



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO FASE I

DISEÑO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA SIEMBRA DE CHAPOLA DE CAFÉ

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

11541035 EDUARDO BENJAMÍN CASCO VALLE

11541280 OSMAN JEANCARLO ROMERO HERNÁNDEZ

11551020 WALTER JOSÉ CANTARERO VÁZQUEZ

ASESOR METODOLÓGICO: ING. RIGOBERTO CASTRO CASTRO

ASESOR TEMÁTICO: ING. RENE LEON QUANT

CAMPUS TEGUCIGALPA, ENERO, 2020

DEDICATORIA

El siguiente trabajo está dedicado a mis padres, a mis hermanos y a mis abuelos por siempre haberme brindado apoyo a lo largo de mis estudios, especialmente a mi abuelo Guillermo Casco por darme apoyo en mi formación desde muy temprana edad y haber sido una inspiración a lo largo de este trayecto.

Eduardo Casco

El presente trabajo se lo quiero dedicar a mis padres, que se han sacrificado mucho y lo han dado todo para que pueda seguir adelante, para alcanzar mis sueños y metas. De igual manera quiero dedicárselo a mi tía Claudia Maradiaga que es como mi segunda madre y siempre confió en mí, estaré eternamente agradecido.

Osman Romero

El presente trabajo está dedicado a mi padre, mi madre, mi hermano y mis dos hermanas que sin lugar a duda me han ayudado a ser mejor persona, especialmente a mi madre Gloria Vásquez Díaz quien desde que tengo memoria me ha apoyado a cumplir todas mis metas e ideales. De igual manera a Antonia López Reyes quien siempre ha brindado su ayuda a mi familia.

Walter Cantarero

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos los docentes de la universidad que nos apoyaron a lo largo de la carrera y nos brindaron los conocimientos necesarios para realizar el presente proyecto. De igual manera a los dueños de Finca las tres Glorias en el pueblo de San Bartolo quienes nos dieron acceso a sus germinadores lo cual nos ayudó a comprender mejor el proceso de sembrado y cosecha de café.

RESUMEN EJECUTIVO

La agronomía es una de las primordiales actividades económicas realizadas en Honduras, siendo el café el principal producto hondureño de exportación agrícola. Sin embargo, actividades como la siembra de chapolas y llenados de bolsa se siguen realizando de una manera convencional, lo cual lleva a un proceso lento y poco eficiente. Para lograr mejores índices de producción y calidad es necesario un sistema automatizado para optimizar el proceso de siembra.

El proyecto se enfoca en el diseño de un gripper (pinzas) el cual por medio de un robot delta traslada las chapolas de sus cell trays a bolsas con material para el desarrollo total de la planta, este proyecto también comprende el diseño de un silo, con el cual se logrará almacenar el material y realizar un llenado de bolsas de forma más eficiente. Para lograr un proceso sin pausas, se diseñó el sistema de traslado de las cell trays y bolsas en recipientes por medio de un set de bandas transportadoras, con ello, realizando la resiembra de manera eficiente.

Para el gripper se optó por un diseño en forma de V para lograr un mejor acople a los recipientes de los cell trays, para el silo se implementó una válvula guillotina la cual da la libertad de un flujo más fácil de la tierra, dando un llenado rápido y sencillo de bolsas.

Mediante el uso de softwares como SolidWorks se realizó el diseño de los componentes a utilizar, así como su análisis simulado para comprobar su correcto funcionamiento a distintas fuerzas aplicadas por los impulsores mecánicos. Se hizo el uso de Fluidsim para diseñar el sistema de control implementando actuadores como pistones neumáticos y motores eléctricos, realizando la programación del proceso de control por medio de Concept.

La capacidad de siembra es de 50 cell trays donde el gripper soporta una fuerza máxima de 1030 N. En cuanto al silo, la capacidad es de 47.7 toneladas y soporta una carga máxima de 23,270 N. De esta manera logro realizar un sistema automatizado para el proceso de siembra de chapolas de café, brindando una propuesta innovadora para los agricultores en el país, detallando los componentes y presupuesto para realizar el diseño del prototipo final.

