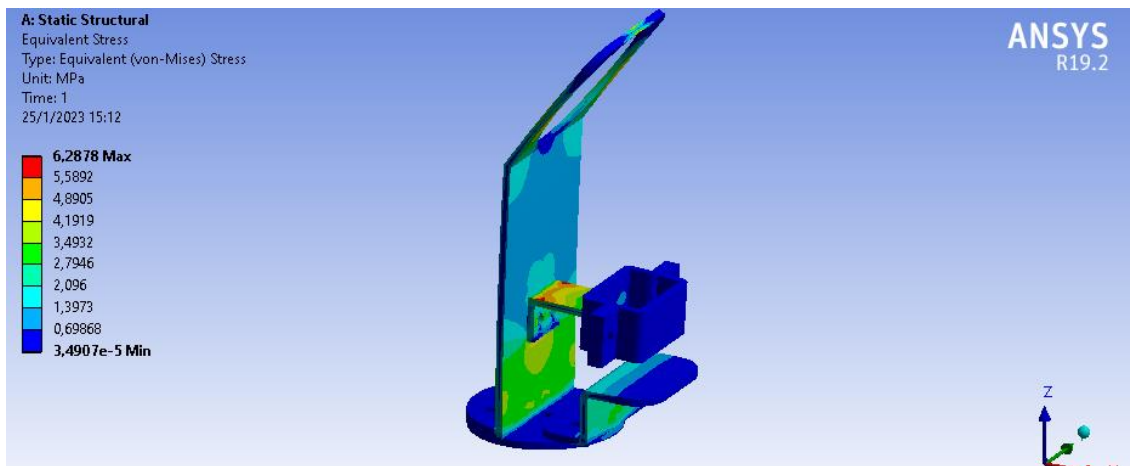


Figura 30. Resultado de análisis esfuerzo de Von Mises en software computacional. [Autor]

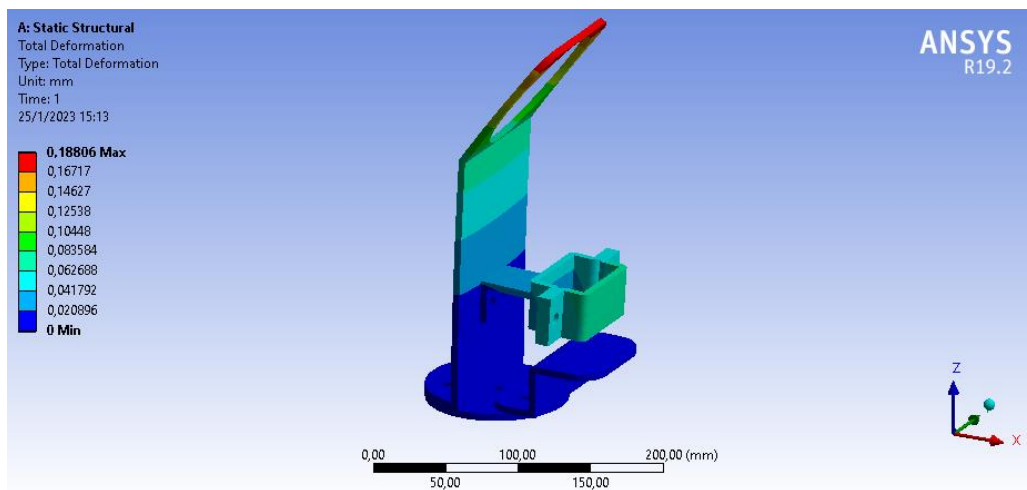


Figura 31. Resultado de análisis de deformación total en software computacional. [Autor]

Tabla 6. Valores máximos y mínimos de análisis en software computacional. [Autor]

	Análisis de esfuerzo Von Mises [MPa]	Análisis de deformación total del elemento [mm]
Valor máximo	6.29 MPa	0.188 mm
Valor mínimo	$3.5e^{-5}$ MPa	0 mm

6.2.4. Cálculo para el sistema piñón cremallera del aplicador vertical

Para lograr el desplazamiento vertical del aplicador, se utilizó el mecanismo piñón cremallera para poder obtener el movimiento lineal, este mismo se podrá controlar mediante un motor a pasos el cual está conectado directamente con el engranaje. En la Figura 32, se presenta el mecanismo dibujado en software CAD 3D.

Para ver planos de los conjuntos y elementos, ver el Anexo 3.

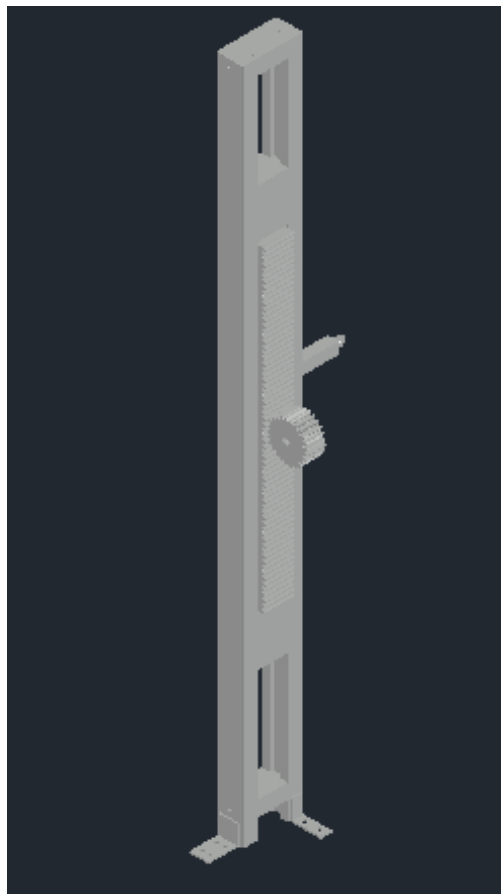


Figura 32. Mecanismo piñón cremallera del sistema. [Autor]

6.2.4.1. Dimensionamiento del piñón principal

Para el sistema de desplazamiento vertical es necesario obtener el diseño del piñón principal el cual será el encargado de transmitir el movimiento circular a un movimiento vertical para el aplicador de pintura. Se procede a diseñar el piñón partiendo de los siguientes datos.

Donde:

$$\text{Módulo } (m) = 4$$

$$\text{Círculo de paso } (CP) = 100\text{mm}$$

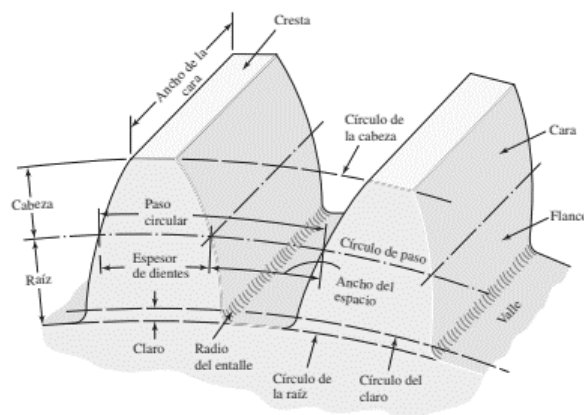


Figura 33. Factores para diseño en piñones. [8]

El diámetro primitivo se lo tomó en función del diámetro del eje en el motor de pasos que será el encargado de dar el movimiento dentro de la cabina de pintura.

Se procede a reemplazar los datos en las ecuaciones proporcionadas directamente del libro “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley”.

$$Z = \frac{CP}{m} \quad (7)$$

Donde:

$Z = \text{Número de dientes}$

$CP = \text{Círculo de paso}$

$m = \text{Módulo}$

$$Z = \frac{100}{4}$$

$$Z = 25 \text{ dientes}$$

Encontramos el paso circular mediante la ecuación 8.

$$Pc = \pi * m \quad (8)$$

Donde:

$Pc =$ Paso circular

$m =$ Módulo

$$Pc = \pi * 4$$

$$Pc = 12.57 \text{ mm}$$

Encontramos el valor de la cabeza del diente mediante la ecuación 9.

$$A = m \quad (9)$$

Donde:

$A =$ Cabeza del diente

$m =$ Módulo

$$A = 4$$

Encontramos el espesor del diente mediante la ecuación 10.

$$S = Pc * \frac{19}{40} \quad (10)$$

Donde:

$S =$ Espesor de diente

$Pc =$ Paso circular

$$S = 12.57 * \frac{19}{40}$$

$$S = 5.97 \text{ mm}$$

Encontramos la raíz del diente mediante la ecuación 11.

$$Rd = 1.25 * m \quad (11)$$

Donde:

$Rd = \text{Raíz del diente}$

$m = \text{Módulo}$

$$Rd = 1.25 * 4$$

$$Rd = 5 \text{ mm}$$

Mediante la ecuación 12, encontramos el radio de entalle

$$R = \frac{Pc}{12} \tag{12}$$

Donde:

$R = \text{radio de entalle}$

$Pc = \text{paso circular}$

$$R = \frac{12.57}{12}$$

$$R = 1.05 \text{ mm}$$

Mediante los valores obtenidos de los cálculos, obtenemos las variables necesarias para el diseño del piñón principal del sistema.

6.2.4.2. Cálculo de velocidad en la cremallera

En la Figura 34, se muestra la configuración de una transmisión piñón cremallera, la función de ese accionamiento es producir un movimiento lineal de la cremallera, a partir del movimiento giratorio del piñón motriz. También es cierto lo contrario: si el impulsor produce un movimiento lineal de la cremallera, produce un movimiento giratorio del piñón. [9]

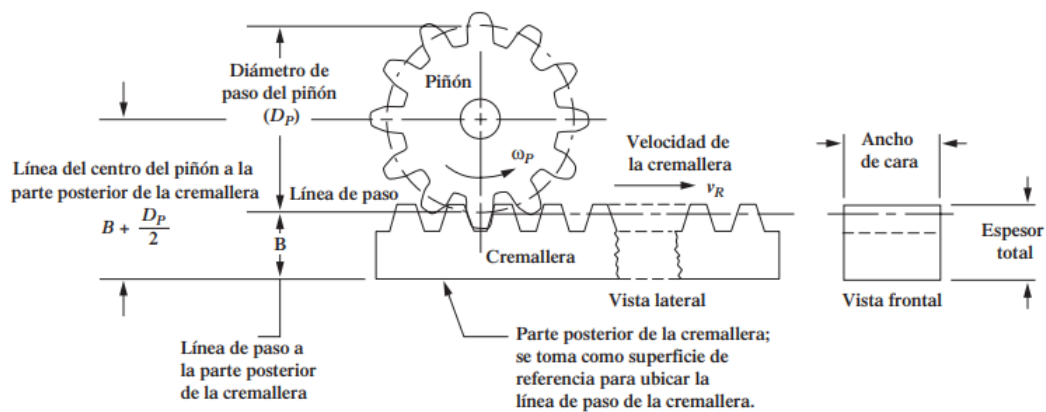


Figura 34. Cremallera impulsada por un piñón. [9]

Se calcula la velocidad de la cremallera, primero se calcula el diámetro de paso del piñón mediante la ecuación 13.

Donde:

Velocidad máx del motor = 60rpm

Número de dientes del piñón = 25

Paso diametral = 6.35in

$$D_p = \frac{N_p}{P_d} \quad (13)$$

$$D_p = \frac{25}{6.35in}$$

$$D_p = 3.93in$$

Se convierte la velocidad angular a rad/s:

$$\omega_p = 60 \frac{rev}{min} * \left(2\pi \frac{rad}{rev}\right) * \left(1 \frac{min}{60s}\right)$$

$$\omega_p = 6.28 \frac{rad}{s}$$

Se iguala la velocidad de línea de paso del piñón con la velocidad lineal de la cremallera, mediante la ecuación 14.

$$v_R = v_t = \left(\frac{D_p}{2}\right) \omega_p \quad (14)$$

$$v_R = \left(\frac{3.93in}{2}\right) * \left(6.28 \frac{rad}{s}\right)$$

$$v_R = 12.34 \frac{in}{s}$$

$$v_R = 313.4 \frac{mm}{s}$$

6.2.5. Cálculo de esfuerzo superficial en piñón

El cálculo de esfuerzo superficial sometido para piñones de dientes rectos se realiza mediante la ecuación 15, teniendo en cuenta los siguientes datos del piñón:

Datos:

$$N_p = 25$$

$$P_d = 6.35 \text{ in}$$

$$F = 50 \text{ mm} \approx 1.97 \text{ in}$$

$$Q_v = 5$$

$$m_B = 1.5$$

$$S_t = \frac{W_t * P_d}{F * J} * K_o * K_s * K_m * K_B * K_v \quad (15)$$

Donde:

$W_t =$ Esfuerzo tangencial

$P_d =$ Paso diametral

$F =$ Ancho de cara del piñón

$J =$ Factor de geometría

$K_o =$ Factor de tamaño

$K_s =$ Factor de sobrecarga

$K_m =$ Factor de distribución de carga

$K_B =$ Factor de espesor

$K_v =$ Factor dinámico

Para obtener la fuerza tangencial se utiliza la ecuación 16.

$$W_t = \frac{33000 * P}{V_t} \quad (16)$$

Obtenemos V_t necesaria para reemplazar en la ecuación anterior mediante la ecuación 17.

$$V_t = \frac{\pi * D_p * rpm}{12} \quad (17)$$

$$D_p = \frac{25}{6.35}$$

$$D_p = 3.94$$

$$V_t = \frac{\pi * 3.94 * 60}{12}$$

$$V_t = 61.89 \frac{ft}{min}$$

Se obtiene el resultado de la fuerza tangencial reemplazando en la ecuación 16.

$$W_t = \frac{33000 * 3.2 \times 10^{-3}}{99.11}$$

$$W_t = 1.71$$

Se utiliza la Figura 35, tomada del libro “Diseño de elementos de máquinas de Moot” para obtener el valor J (Factor de geometría) en engranes rectos a 20° .

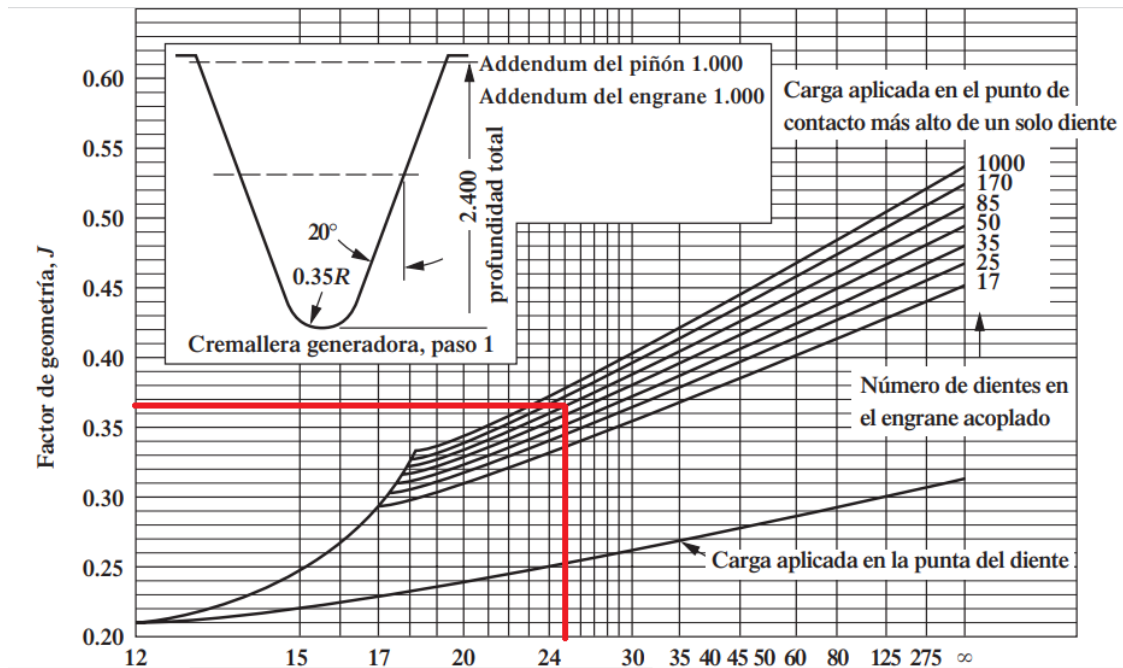


Figura 35. Factor de geometría tomado de la norma AGMA. [9]

$$J = 0.37$$

De la Figura 36, tomada del libro “Diseño de elementos de máquinas de Moot”, se obtiene el factor de carga (K_o) teniendo en cuenta que el movimiento se da por un motor eléctrico, la fuente de potencia es uniforme.

Factores de sobrecarga sugeridos, K_o				
Fuente de potencia	Máquina impulsada			
	Uniforme	Choque ligero	Choque moderado	Choque pesado
Uniforme	1.00	1.25	1.50	1.75
Choque ligero	1.20	1.40	1.75	2.25
Choque moderado	1.30	1.70	2.00	2.75

Figura 36. Factores de sobrecarga sugeridos. [9]

$$K_o = 1$$

De la Figura 37, tomada del libro “Diseño de elementos de máquinas de Moot”, se obtiene el factor de tamaño (K_s) realizando una interpolación se obtiene el valor entre los datos sugeridos.

Factores de tamaño sugeridos, K_s		
Paso diametral, P_d	Módulo métrico, m	Factor de tamaño, K_s
≥ 5	≤ 5	1.00
4	6	1.05
3	8	1.15
2	12	1.25
1.25	20	1.40

Figura 37. Factores de tamaño sugeridos. [9]

$$K_s = 1.057$$

El factor de distribución de carga, se obtiene de la ecuación 18.

$$K_m = 1 + C_{pf} + C_{ma} \quad (18)$$

Donde:

C_{pf} = Factor de proporción del piñón

C_{ma} = Factor de alineamiento del engranado

De la Figura 38, tomada del libro “Diseño de elementos de máquinas de Moot”, se determina la ecuación 19, para obtener el valor de C_{pf} , teniendo en cuenta que el valor de F del piñón es 1.97in

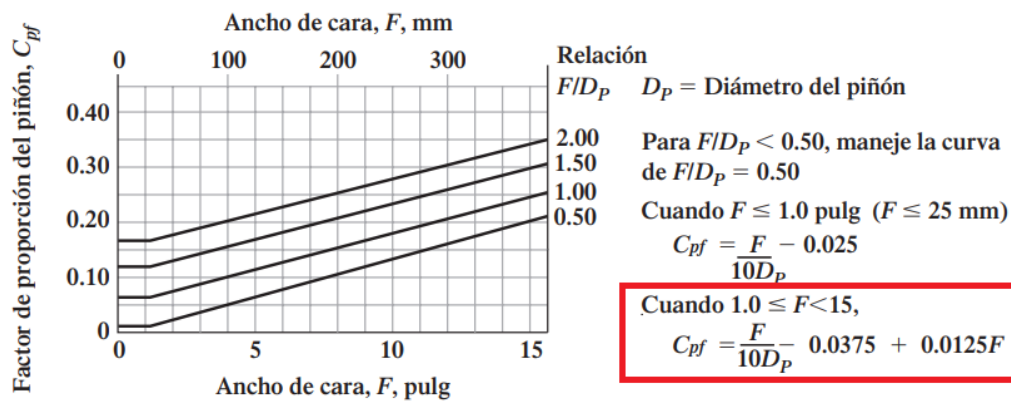


Figura 38. Factor de proporción del piñón. [9]

$$C_{pf} = \frac{F}{10 * D_p} - 0.0375 + 0.0125F \quad (19)$$

$$C_{pf} = \frac{1.97}{10 * D_p} - 0.0375 + 0.0125F$$

$$C_{pf} = 0.018$$

De la Figura 39, tomada del libro “Diseño de elementos de máquinas de Moot”, se obtiene el valor de C_{ma} , teniendo en cuenta que se son unidades comerciales cerradas de engranes.

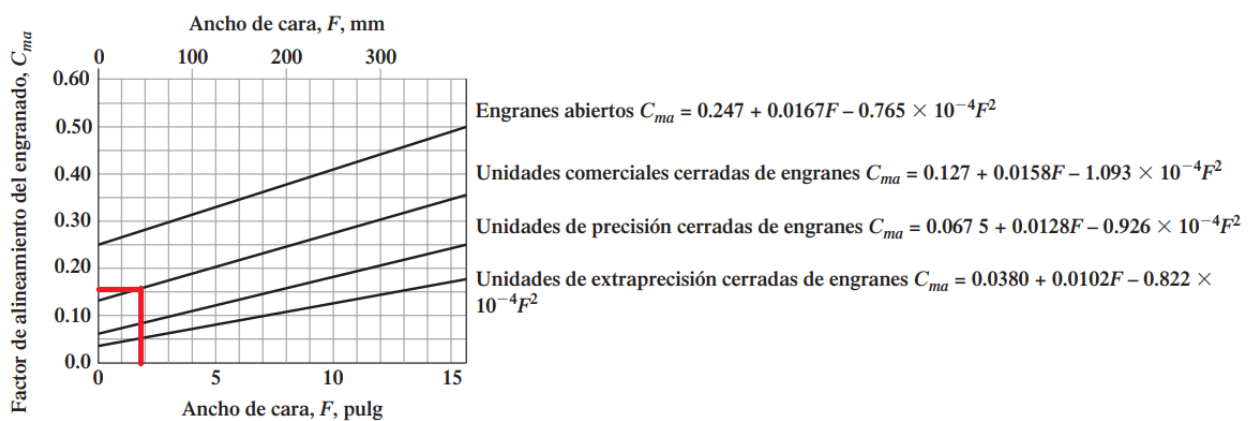


Figura 39. Factor de alineamiento del engranado. [9]

$$C_{ma} = 0.15$$

Se reemplaza la ecuación 18, para obtener el factor de distribución de la carga K_m .

$$K_m = 1 + 0.018 + 0.15$$

$$K_m = 1.17$$

De la Figura 40, tomada del libro “Diseño de elementos de máquinas de Moot”, se determina el valor de K_B , teniendo en cuenta que el valor de $m_B > 1.2$.

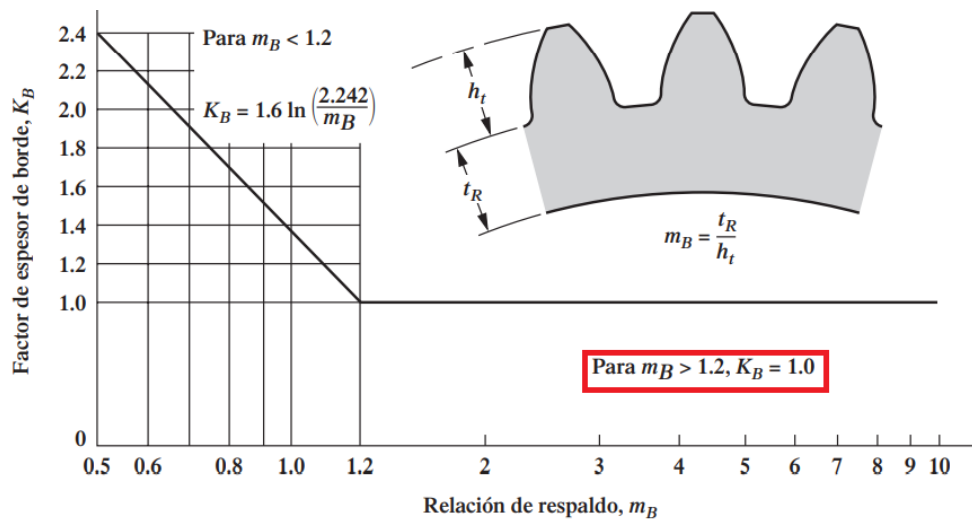


Figura 40. Factor de espesor de borde. [9]

$$K_B = 1$$

De la Figura 41, tomada del libro “Diseño de elementos de máquinas de Moot”, se determina el valor de K_v .

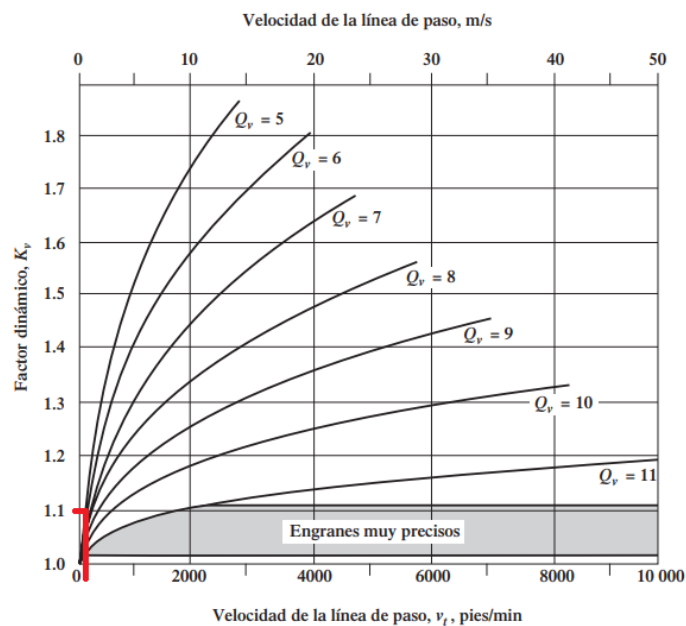


Figura 41. Factor dinámico. [9]

$$K_v = 1.1$$

Se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación 15, para obtener el valor del esfuerzo superficial en el piñón.

$$S_t = \frac{1.71 * 6.35}{1.97 * 0.37} * 1 * 1.057 * 1.17 * 1 * 1.1$$

$$S_t = 20.27 \text{ psi}$$

El factor de seguridad se comprueba con la ecuación 20.

$$n_p = \frac{S_t}{\sigma_p} \geq 1 \quad (20)$$

Donde:

$$\sigma_p = 14.9 \text{ psi}$$

$$S_t = 20.27 \text{ psi}$$

Se reemplaza la ecuación 20, se obtiene el factor de seguridad del piñón.

$$n_p = \frac{20.27}{14.9} \geq 1$$

$$n_p = 1.36 \geq 1$$

6.2.6. Programación de los servomotores para generación de movimiento angular

6.2.6.1. Definición de variables para programación

Dado que se utilizarán tres servomotores en total para el movimiento angular de las pistolas, se ha considerado que cada uno debe tener un control “on/off” independiente ya que puede darse el caso en el que solo se llegue a utilizar una o dos pistolas y así se evitarán gastos energéticos innecesarios dentro de la planta.

En la Figura 35, se puede observar un esquema realizado en software en donde se detallan los elementos que conforman el circuito de control para el sistema. En el Anexo 4 se detalla el esquema eléctrico del sistema.