ABSTRACT

Agronomy is one of the main economic activities carried out in the country, with coffee being the main Honduran agricultural export product. However, activities such as sowing of poplars and stockpiles of bags are still carried out in a conventional manner, which leads to a slow and inefficient process. To achieve better production and quality, an automated system is needed to optimize the planting process.

The project focuses on the design of a gripper which, by means of a delta robot, transfers the traps of its cell trays to bags with material for the total development of the plant, and the design of a silo, with which it will be possible to store the material and perform faster and easier filling of the bags. In the same way, the system of transfer of cell trays and bags in containers was designed by means of a set of conveyor belts, where thanks to the speed of the delta robot, it will perform the re-seeding efficiently.

For the gripper, a V-shaped design was chosen to achieve a better coupling to the cell trays containers and for the silo the implement of a guillotine valve which gives the freedom of an easier flow of the material giving a faster and simpler filling of bags.

Through the use of softwares such as SolidWorks, the design of the components to be used was achieved, as well as its static study to verify its correct operation at different applied forces. The use of Fluidsim was made to design the control system by implementing actuators such as pneumatic pistons and electric motors, programming the control process through Concept.

The planting capacity is 50 poplars per cell tray, the clamp supports a maximum force of 1030 N, and the capacity of the silo is 47.7 tons and supports a maximum load of 23,270 N. In this way, an automated system for the planting process of coffee poplars has been achieved, providing an innovative proposal for farmers in the country, components and budget to make the design of the final prototype.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	4
II.	Planteamiento del Problema	6
2.1	Antecedentes.....	6
2.1.1	Origen del problema	6
2.1.2	Investigaciones Previas.....	6
2.2	Definición del Problema.....	6
2.3	Justificación.....	7
2.4	Preguntas de Investigación.....	7
2.5	Objetivos.....	8
2.5.1	Objetivo General.....	8
2.5.2	Objetivos Específicos.....	8
III.	Marco Teórico.....	9
3.1	Cultivo de Café.....	9
3.1.1	Obtención de la Semilla	10
3.1.2	Proceso de Sembrado Germinador	10
3.1.3	Proceso de siembra en bolsa	12
3.2	Sistema de Control.....	13
3.2.1	Unidad de control.....	14
3.2.2	Entradas.....	16
3.2.3	Sensores	16
3.2.4	Salidas	17
3.2.5	Actuadores	17

3.3	Visión Computacional.....	17
3.3.1	Análisis de Imagen.....	17
3.3.2	Análisis de Espacio.....	18
3.3.3	Análisis de Formas.....	18
3.4	Robot.....	19
3.4.1	Robot Paralelo.....	19
3.5	Movilidad de Mecanismo.....	21
3.6	Robot Delta.....	22
3.6.1	Motores de Robot Delta.....	23
3.6.2	Servo Motores.....	23
3.6.3	Cinemática de robot delta.....	23
3.6.4	Pinzas o Gripper de robot delta.....	26
3.7	Software CAD.....	29
3.8	Silo.....	29
3.9	Trabajos Previos.....	30
3.9.1	Desarrollo de un robot delta tipo Keops con estructura modificable.....	30
3.9.2	Construcción de un prototipo de robot sembrador de maíz.....	31
3.9.3	Robotización del proceso de injerto de plántulas hortícolas.....	32
3.9.4	Prototipo de Robot en la producción de rollos de papel.....	33
IV.	Metodología.....	35
4.1	Enfoque.....	35
4.2	Variables de Investigación.....	35
4.2.1	Diseño y análisis de prototipo.....	35