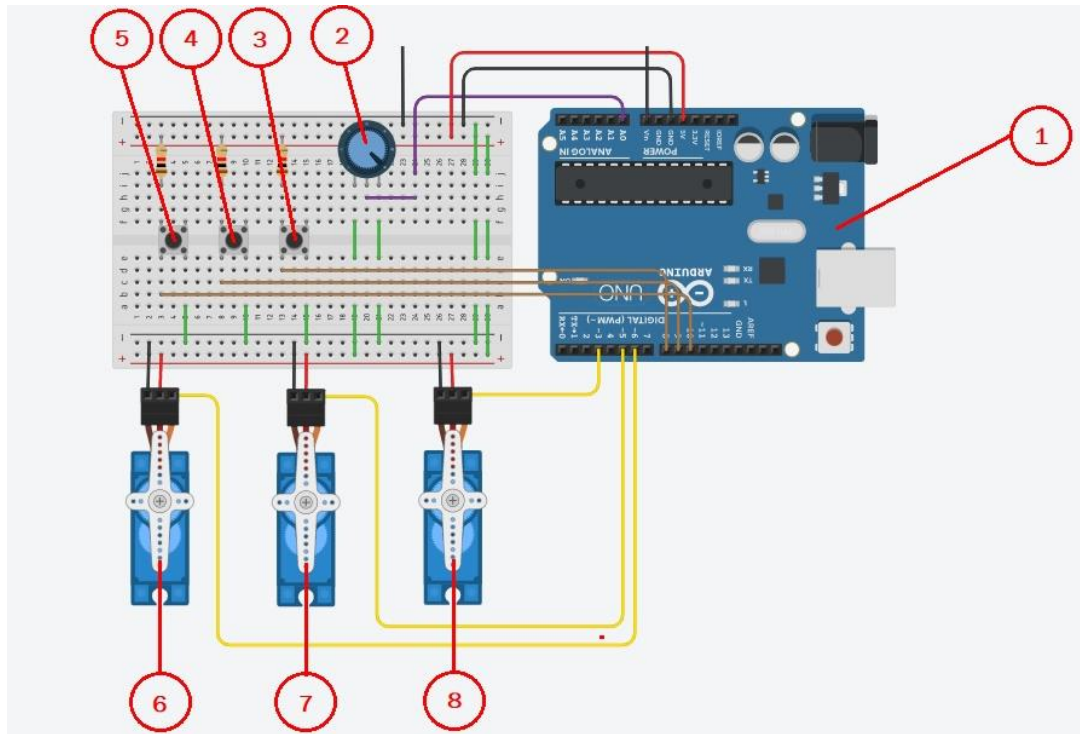


Figura 42. Elementos del circuito para el sistema. 1. Arduino uno, 2. Potenciómetro, 3. Pulsante1, 4. Pulsante2, 5. Pulsante3, 6. Servomotor1, 7. Servomotor2, 8. Servomotor3. [Autor)

6.2.6.2. Programación de la tarjeta Arduino 1

A continuación, se detalla el código de programación que se realizó para obtener un movimiento angular en cada servomotor y un control independiente de cada servomotor. Se utilizaron 72 líneas de programación y en cada acción realizada se detalla un comentario explicando el significado de cada comando y acción realizada.

```

1  #include <Servo.h>
2
3  Servo servo1;
4  Servo servo2;
5  Servo servo3;
6
7  int b1=8;
8  int b2=9;
9  int b3=10;
10
11 int an1=45; //Angulos del Servo
12 int an2=135;
13
14 int t1=5; //Tiempos para Velocidad
15 int t2=400;
16
17 int potenciometro;
18 int velocidad;
19
20 bool c1=true; //Condiciones para encender o apagar servo
21 bool c2=true;
22 bool c3=true;
23
24 void setup()
25 {
26   pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
27   servo1.attach(3);
28   servo2.attach(5);
29   servo3.attach(6);
30
31   pinMode(b1, INPUT);
32   pinMode(b2, INPUT);
33   pinMode(b3, INPUT);
34
35

```

```

35
36   servo1.write(an1);
37   servo2.write(an1);
38   servo3.write(an1);
39
40   digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); //Para comprobar encendido
41   delay(1000);
42   digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
43   delay(1000);
44 }
45
46 void loop()
47 {
48   for (int i = an1; i <= an2; i++){
49     potencio=analogRead(A0); // Lee el potencio
50     velocidad=map(potencio,0,1023,t1,t2); //Escala el Valor
51     if (c1){ servo1.write(i);}
52     if (c2){ servo2.write(i);}
53     if (c3){ servo3.write(i);} // Desplazamos al ángulo correspondiente
54
55     if (digitalRead(b1)==LOW){delay(0.5); c1=!c1;}
56     if (digitalRead(b2)==LOW){delay(0.5); c2=!c2;}
57     if (digitalRead(b3)==LOW){delay(0.5); c3=!c3;}
58     delay(velocidad);// Hacemos una pausa
59   }
60
61   for (int i = an2; i >= an1; i--){
62     potencio=analogRead(A0); // Lee el potencio
63     velocidad=map(potencio,0,1023,t1,t2); // Escala el Valor
64     if (c1){ servo1.write(i);}
65     if (c2){ servo2.write(i);}
66     if (c3){ servo3.write(i);} // Desplazamos al ángulo correspondiente
67
68     if (digitalRead(b1)==LOW){delay(0.5); c1=!c1;}
69     if (digitalRead(b2)==LOW){delay(0.5); c2=!c2;}
70     if (digitalRead(b3)==LOW){delay(0.5); c3=!c3;}
71     delay(velocidad);// Hacemos una pausa
72   }

```

Figura 43. Código de programación para servomotores. [Autor]

6.3. Análisis técnico financiero

En el presente punto, se detallan los costos de construcción, mano de obra e implementación del diseño de los 3 aplicadores en su totalidad, para esto se realizó el análisis de precios unitarios como se muestra en las Tablas 7, 8 y 9.

En la Tabla 7, se presenta el análisis de precios unitarios de los sistemas electrónicos y de control.

Tabla 7. Análisis de precios unitarios de los sistemas electrónicos y de control. [Autor]

PROYECTO: DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE APLICADORES DE CABINA DE PINTURA EN LA EMPRESA TECNERO S.A.

ITEM: 1
DESCRIPCION: SISTEMAS ELECTRÓNICOS Y DE CONTROL
UNIDAD: u

EQUIPO Y HERRAMIENTA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor (Taladro, brocas, llaves de broca, dados, pela cables, aislantes)	3%MO			6,12
PARCIAL M				6,12

MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIU B	COSTO TOTAL C=A*B
Arduino UNO R3	u	1,00	39,99	39,99
Potenciómetro de 250k	u	4,00	12	48,00
Servomotor 80kg high torque (waterproof)	u	3,00	25	75,00
Motor a pasos Bipolar	u	1,00	28	28,00
Botón Pulsador 4-Pin	u	4,00	3	12,00
Cable para servomotor y motor de paso	m	10,00	1,25	12,50
PARCIAL N				215,49

TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Cuenca	u	5	5,00	1	25,00
					0,00
PARCIAL O					25,00

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Ayudante mecánico	1	3,22	30	96,60
Ingeniero mecanico	1	3,58	30	107,40
PARCIAL P				204,00

TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+P)				450,61
INDIRECTOS Y UTILIDAD			20,00%	90,12
COSTO TOTAL DEL RUBRO				
VALOR PROPUESTO				540,73

En la Tabla 8, se presenta el análisis de precios unitarios para la construcción del soporte de los aplicadores.

Tabla 8. Análisis de precios unitarios para la construcción del soporte de los aplicadores. [Autor]

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DEL OFERENTE: Peña Paúl
ITEM: 2
DESCRIPCION: CONSTRUCCIÓN SOPORTE PARA APLICADOR
UNIDAD: u

EQUIPO Y HERRAMIENTA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor (Taladro, brocas, llaves de boca, dados, etc)	3%MO			5,93
Soldadora	1	15,00	5	75,00
Corte láser para acéero	1	40,00	3	120,00
			PARCIAL M	200,93

MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIU B	COSTO TOTAL C=A*B
Electrodos 6011 de 1/8"	kg	2,00	4,3	8,60
Plancha acéero A36 de 5mm espesor	u	2,00	120	240,00
Tubo cuadrado de 1 1/4"	u	1,00	21	21,00
Tubo redondo diámetro 40mm	u	2,00	18	36,00
Abrazaderas para tubo	u	4,00	20	80,00
Perno ISO 4762 M8x50 (completos)	u	4,00	1,25	5,00
Perno ISO 4762 M8x25 (completos)	u	8,00	1	8,00
Perno ISO 4762 M8x30 (completos)	u	6,00	1,5	9,00
Perno M6x20 (solos)	u	12,00	0,75	9,00
Perno 25-111 M8x30 (completos)	u	6,00	1,15	6,90
Pernos SFS 2221 M8x30 (completos)	u	6,00	1,18	7,08
Perno JIS B 1176 M8x20 (solos)	u	12,00	0,75	9,00
			PARCIAL N	439,58

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Ingeniero mecánico	1	3,58	12	42,96
Técnico mecánico	2	3,22	24	154,56
				0,00
			PARCIAL P	197,52

TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)		838,03
INDIRECTOS Y UTILIDAD	20,00%	167,61
COSTO TOTAL DEL RUBRO		
VALOR PROPUESTO		1005,63

En la Tabla 9, se presenta el análisis de precios unitarios para la construcción del mecanismo piñón cremallera.

Tabla 9. Análisis de precios unitarios para la construcción del mecanismo piñón cremallera. [Autor]

ÁNALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DEL OFERENTE: Peña Paúl
ITEM: 3
DESCRIPCION: CONSTRUCCIÓN MECANISMO PIÑON CREMALLERA
UNIDAD: u

EQUIPO Y HERRAMIENTA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor (Taladro, brocas, llaves de boca, dados, etc)	3%MO			5,06
Torno	1	20,00	8	120,00
Corte láser para acero	1	40,00	0,5	20,00
Soldadora	1	15,00	5	75,00
Fresadora	1	20,00	30	600,00
			PARCIAL M	820,06

MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIU	COSTO TOTAL C=A*B
Plancha acéero A36 espesor 5mm 50mm	m2	0,30	15	4,50
Perno ISO 4762 M10x80	u	1,00	350	350,00
Pernos Allen ISO 4762 M8X40	u	8,00	2	16,00
			1,15	4,60
			PARCIAL N	375,10

TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Cuenca		1	2,00	10	20,00
				PARCIAL O	20,00

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
Técnico Mécánico 1	1	2,81	30	84,30
Técnico Mécánico 2	1	2,81	30	84,30
			PARCIAL P	168,60

TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)				1383,76
INDIRECTOS Y UTILIDAD			20,00%	276,75
COSTO TOTAL DEL RUBRO				
VALOR PROPUESTO				1660,51

En la Tabla 10, se presenta el análisis de precios unitarios para la instalación y puesta en marcha del sistema.

Tabla 10. Análisis de precios unitarios para la instalación y puesta en marcha del sistema. [Autor]

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DEL OFERENTE: Peña Paúl
ITEM: 4
DESCRIPCION: INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA
UNIDAD: u

EQUIPO Y HERRAMIENTA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor (Taladro, brocas, llaves de boca, dados, etc)	3%MO			2,70
			PARCIAL M	2,70

MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIU B	COSTO TOTAL C=A*B
Ensamble general	u	1,00	300	300,00
Puesta en marcha del equipo	u	1,00	200	200,00
Montaje del equipo	u	1,00	160	160,00
			PARCIAL N	660,00

TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Cuenca		1	5,00	15	75,00
				PARCIAL O	75,00

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Técnico 1	1	2,81	16	44,96
Técnico 2	1	2,81	16	44,96
				0,00
			PARCIAL P	89,92

TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)				827,62
INDIRECTOS Y UTILIDAD			20,00%	165,52
COSTO TOTAL DEL RUBRO				
VALOR PROPUESTO				993,14

7. Resultados

7.1. Resultado del diseño y automatización del sistema de aplicadores de cabina de pintura

En la Figura 44, se puede ver el resultado del sistema de aplicadores de pintura diseñado en vista frontal, los aplicadores 1 y 2 funcionan realizando un movimiento angular de 45° a -45°

en forma de abanico, llegando a simular el movimiento natural de un operador al momento de pintar una superficie, cada soporte es articulado y se puede acomodar en cualquier posición de acuerdo con la necesidad del operador.

El aplicador 3 posee un movimiento vertical dado por el mecanismo piñón cremallera, como también un movimiento angular de 45° a 45° igual al de los aplicadores 1 y 2, gracias a estas mejoras podemos brindar un movimiento controlando para la cobertura total del cilindro de GLP. Mediante el sistema de control podemos encender y apagar cada aplicador de pintura, ajustar las variables de velocidad y acomodar las posiciones para optimizar los recursos y mejorar la eficiencia del proceso de pintura en el área de acabados de la empresa “Tecnero S.A”.

En la Figura 45, se obtiene un acercamiento del mecanismo en vista isométrica.

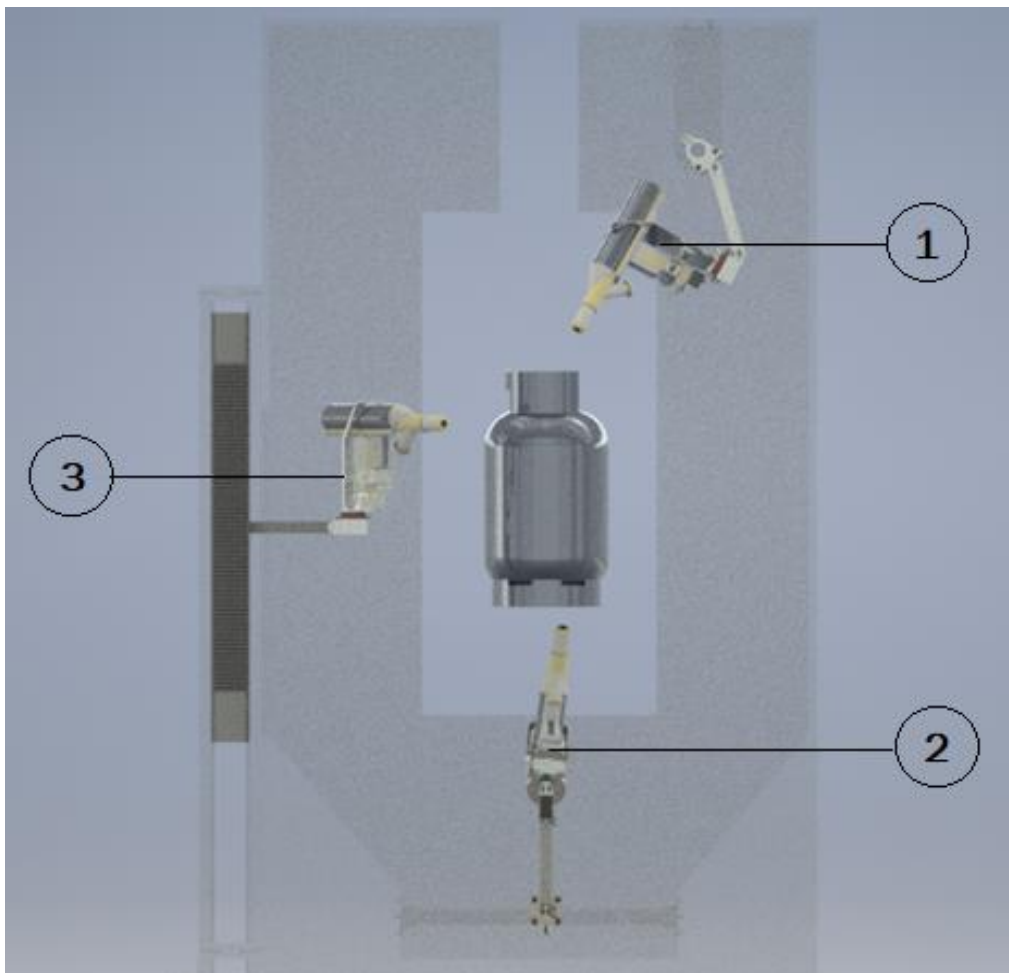


Figura 44. Ensamble total del sistema en vista frontal. [Autor]

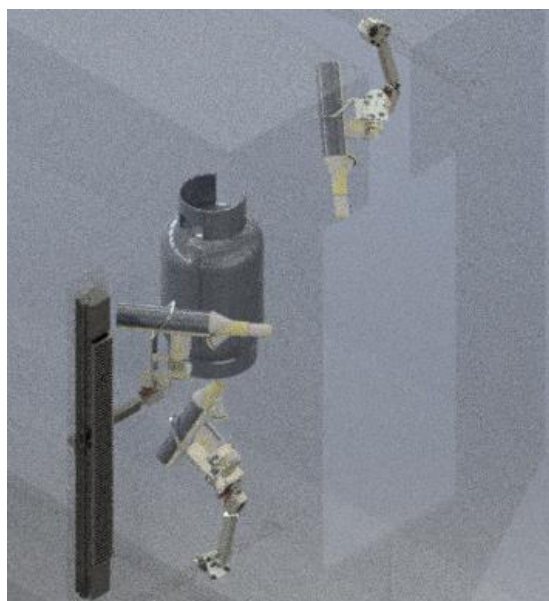


Figura 45. Ensamble total en vista isométrica. [Autor]

7.2. Resultado del análisis de precios unitarios

En la Tabla 11, se presenta el costo total del sistema diseñado, mismo que tiene un valor de \$4201,01; donde \$540,73 corresponde al valor total de sistemas electrónicos y de control, \$1005,63 corresponde al valor total de la construcción de los soportes para aplicadores, \$1661,51 corresponde a la construcción del mecanismo piñón cremallera y \$993,14 corresponde al valor de la instalación y puesta en marcha del sistema.

El correcto desarrollo del análisis de precios unitarios es muy importante ya que nos brinda la información real del costo en el desarrollo del proyecto de diseño y automatización del sistema de aplicadores de cabina de pintura con todas las mejoras realizadas.

Tabla 11. Análisis de costos totales. [Autor]

ANÁLISIS DE COSTOS TOTALES					
PROYECTO: DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE APLICADORES DE CABINA DE PINTURA EN LA EMPRESA TECNERO S.A.					
Fecha: 30/01/2023					
Nº	Descripción	Unid.	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	SISTEMAS ELECTRÓNICOS Y DE CONTROL	u	1	540,73	540,73
2	CONSTRUCCIÓN SOPORTE PARA APLICADOR	u	1	1005,63	1005,63
3	CONSTRUCCIÓN MECANISMO PIÑON CREMALLERA	u	1	1660,51	1661,51
4	INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA	u	1	993,14	993,14
				TOTAL	4201,01

8. Conclusiones

Después de analizar los problemas y necesidades existentes en el sistema actual de pintura de la empresa Tecnero S.A., mismos que se obtuvieron en base de varias visitas a la planta y reuniones desarrolladas con el personal de la empresa, se logró determinar la necesidad de contar con un sistema automatizado para el desplazamiento y movilidad de los aplicadores de pintura, que permita lograr en ellos un movimiento en forma de abanico que sumado al movimiento del cilindro de GLP se pueda obtener una mejor cobertura de pintura en toda la superficie, así como también en la parte interna de las bases y asas.

Para realizar el diseño del sistema requerido se consideraron 2 subsistemas, como son el sistema de control y el sistema mecánico. El sistema mecánico se divide en 2 parte, los soportes para aplicadores de pintura y el mecanismo piñón cremallera.

El subsistema de soportes para aplicadores de pintura contiene los elementos más críticos ya que están sometidos a una carga directa, por lo tanto, se diseñaron teniendo en cuenta factores de seguridad que aseguren la correcta selección de materiales y las condiciones de trabajo del entorno.

El sistema de control, permite encender y apagar, así como también controlar los valores de velocidad de los tres servomotores y motor de paso, cada uno de manera independiente, así se logra optimizar recursos y facilitar una mejor manipulación para el operario.

El costo total de implementación del sistema diseñado es de un valor de \$4201,01, se ha considerado que existe en un 95% de piezas que se debe construir en base de los diseños y el porcentaje restante se refieren a partes normalizadas, como servomotores, motor de pasos, tarjeta electrónica y otros elementos.

9. Recomendaciones

Verificar el código para la programación de servomotores y motor de paso en la tarjeta Arduino, en caso de modificar el movimiento angular (aumentar o disminuir) es necesario modificar la programación de los potenciómetros para asegurar una velocidad constante, ya que el mismo está determinado por distancias y pausas según el rango de movimiento establecido.

Respetar las tolerancias dimensiones en el proceso de fabricación de las piezas, verificar los dibujos de los conjuntos así se logra un respaldo al momento de ensamblar los sistemas.

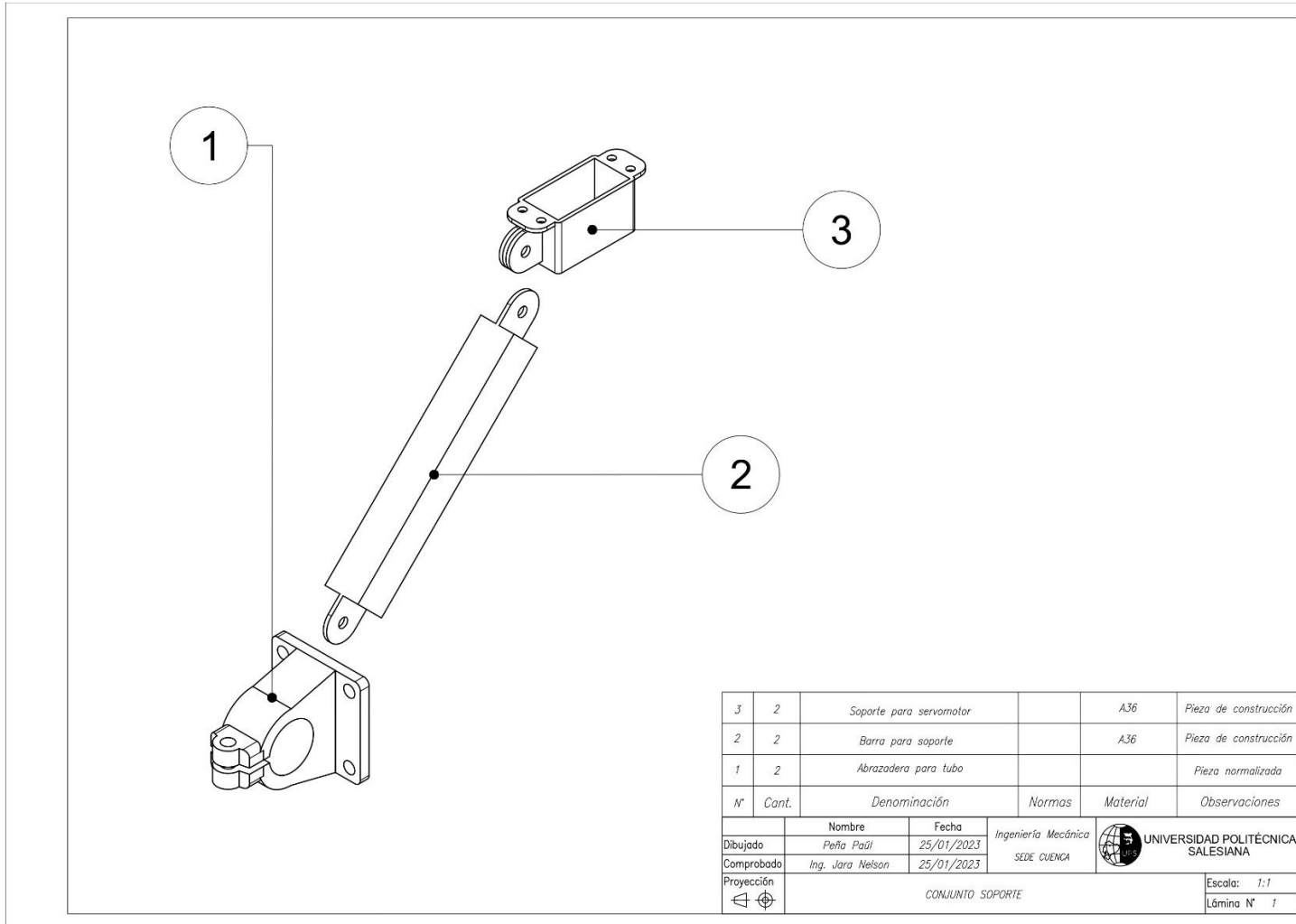
Para la construcción del mecanismo piñón cremallera es necesario seguir correctamente los parámetros y variables detalladas, ya que el movimiento vertical del aplicador dependerá del correcto funcionamiento del mismo.