4.2.2	Selección de Robot Delta	35
4.2.3	Sistema de Control	35
4.2.4	Análisis computacional	36
4.2.5	Costo de desarrollo de proyecto	36
4.3	Técnicas e instrumentos aplicados	36
4.3.1	Diseño CAD	36
4.3.2	Circuitos eléctricos	36
4.3.3	Actuadores neumáticos y eléctricos	37
4.3.4	Sistema de control	37
4.4	Materiales	37
4.5	Metodología de Estudio	39
4.5.1	Análisis de prototipos previos	39
4.5.2	Diseño de Sistema de Control	39
4.5.2.1	Etapa de llenado de bolsas	39
4.5.2.2	Etapa de transporte	40
4.5.2.3	Programación PLC	43
4.5.3	Diseño y análisis de gripper y silo	43
4.5.3.1	<i>Diseño de gripper</i>	43
4.5.3.2	Diseño de Silo	50
4.5.4	Simulaciones Propuestas	55
4.5.5	Determinación del Presupuesto para el diseño del sistema Automatizado de siembra	56
4.6	Metodología de Validación	56

4.6.1	Simulaciones Mecánicas	56
4.6.2	Simulaciones de funcionamiento de actuadores	57
4.6.3	Simulaciones de Control.....	57
4.7	Cronograma de actividades.....	59
V.	Resultados y análisis	61
5.1	Análisis de prototipos	61
5.2	Sistema de control.....	61
5.2.1	Sistema de control neumático.....	62
5.2.2	Sistema de control eléctrico	65
5.3	Diseño de gripper y silo	67
5.4	Análisis estático	68
5.4.1	Análisis estático gripper.....	68
5.4.2	Análisis estático Silo	71
5.1	Presupuesto de diseño	74
VI.	Conclusiones	75
VII.	Recomendaciones	76
VIII.	Implementación.....	77
IX.	Trabajo Futuro	78
	Bibliografía.....	79
	Anexos.....	84

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Resumen de las principales Variables Climáticas	9
Ilustración 2. Grano de café con enfermedad de la roya	10
Ilustración 3. Porcentaje de germinación de acuerdo a temperatura ambiente	11
Ilustración 4. Desarrollo de una chapola.....	12
Ilustración 5. Muestra de raíz bifurcada	13
Ilustración 6. Sistemas de Lazo Cerrado (arriba) y Sistema de Lazo Abierto (abajo)	14
Ilustración 7. Representación de un PLC en Sistema de Control	15
Ilustración 8. Diagrama Escalera (Ladder).....	16
Ilustración 9. Representaciones de un Pixel.....	18
Ilustración 10. Análisis de Forma Basado en Pixeles.....	19
Ilustración 11. Robot paralelo Stewart-Gough	20
Ilustración 12. Tres parámetros de cuerpo rígido en un plano	21
Ilustración 13. Modelo de robot delta	22
Ilustración 14. Modelo de Servomotor	23
Ilustración 15. Sistema de coordenadas del robot delta.....	24
Ilustración 16. Parámetros geométricos del robot delta.....	26
Ilustración 17. Pinza pivotante	27
Ilustración 18. Cargas puntuales debido a sujeción	27
Ilustración 19. Clasificación de Gripper según agarre.....	28
Ilustración 20. Mecanizado en software SolidWorks.....	29
Ilustración 21. Muestra de silos	30
Ilustración 22. Prototipo robot delta	31