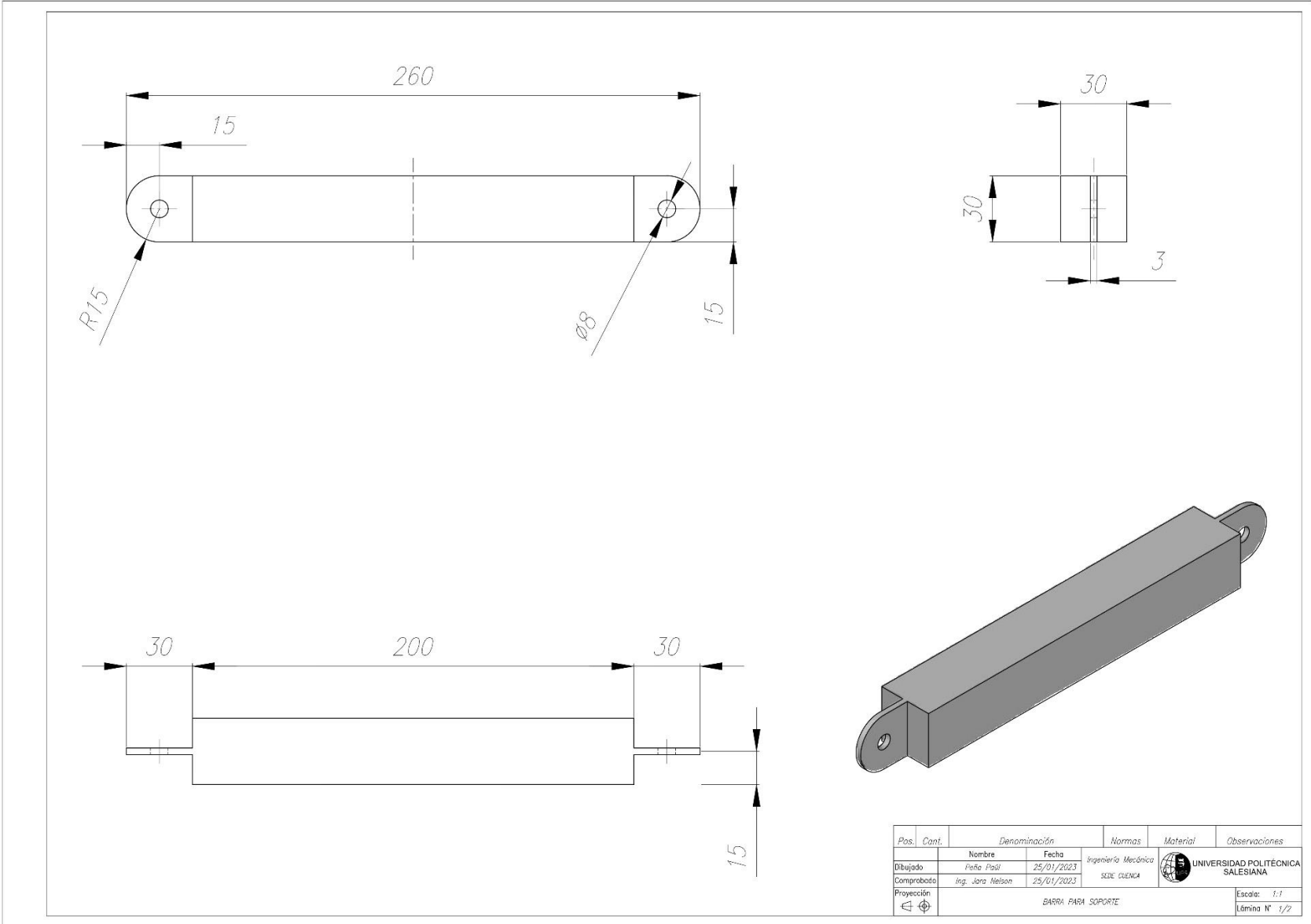
10. Bibliografía

- [1] R. A. González Dávila, «DISEÑO DE LA CABINA DE PINTURA DE UN TALLER AUTOMOTRIZ DE ENDEREZADO Y PINTURA», Universidad Rafael Landívar, Guatemala, 2004.
- [2] Codinter, «Atomización electroestática». 2020.
- [3] S. Giuseppe Abbate, «DESAROLLO DE FORMULACIONES CONDUCTORAS DE APLICACIÓN ELECTROESTÁTICA PARA USO INDUSTRIAL», Trabajo final, Universidad Nacional de la Plata, 1996.
- [4] J. Ceballos Canseco, S. A. Hidalgo Pérez, y J. A. Salazar Zúñiga, «AUTOMATIZACIÓN EN EL PROCESO DE PINTADO», Proyecto de titulación, INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL - ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA, México, 2014.
- [5] F. X. C. Simba y G. E. Villa Villareal, «ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ENSAYOS PARA PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS BAJO NORMAS INEN», Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2008.
- [6] R. C. Sierra Obregón, «Diseño y construcción de un sistema de control para un aparato rehabilitador físico», Tesis, Tecnológico de Matamoros, México, 2020.
- [7] P. Jiménez, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BRAZO ROBÓTICO A BASE DE UN PIC, PARA TRANSPORTAR OBJETOS ENTRE DOS PUNTOS FIJOS, E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HMI PARA SU MONITOREO», Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, 2009.
- [8] Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, 8.^a ed. Mc Graw Hill.
- [9] Robert L. Mott, P.E., *Diseño de elementos de máquinas*, 4.^a ed.
- [10] N. F. Garza-Montes-de-Oca, M. de-la-Garza, I. Alvarez-Elcoro, F. A. Pérez-González, y R. Colás, «Evidence of gas permeation in electrostatically painted steel cylinders», *Engineering Failure Analysis*, vol. 42, pp. 337-344, 2014.
- [11] Q. Ye, J. Domnick, A. Scheibe, y K. Pulli, «Numerical simulation of electrostatic spray-painting processes in the automotive industry», en *High Performance Computing in Science and Engineering '04*, Springer, 2005, pp. 261-275.
- [12] R. L. Hines, «Electrostatic atomization and spray painting», *Journal of Applied Physics*, vol. 37, n.º 7, pp. 2730-2736, 1966.
- [13] C. Wei y Z. Dean, «Tool trajectory optimization of robotic spray painting», en *2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 2009, vol. 3, pp. 419-422.
- [14] E. Cicvarić y Z. Kunica, «The automation of the painting process», en *Proceedings of the 4th International Conference and Workshop Mechatronics in Practice and Education—MECHEDU 2017*, 2017, pp. 85-88.
- [15] M. N. Rudzuan *et al.*, «Development of automated spray-painting system for anti-static coating process», en *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 557, n.º 1, p. 012001.

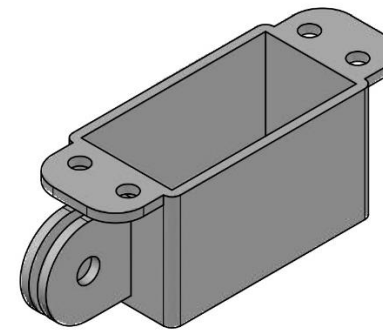
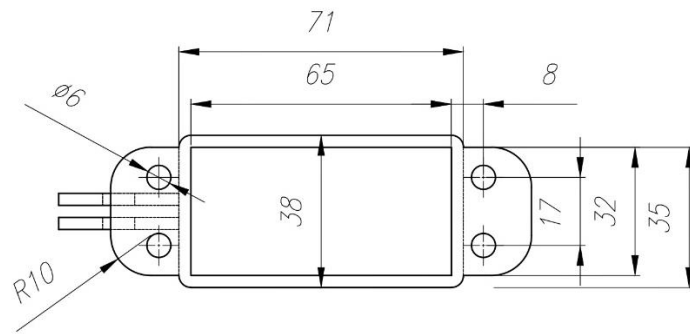
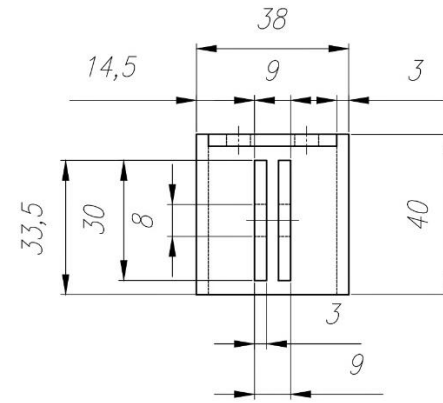
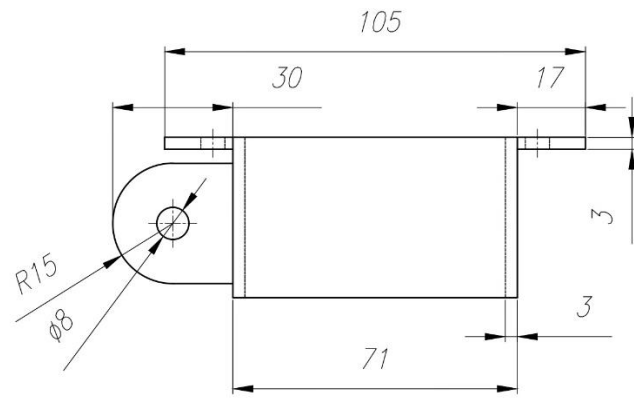
11. Anexos

11.1. Anexo 1 – Planos

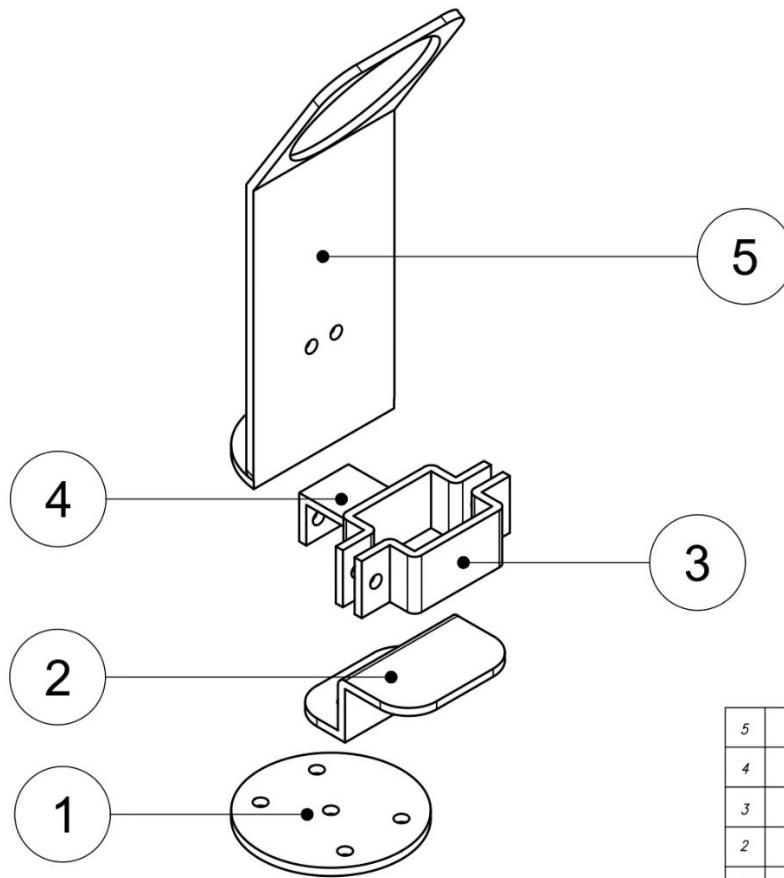




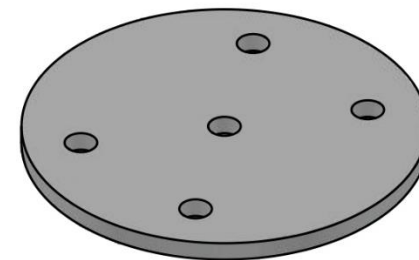
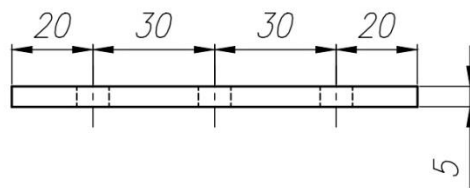
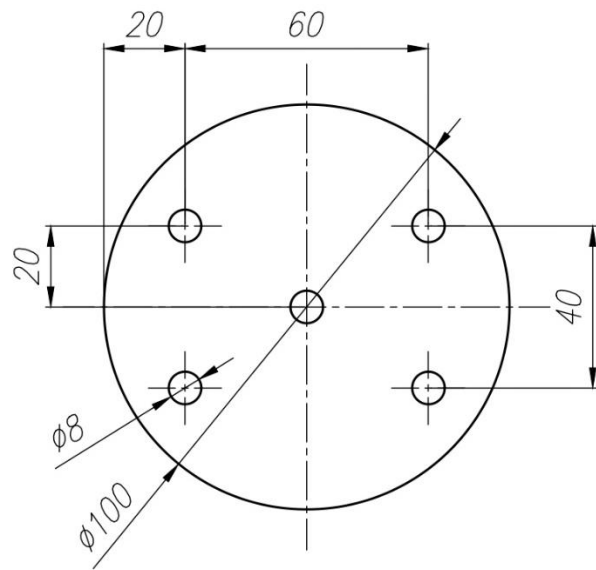
Pos.	Cont.	Denominación		Normas	Material	Observaciones
		Nombre	Fecha			
Dibujado		Paola Pineda	25/01/2023	Ingeniería Mecánica	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
Comprobada		Ing. Jara Nelson	25/01/2023	SEDE CUENCA		
Proyección		BARRA PARA SOPORTE				Escala: 1:1 Lámina N° 1/2





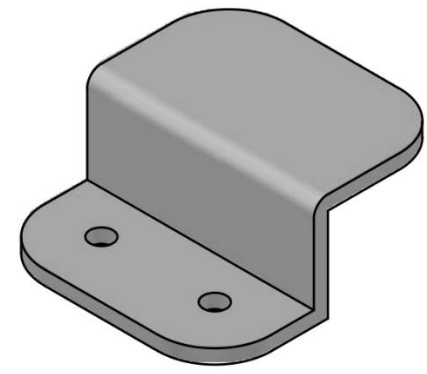
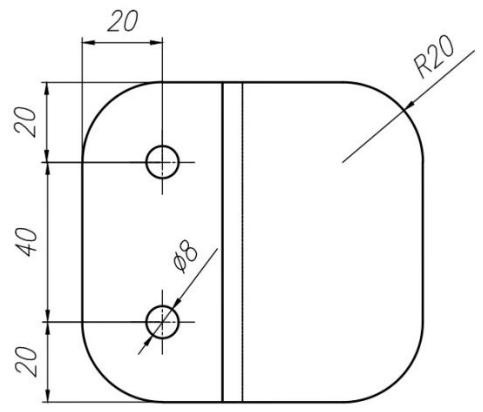
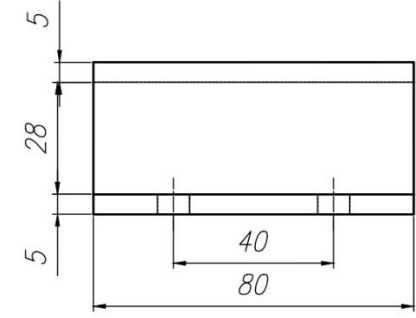
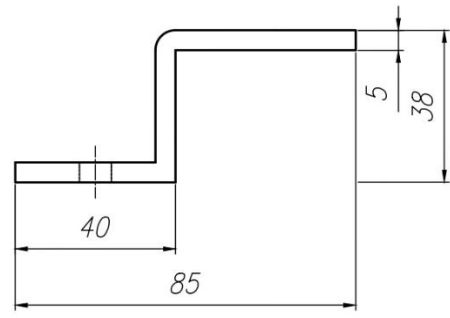
Pos.	Cant.	Denominación		Normas	Material	Observaciones
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecánica SEDE CUENCA	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
Dibujado		Peña Paúl	25/01/2023			
Comprobado		Ing. Jara Nelson	25/01/2023			
Proyección		 SOPORTE PARA SERVOMOTOR				Escala: 1:1 Lámina N° 2/2



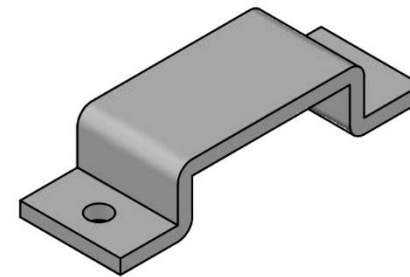
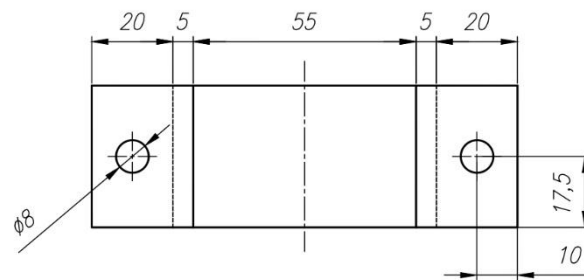
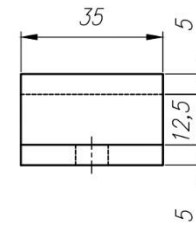
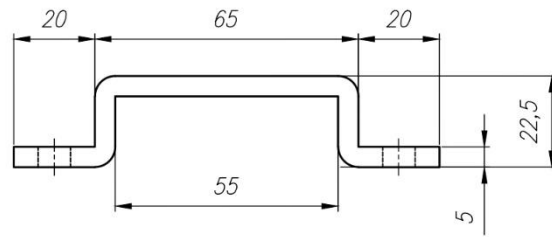
5	3	Apoyo pistola		A36	Pieza de construcción
4	3	Abrazadera pistola B		A36	Pieza de construcción
3	3	Abrazadera pistola A		A36	Pieza de construcción
2	3	Base para pistola		A36	Pieza de construcción
1	3	Conexión base a servomotor		A36	Pieza de construcción
N°	Cant.	Denominación	Normas	Material	Observaciones
		Nombre	Fecha	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
Dibujado		Peña Paúl	25/01/2023		
Comprobado		Ing. Jara Nelson	25/01/2023	Ingeniería Mecánica SEDE CUENCA	
Proyección					Escala: 1:1
					Lámina N° 1
CONJUNTO BASE PARA PISTOLA					




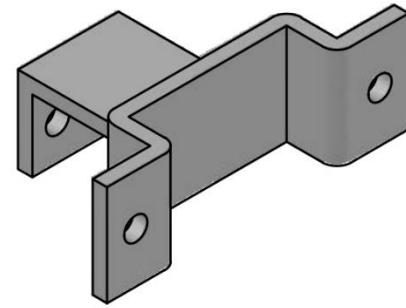
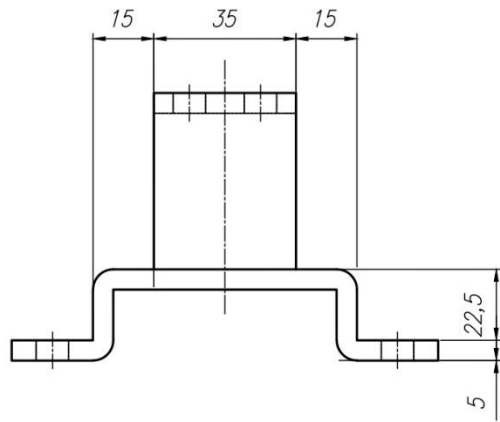
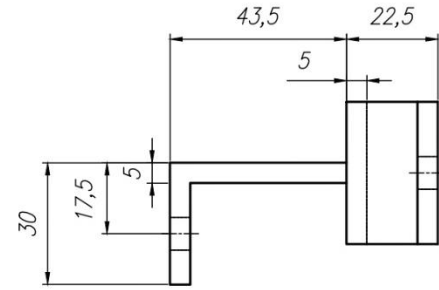
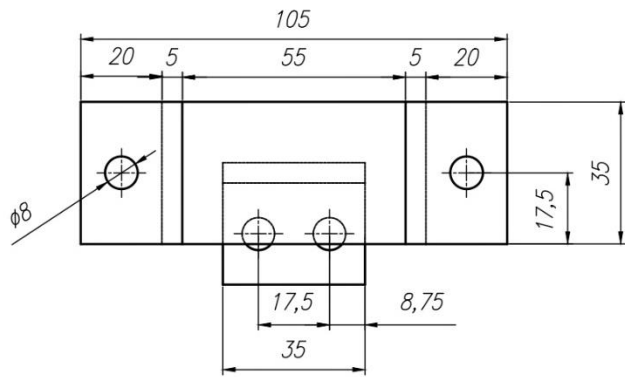
Pos.	Cant.	Denominación		Normas	Material	Observaciones
Dibujado		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecánica	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
Comprobado		Peña Paúl	25/01/2023	SEDE CUENCA		
Proyección		Ing. Jara Nelson	25/01/2023			Escala: 1:1
 CONEXIÓN BASE A SERVOMOTOR						Lámina N° 1/5



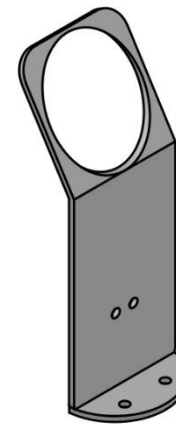
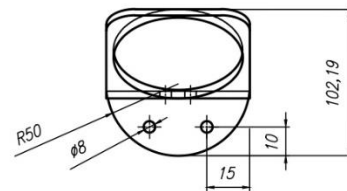
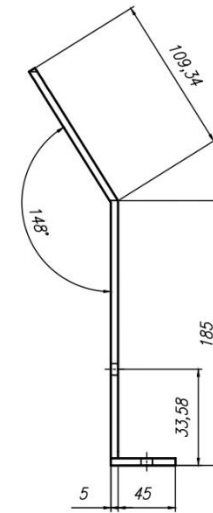
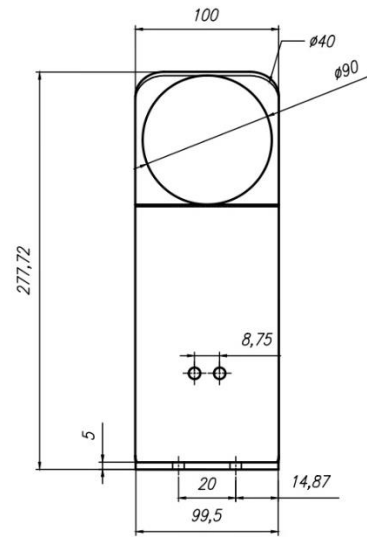
Pos.	Cant.	Denominación		Normas	Material	Observaciones
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecánica SEDE CUENCA	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
Dibujado		Peña Paúl	25/01/2023			
Comprobado		Ing. Jara Nelson	25/01/2023			
Proyección						Escala: 1:1
BASE PARA PISTOLA						Lámina N° 2/5



Pos.	Cant.	Denominación		Normas	Material	Observaciones
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecánica SEDE CUENCA	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
Dibujado		Peña Paúl	25/01/2023			
Comprobado		Ing. Jara Nelson	25/01/2023			
Proyección		ABRAZADERA PISTOLA A				Escala: 1:1
						Lámina N° 3/5



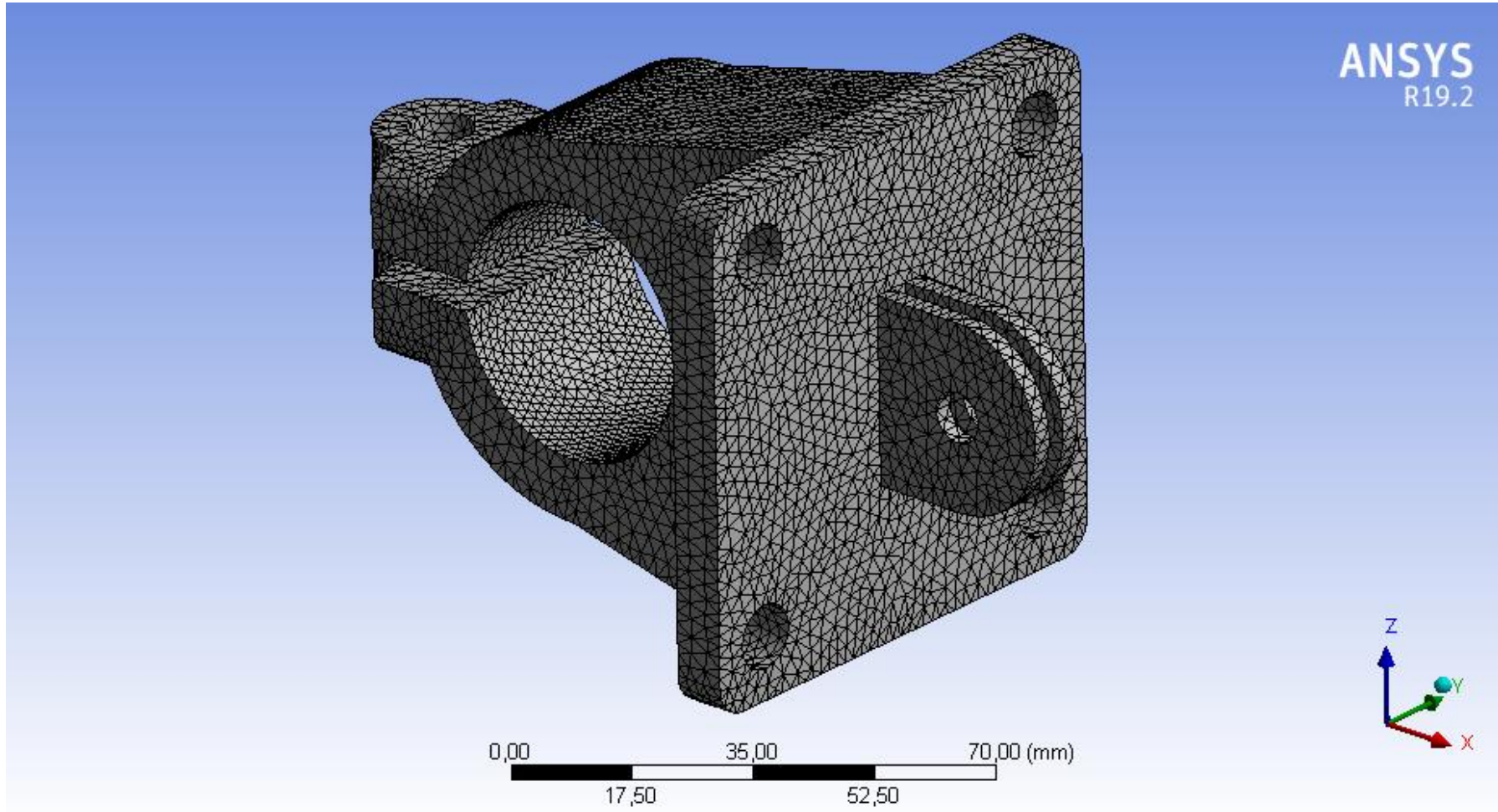
Pos.	Cant.	Denominación		Normas	Material	Observaciones
		Nombre	Fecha			
Dibujado		Peña Paúl	25/01/2023	Ingeniería Mecánica	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
Comprobado		Ing. Jara Nelson	25/01/2023	SEDE CUENCA		
Proyección		ABRAZADERA PISTOLA B				Escala: 1:1
						Lámina N° 4/5



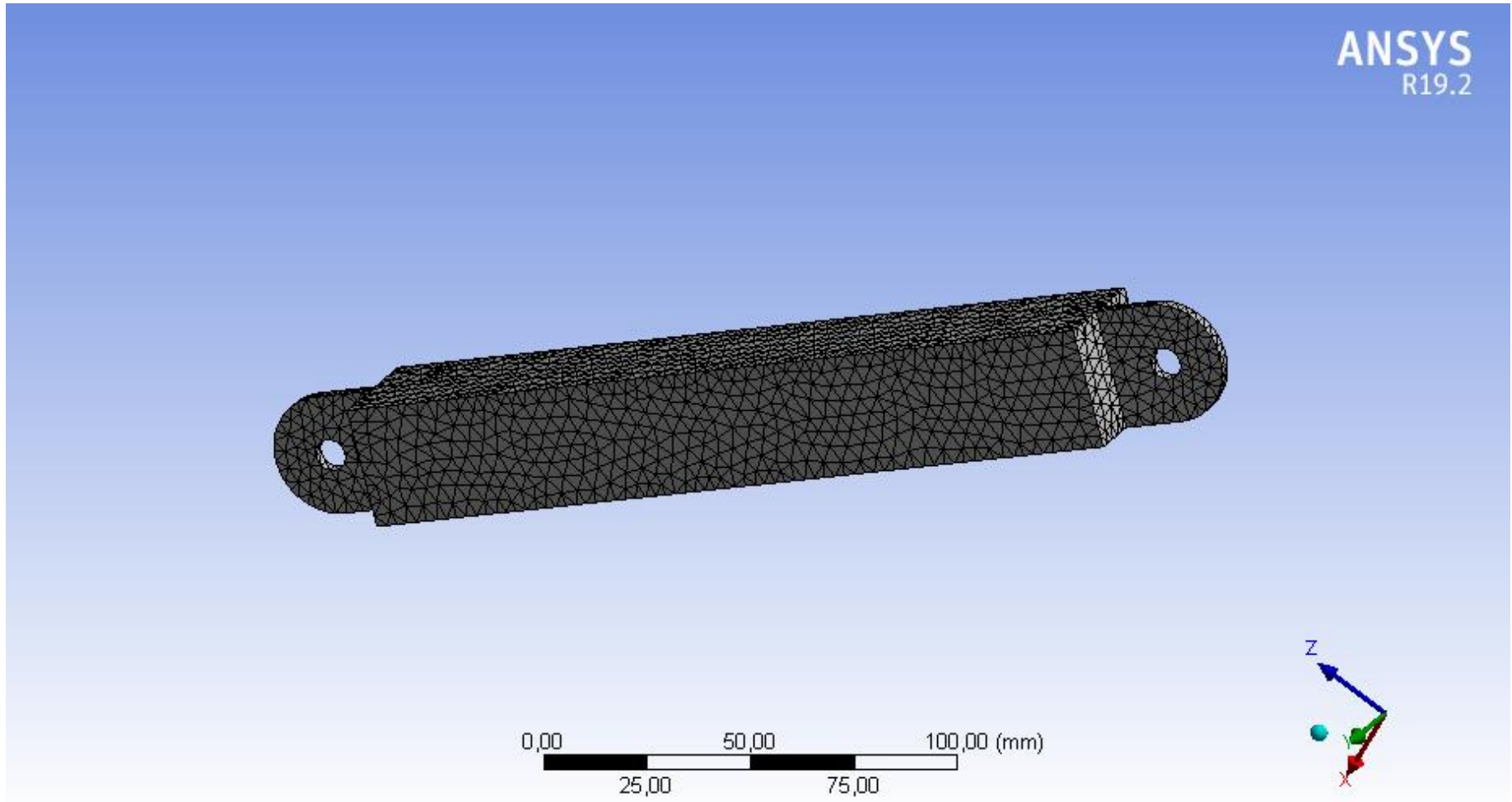
Pos.	Cant.	Denominación		Normas	Material	Observaciones
		Nombre	Fecha			
Dibujado		Peña Padí	25/01/2023	Ingeniería Mecánica	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
Comprobado		Ing. Jara Nelson	25/01/2023	SEDE CIENCIA		
Proyección		APOYO PISTOLA				Escala: 1:1
						Lámina N° 5/5