Ilustración 23. Prototipo robot plantador de maíz	32
Ilustración 24. Gripper de agarre de plántula para injertos.....	33
Ilustración 25. Línea de producción de rollos de papel	34
Ilustración 26. Tabla de especificaciones SIAX D3 700	41
Ilustración 27. Radio trabajo robot delta en bandas transportadoras.....	42
Ilustración 28. Programación de Sistema de control en Concept	43
Ilustración 29. Vista general de Gripper de tres garras	44
Ilustración 30. Dimensiones de la celda mm.....	44
Ilustración 31. Gripper ingresando a la celda.....	45
Ilustración 32. Láminas de acero inoxidable austenítico.....	46
Ilustración 33. Parte superior de la garra mm.....	47
Ilustración 34. Parte inferior garra	48
Ilustración 35. Base móvil robot delta.....	48
Ilustración 36. Vista general gripper 4 garras.....	49
Ilustración 37. Muestra de silo	51
Ilustración 38. Base de acero estructural.....	53
Ilustración 39. Base estructural con refuerzos diagonales.....	53
Ilustración 40. Base estructural sin refuerzos diagonales	54
Ilustración 41. Especificaciones de válvula guillotina Clarkson.....	55
Ilustración 42. Análisis estático de la base estructural	56
Ilustración 43. Análisis estático gripper	57
Ilustración 44. Simulación en Concept del sistema control	58
Ilustración 45. Diagrama de actividades.....	60

Ilustración 46. Componentes Neumático	62
Ilustración 47. Ladder control neumático	63
Ilustración 48. Estado gripper abierto y cerrado	63
Ilustración 49. Diagrama de desplazamiento	64
Ilustración 50. Diagrama de velocidad.....	64
Ilustración 51. Prueba eléctrica de los motores de la banda transportadora.	65
Ilustración 52. Diagrama eléctrico de motores de banda transportadora.	66
Ilustración 53. Análisis de desplazamiento gripper.....	68
Ilustración 54. Análisis de tensiones gripper	69
Ilustración 55. Factor de seguridad gripper	70
Ilustración 56. Factor de seguridad	71
Ilustración 57. Factor de seguridad prototipo final.....	72
Ilustración 58. Tensiones máximas y mínimas del silo	72
Ilustración 59. Análisis de deformación silo	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas robot paralelo	20
Tabla 2. Tipos de gripper por método de agarre.	28
Tabla 3. Presupuesto.....	38
Tabla 4. Cronograma de actividades	59

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuaciones de restricción aplicada para las ecuaciones de cierre vectorial	24
Ecuación 2. Sistema de ecuaciones del cierre vectorial	25
Ecuación 3. Tangente del ángulo medio	25
Ecuación 4. Velocidad Rectilínea	41
Ecuación 6. Volumen de un cilindro	50
Ecuación 7. Volumen de un cono truncado	50
Ecuación 8. Ecuación de densidad	52

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.Tabla de especificaciones de rodillo	84
Anexo 2. Llenador automatizado de macetas.....	85
Anexo 3. Cesta para Chapolas.....	86
Anexo 4. Dimensiones Generales Cesta para Chapolas	87
Anexo 5. Cell Trays.....	88
Anexo 6. Dimensiones generales Cell Tray.....	89
Anexo 7. Vista dimetrica gripper	90
Anexo 8. Componentes gripper	91
Anexo 9. Base móvil delta.....	92
Anexo 10. Base móvil.....	93
Anexo 11. Base delta piston.....	94
Anexo 12. Garra gripper	95
Anexo 13. Pines de Presión	96
Anexo 14. Dimensiones generales de Silo.....	96
Anexo 15. Angulo de Silo.....	98
Anexo 16.Materiales base estructural	99
Anexo 17.Base estructural.....	100

LISTA DE SIGLAS

HMI	Human Machine Interface.
IA	Inteligencia Artificial.
IHCAFE	Instituto Hondureño de Café.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
PLC	Control Lógico Programable.
PVC	Policloruro de Vinilo.

GLOSARIO

Abiótico: que no permite que haya vida (SÁNCHEZ, ECOLOGÍA VERDE, 2018).

Bifurcación: dividirse en dos ramales, brazos o puntas (RAE, 2019).

Broca: plaga que pica el grano de café, producida por el coleóptero (RAE, 2019).

Chapola: plántula de café cuando ha emitido su primer par de hojas (SERNA & RIVILLAS, 2011).

Cotiledón: hoja primera que, sola o junto a otra u otras, se forma en el embrión de una planta fanerógama, modificada especialmente y que en algunos casos acumula sustancias de reserva (SÁNCHEZ, ECOLOGIA VERDE, 2019).

Germinador: cámara acondicionada para la germinación de las semillas (RAE, 2019).

Robot: máquina o ingenio electrónico programable que es capaz de manipular objetos y realizar diversas operaciones (RAE, 2019).

Cell trays: recipiente utilizado en la agricultura para el desarrollo de semillas desde la germinación hasta el punto de trasplante (VICTORIA, 2018).

Programación ladder: los diagramas de escalera son esquemas de uso común para representar la lógica de control de sistemas industriales. Se le llama diagrama "escalera" porque se asemejan a una escalera, con dos rieles verticales (de alimentación) y "escalones" (líneas horizontales), en las que hay circuitos de control que definen la lógica a través de funciones (SCHNEIDER, 2018).

I. INTRODUCCIÓN

El café es uno de los principales rubros económicos del país, según IHCAFE, 415 mil manzanas del terreno nacional son ocupados por plantaciones de las cuales cada manzana tiene un promedio de 3,500 plantas sembradas (IHCAFE, 2018). Sin embargo, la mayor parte del proceso de siembra del café se sigue realizando por medio de métodos tradicionales, los cuales afectan el crecimiento de la planta y la calidad de la cosecha. De igual manera, debido a la gran cantidad de plantas que se siembran al año, todo el proceso puede llegar a tardar meses en culminarse, lo cual llega a afectar a la cosecha final debido a que las plantas de café solo se pueden sembrar en cierta temporada del año.

En el trasplante de la chapola desde el germinador hasta cada bolsa de tierra en la que se termina de desarrollar la planta, los obreros suelen hacer los agujeros en donde se va a sembrada la planta con una espiga de madera, sin percatarse de la profundidad adecuada o del estado de la chapola al introducirse a la bolsa de café. En el mercado hondureño no existe una máquina que realice el proceso de siembra, por lo tanto, los productores de café han tenido que apegarse a las técnicas convencionales de siembra desde hace muchos años.

A lo largo de los años se ha presentado un crecimiento notable en el porcentaje de pequeños y medianos productores en el país, donde el 82% de la producción total es generada por dueños de fincas de 1-5 manzanas) (INE, 2018). El proyecto se enfoca al futuro uso por medianos y pequeños productores del prototipo ya que la mayor parte de producción del país es generada por ellos. El estudio se realizó con granos de las fincas de la región de Cortés, donde cabe recalcar que el proceso de siembra realizado por el prototipo se podrá efectuar con cosechas de fincas de cualquier zona del país.

El presente trabajo tiene como principal objetivo realizar el diseño de un sistema automatizado para siembra de semillas y chapolas de café con el uso de herramientas de ingeniería de control y procesos de automatización, logrando así, optimizar el proceso de la siembra del café el cual se ha hecho de una manera tradicional a lo largo de los años en Honduras.

Las secciones que conforman el presente informe, se detallan a continuación:

Planteamiento del Problema: se define la problemática a tratar con el sistema propuesto a desarrollar.

Marco Teórico: brinda la información necesaria al lector para un mejor entendimiento del problema a solucionar, así como el prototipo a diseñar.

Metodología: describe el procedimiento llevado a cabo para realizar el diseño del proyecto. De igual forma brinda la descripción de los materiales, cronograma de actividades, y presupuesto del proyecto.

Resultados y Análisis: sección que presenta los datos obtenidos a lo largo del proyecto, así como el respectivo análisis por parte de los autores de cada uno de ellos.