11.2. Anexo 2

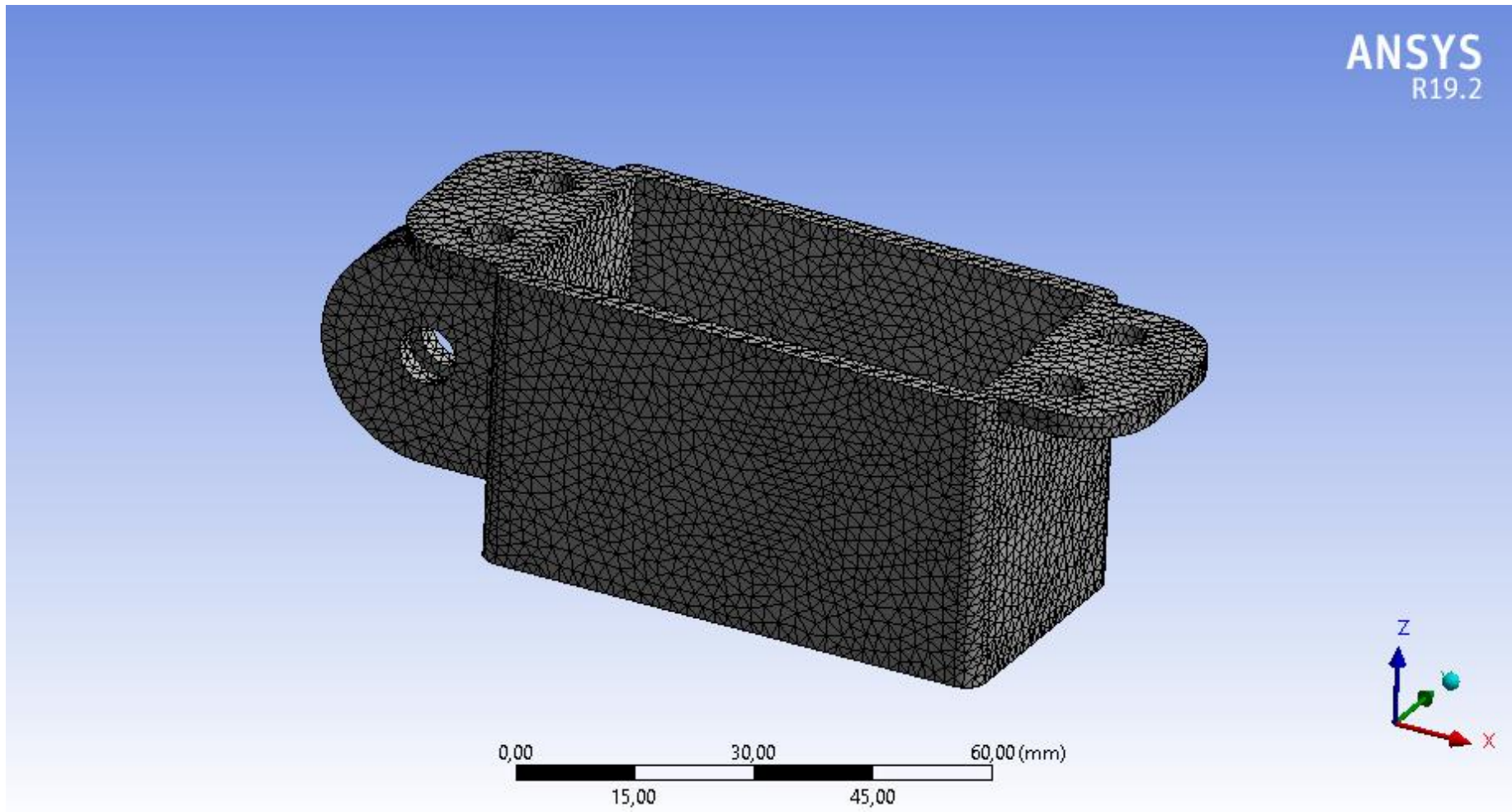
a). Abrazadera principal



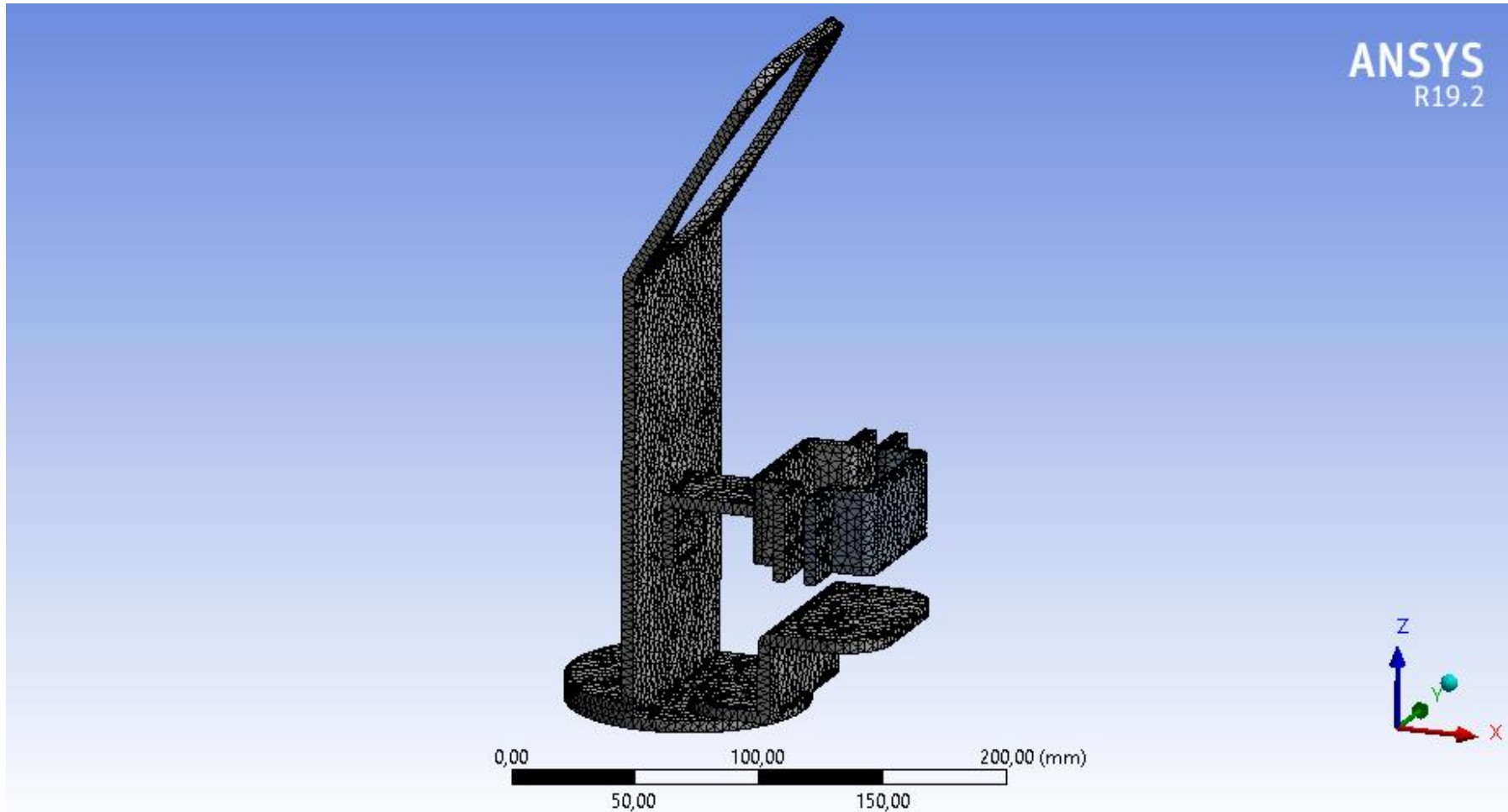
b). eje principal





c). Soporte de servomotor

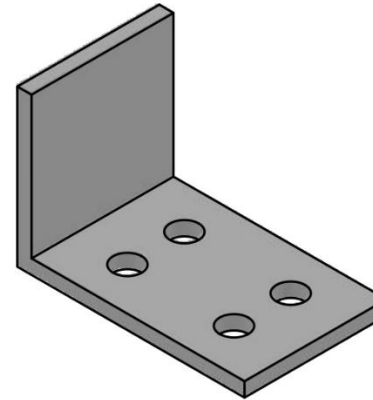
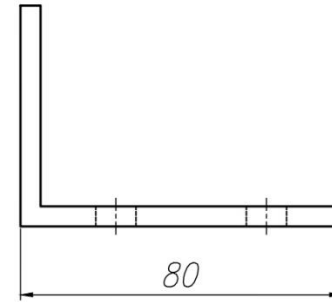
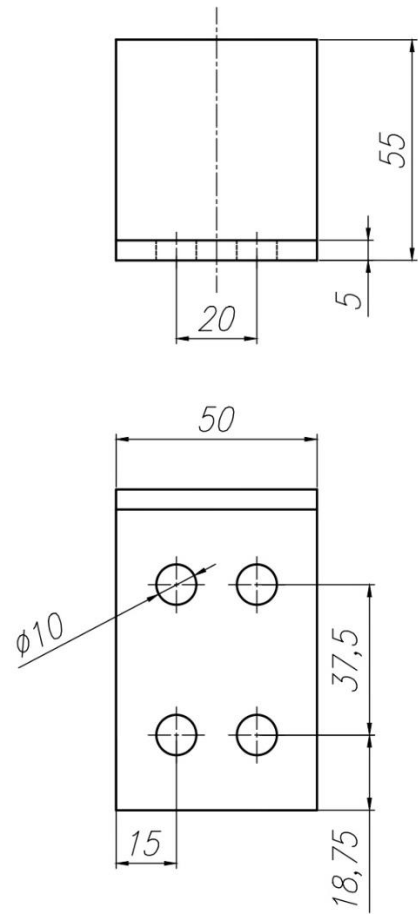


d). Soporte para pistola

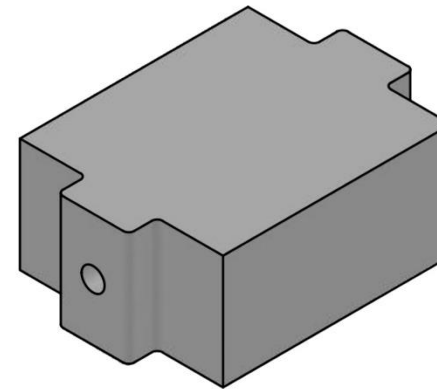
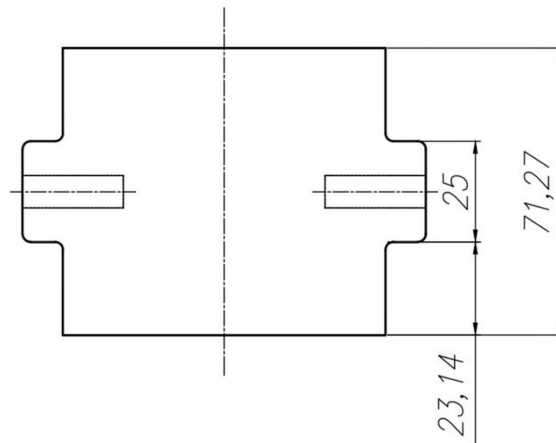
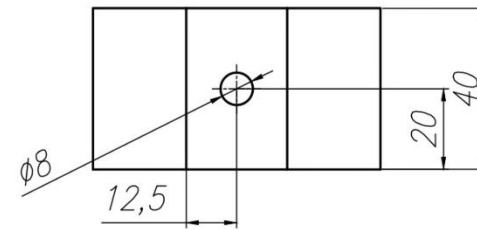
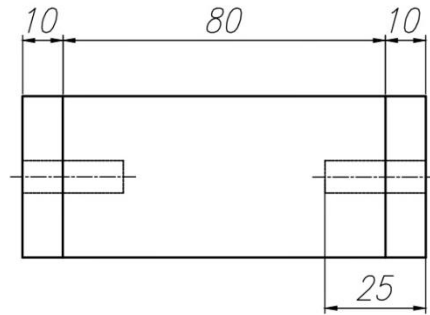