Conclusiones: brinda las conclusiones obtenidas luego de realizar el diseño y estudio del proyecto propuesto.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 ORIGEN DEL PROBLEMA

Honduras es un país que basa su economía en su mayoría en ganadería y agricultura. El café es uno de las cosechas de mayor exportación del país, sin embargo, la mayoría de dueños de fincas siguen utilizando métodos tradicionales de siembra de café. Para ello contratan una gran cantidad de personas para realizar el sembrado de chapolas desde el germinador a las bolsas con tierra donde la planta continúa su desarrollo. Al ser miles de plantas las que se siembran por temporada, deja en evidencia un proceso ineficiente que puede llegar a tomar semanas en terminar.

2.1.2 INVESTIGACIONES PREVIAS

Gracias a la investigación previa realizada se recopiló información de diseños y procesos de diferentes tesis sobre la utilización de robots deltas dentro de la industria y producción. Por ejemplo, Lopez (2015) expone el tema de realizar un proceso de control de calidad, en el cual un robot delta mediante reconocimiento de imágenes se verificó el estado de un rollo de papel analizando todas sus posibles posturas y así colocarlo de la forma adecuada para el empaclado.

Para resolver esta problemática se plantean sistemas automatizados con ayuda de un Robot Delta por sus grandes capacidades de adaptación, y de agilidad en este tipo de procesos (Riaño, Peña Cortes, & Pardo Garcia, 2013). Riaño, Peña Cortes, & Pardo Garcia (2013) detalla cálculos necesarios para determinar las dimensiones del robot, el diseño del sistema de control y los cálculos de cinemáticos para el posicionamiento del mismo.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El proceso de siembra de las semillas de café en honduras es actualmente realizado manualmente por lo que la producción y eficiencia es relativamente baja; donde el operario toma una bolsa con tierra e introduce la semilla.

2.3 JUSTIFICACIÓN

En Honduras, el café es el principal producto agrícola de exportación aportando más del 3% al PIB Nacional y cerca de 30% al PIB Agrícola (IHCAFE, Exportaciones, 2018). Tomando en cuenta que 15 de cada 18 departamentos en Honduras producen café, la mayoría realiza de forma tradicional lo que es la preparación y siembra. Para el proceso de la siembra del café en las fincas pequeñas y medianas se necesitan varias personas para realizar este trabajo, se requiere más tiempo y es menos eficiente. Con la automatización de este proceso mediante un robot designado a lo que es la siembra de la semilla y chapola del café, la eficiencia en la producción aumentaría notoriamente.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Debido a que la semilla de café necesita un cuidado específico se realizaron preguntas de investigación de acuerdo al tema, relacionándolo con un proceso automatizado se podrá interactuar con un robot delta. Las siguientes preguntas de investigación fueron:

¿Cuál es el proceso necesario para que la semilla esté lista para ser plantada?

¿Cuál será el proceso de agarre de la semilla del robot delta?

¿Qué componentes son necesarios para llevar a cabo el sistema de control?

¿Qué ventajas representaría para los dueños de finca este proceso?

¿Cuál será el material más adecuado para las pinzas de agarre de semilla y chapola?

¿Qué software se utilizarán para la simulación del robot delta y el proceso de siembra de la semilla?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseño de línea automatizada para siembra de semillas y chapolas de café.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar 4 prototipos previos enfocados a la mejora de los procesos automatizados de siembra de semillas en bolsas.
2. Diseñar el sistema de control del proceso de la línea de siembra y chapola de café.
3. Desarrollar el diseño de las pinzas del robot y el silo que se utilizaran en la línea de siembra mediante el software SolidWorks.
4. Demostrar la simulación en un software el diseño de la línea de siembra; como simulaciones estáticas y de fluido.
5. Designar un presupuesto del diseño del proceso en el cual se incluirán los componentes a utilizar.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 CULTIVO DE CAFÉ

En Honduras se cultiva la especie de café Arábica, donde las variedades más comunes son las Typica y Bourbon. Existe mayor calidad en los cultivos de café a mayor altura, la mayoría de regiones en las que se encuentran sembradillos de café están a alturas mayores a 1,500 metros sobre el nivel del mar. La mayoría de plantaciones del país se encuentran en zonas con bastante sombra, lo que es favorable a la planta ya que mantiene la humedad lo cual es de vital importancia en tiempos de sequías (PROHONDURAS, 2018).

Al momento de cultivar el café se debe de considerar los componentes bióticos como abióticos. Dentro de los componentes abióticos se encuentra factores como los vientos, las temperaturas a las que se somete los cultivos, cantidad de lluvia entre otros. Los factores bióticos son otorgados de acuerdo al tipo de café que se está sembrando en este caso la Typica y Bourbon (Gonzales, 2015). En la ilustración 1 se presentan algunas de las variables a considerar.

Factor	Rango	Indicaciones
Altitud	900 – 1.500 msnm	A menos de 900 m se produce café de baja calidad.
Temperatura	16 – 24°C	A partir de estos valores la producción decae.
Precipitación	1.200 – 1.800 mm/año	Menor precipitación: problemas de desarrollo; mayor precipitación: problemas fitosanitarios.
Humedad relativa	65 – 85%	Mayor de 85% genera problemas fitosanitarios.
Radiación solar	12,54 – 18,81 MJ/m ² /día	A mayor intensidad de luz, mayor concentración de CO ₂ en la hoja y menos fotosíntesis neta.
Vientos	< 20 – 30 km/h	Vientos más fuertes producen daño fisiológico y físico a la planta

Ilustración 1. Resumen de las principales Variables Climáticas

Fuente: (Gonzales, 2015)

3.1.1 OBTENCIÓN DE LA SEMILLA

Para obtener chapolas de calidad se debe de efectuar la correcta recolección de los granos de café a sembrar. Las semillas se deben de obtener de árboles sanos y que sean productivos. Los granos se cortaron al estar completamente maduro, cuando presentan un color rojizo, percatándose de que el grano y la planta no tengan ninguna enfermedad como lo puede ser la roya, broca, mancha de hierro, etc. (FNCC, 2015).

Muchas fincas al no ser fumigadas suelen ser más vulnerables al desarrollo de enfermedades en la planta y los granos de café. La broca suele ser la que más se presenta en los granos de café por lo tanto es de vital importancia asegurarse de que el grano escogido para el futuro cultivo no presente esta enfermedad (CENICAFE, 2015). En la ilustración 2 se muestra un grano de café que ha sido afectado por la broca.



Ilustración 2. Grano de café con enfermedad de la roya

Fuente: (CENICAFE, 2015)

3.1.2 PROCESO DE SEMBRADO GERMINADOR

Al tener el fruto cortado, se debe de despulpar manualmente las cerezas ya que de esta manera no se daña el grano. Se deja un día el grano luego de ser despulpado y luego se prosigue a lavarse con agua. La semilla lavada luego se debe de secar al aire libre hasta que la semilla tenga un porcentaje de humedad entre el 11% y 12%. Se debe de tener cuidado al almacenar las semillas, ya que cuando se encuentran en una atmosfera no controlada y con un alto porcentaje de humedad, el poder germinativo es menor del 60% (Pulgarin, 2017).

La temperatura ambiente a la que se seca la semilla de igual manera presenta un factor importante en el porcentaje de germinación de la semilla de café. En la ilustración 3 se muestra el porcentaje de germinación de acuerdo a la temperatura de la semilla.

Temperatura de secado (°C)	Porcentaje de germinación
A la sombra (temperatura ambiente)	95
Estufa a: 25	95
30	94
35	92
40	95
45	95
50	80
55	45
60	4
70	0
80	0

Ilustración 3. Porcentaje de germinación de acuerdo a temperatura ambiente

Fuente: (Pulgarin, 2017)

Al tener la semilla de café seca, se deben de escoger las semillas de mayor tamaño y peso para sembrar en el germinador, ya que estas desarrollaran las chapolas de mayor tamaño y mejor calidad de fruto. Una vez preparadas las semillas se prosigue a sembrarla en el germinador, el germinador puede estar elaborado de arena lavada de rio o tierra cernida más pulpa. Ambos materiales brindaran un ambiente adecuado para el desarrollo de la chapola (Castro, 2016).