11.3. Anexo 3 – plano sistema deslizamiento

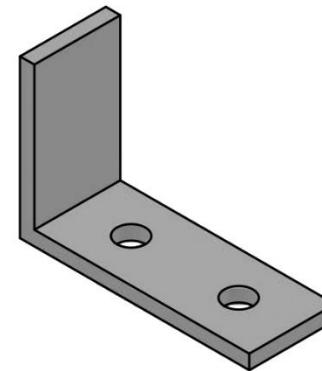
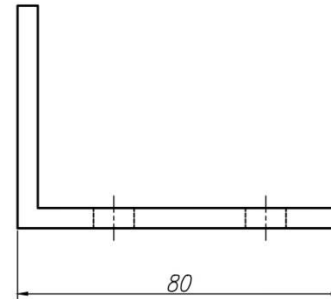
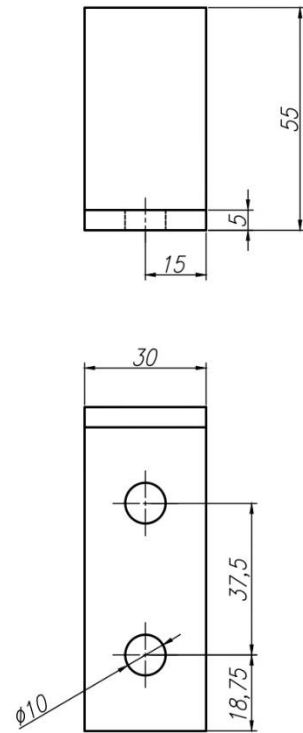
7	1	SopORTE pistola vertical		A36	Pieza de construcción
6	1	Piñón		Fundición	Pieza de construcción
5	1	Cremallera		Fundición	Pieza de construcción
4	2	Riel		Fundición	Pieza de construcción
3	2	Sujetador riel – piso B		A36	Pieza de construcción
2	2	Topes para rieles		Fundición	Pieza de construcción
1	1	Sujetador riel – piso A		A36	Pieza de construcción
N°	Cant.	Denominación	Normas	Material	Observaciones
		Nombre	Fecha		
Dibujado	Peña Paúl	25/01/2023	Ingeniería Mecánica	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
Comprobado	Ing. Jara Nelson	25/01/2023	SEDE CUENCA		
Proyección					Escala: 1:1 Lámina N° 1
CONJUNTO PIÑÓN CREMALLERA					





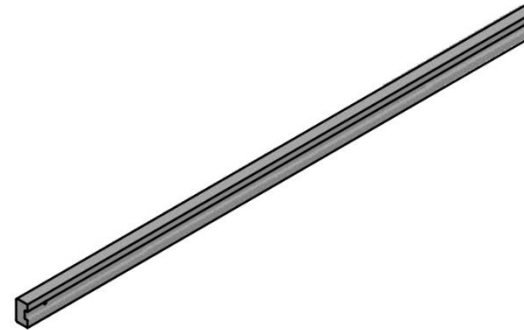
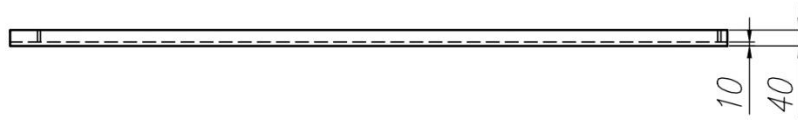
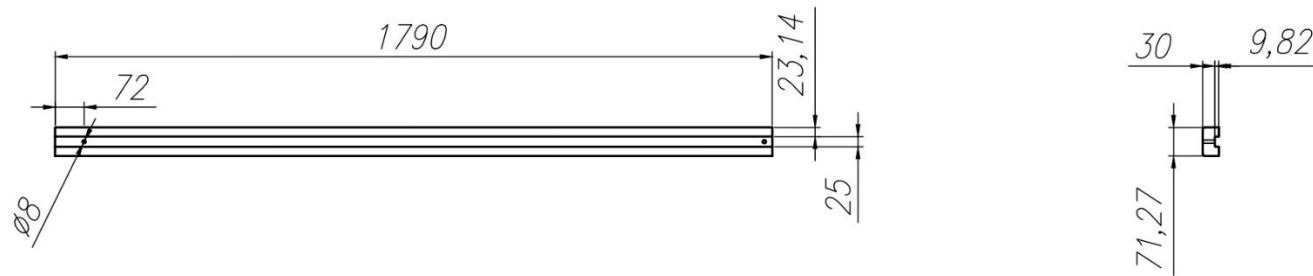
Pos.	Cant.	Denominación		Normas	Material	Observaciones
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecánica SEDE CUENCA	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
Dibujado		Peña Paúl	25/01/2023			
Comprobado		Ing. Jara Nelson	25/01/2023			
Proyección						Escala: 1:1 Lámina N° 1/7
SUJETADOR RIEL - PISO A						





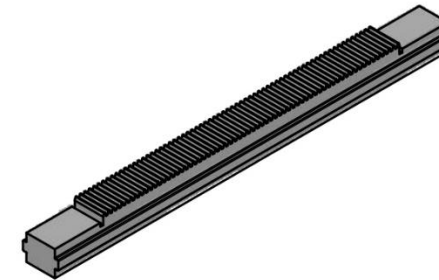
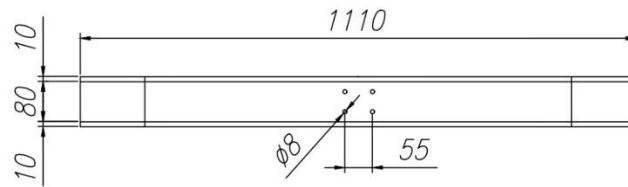
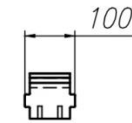
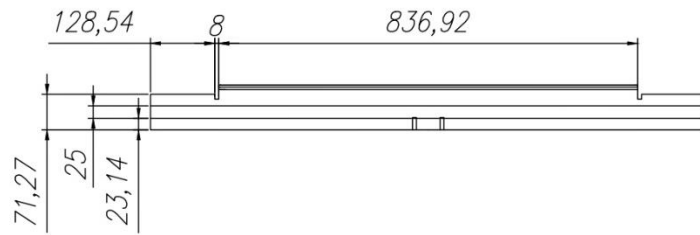
Pos.	Cant.	Denominación		Normas	Material	Observaciones
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecánica SEDE CUENCA	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
Dibujado		Peña Paúl	25/01/2023			
Comprobado		Ing. Jara Nelson	25/01/2023			
Proyección		TOPES PARA RIELES				Escala: 1:1
						Lámina N° 2/7



Pos.	Cant.	Denominación		Normas	Material	Observaciones
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecánica	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
Dibujado		Peña Paúl	25/01/2023	SEDE CUENCA		
Comprobado		Ing. Jara Nelson	25/01/2023			
Proyección		 SUJETADOR RIEL - PISO B				Escala: 1:1 Lámina N° 3/7



Pos.	Cant.	Denominación		Normas	Material	Observaciones
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecánica SEDE CUENCA	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
Dibujado		Peña Paúl	25/01/2023			
Comprobado		Ing. Jara Nelson	25/01/2023			
Proyección						Escala: 1:8
						Lámina N° 4/5



Detalles cremallera:

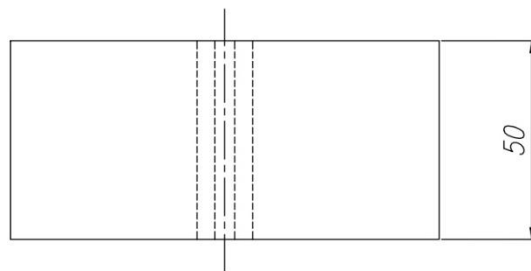
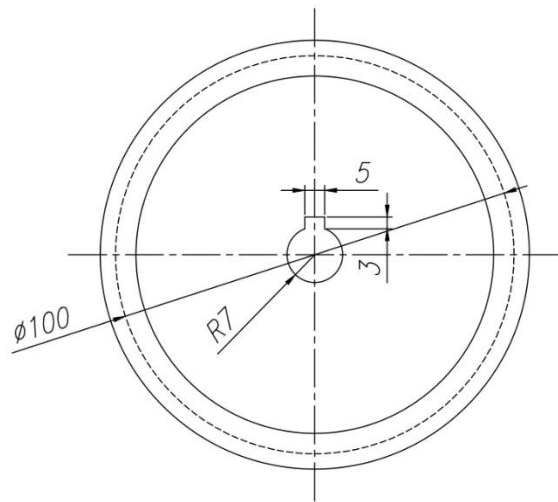
Cabeza del diente = 4mm

Espesor del diente = 5,97mm

Raíz del diente = 5mm

Paso en cada diente = 12,57mm

Pos.	Cant.	Denominación	Normas	Material	Observaciones
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecánica	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
Dibujado		Peña Paúl	25/01/2023	SEDE CUENCA	
Comprobado		Ing. Jara Nelson	25/01/2023		
Proyección		CREMALLERA			Escala: 1:8
					Lámina N° 5/7



DETALLES PIÑÓN:

$Z = 25$ dientes

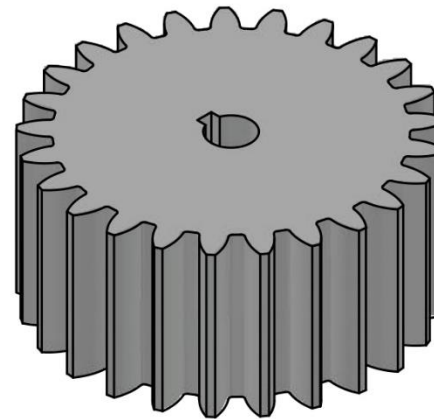
Paso circular = 12.57mm



Cabeza del diente = 4mm

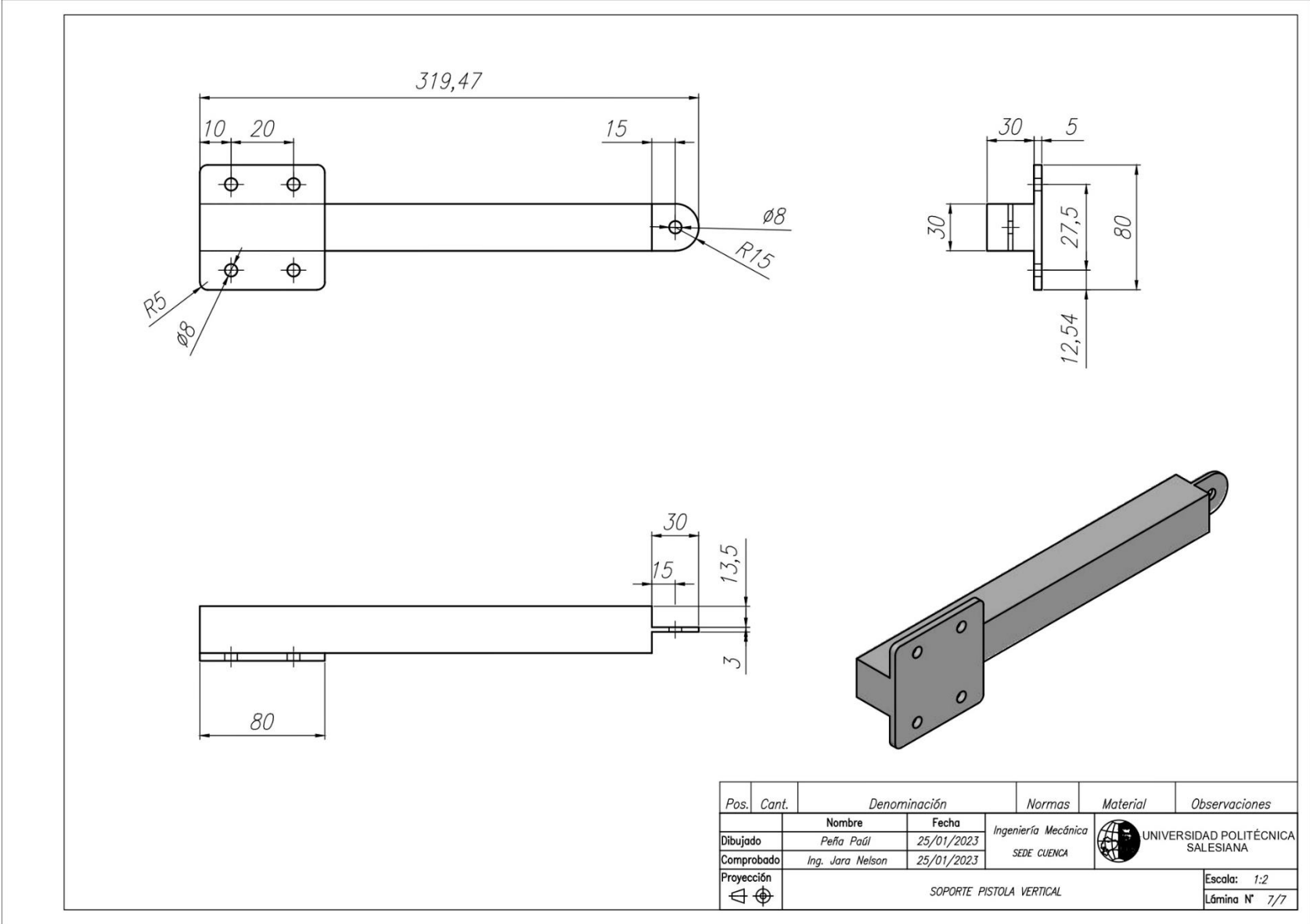
Espesor del diente = 5.97mm

Raíz del diente = 5mm

Radio de entalle = 1.05mm



Pos.	Cant.	Denominación		Normas	Material	Observaciones
		Nombre	Fecha	Ingeniería Mecánica SEDE CUENCA		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
Dibujado		Peña Paúl	25/01/2023			
Comprobado		Ing. Jara Nelson	25/01/2023			
Proyección		PIÑÓN				Escala: 1:1
						Lámina N° 6/7



Pos.	Cant.	Denominación		Normas	Material	Observaciones
		Nombre	Fecha			
Dibujado		Peña Paúl	25/01/2023	Ingeniería Mecánica	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
Comprobado		Ing. Jara Nelson	25/01/2023	SEDE CUENCA		
Proyección		SOPORTE PISTOLA VERTICAL				Escala: 1:2
						Lámina N° 7/7

11.4. Anexo 4 – Sistema de control