El número de semillas por metro cuadrado en el germinador es de vital importancia para el buen desarrollo de la chapola. Lo recomendado es sembrar un 1kg de semilla por m² de germinador. De esta manera las raíces de la chapola se desarrollarán de la mejor manera y lograra obtener los nutrientes necesarios. Luego de sembrar las semillas en el germinador se colocan sobre las hojas de plantas de plátano o palmeras y se les da el primer riego a las plantas. El germinador tiene que estar bajo sombra y debe de mantener la humedad con riegos constantes. Luego de 45 días aproximadamente las semillas empezaran a germinar (FIAGRO, 2018). La ilustración 4 muestra el

promedio de desarrollo en el tamaño de una chapola en un germinador de acuerdo a semillas de distinto peso.

Peso de la semilla (mg)			
	80	180	210
Peso seco de la chapola (mg)	52	91	99
Área de los cotiledones.cm ²	7	13	15
Longitud del tallo (mm)	41	47	51
Longitud de la raíz (mm)	79	100	104

Ilustración 4. Desarrollo de una chapola

Fuente: (Castro, 2016)

3.1.3 PROCESO DE SIEMBRA EN BOLSA

El llenado de las bolsas se realiza con el mismo material con el que se hizo el germinador, por lo general se utiliza un tubo PVC para realizar el llenado de las bolsas. Al estar llenas las bolsas se realizan agujeros en su inferior para el drenado de líquidos, evitando la formación de charcos los cuales crean amarillamiento en las hojas de la chapola. La dimensión de la bolsa es de 7cm x 11 cm, donde 7 es el diámetro de la bolsa y 11 la altura. Las bolsas con estas dimensiones tienen capacidad de almacenar hasta 2 kilogramos de material (CENICAFE, 2015).

Se realiza un hueco en la bolsa, en donde se va a sembrar la chapola. El agujero debe estar centrado y tener una profundidad adecuada de modo que la raíz de la chapola no quede torcida al ser introducida en la bolsa. Si la raíz es demasiado larga se puede recortar un poco, no más de 1/3 de la longitud. Al introducir la chapola en el agujero se prosigue a presionar la tierra alrededor de la raíz y terminar el sembrado. Pasa un tiempo de desarrollo de la chapola en las bolsas antes de ser sembradas en el campo, por lo general se debe de realizar un tiempo de espera de 6 meses (FIAGRO, 2018).

El realizar el sembrado de las semillas en un germinador garantiza un 90% de chapolas aptas para el siembro posterior en bolsas. Se deben de escoger las mejores chapolas del germinador, asegurándose que su raíz no se encuentre en estado de deterioro o bifurcada. Existen ocasiones

en las que las raíces pueden estar bifurcadas o trifurcadas, las chapolas con estas condiciones de raíz deben ser eliminadas ya que este tipo de raíz no brinda una recolección adecuada de nutrientes a la planta (Pulgarin, 2017). En la ilustración 5 se puede ver un ejemplo de una raíz bifurcada a la derecha y una raíz normal a la izquierda.



Ilustración 5. Muestra de raíz bifurcada

Fuente: (CENICAFE, 2015)

3.2 SISTEMA DE CONTROL

Es un sistema que lleva a cabo un proceso sin o poca intervención del operario o supervisor del sistema, esto se logra a través de los componentes del sistema como son las entradas, salidas y la unidad de control. El proceso se lleva a cabo de la siguiente manera el sistema recibe señales de las entradas, la unidad de control la que decide que hacer dependiendo de la programación, y las salidas que son las que llevan a cabo la operación. (Blacells & Romeral, 2013).

Los sistemas de control se dividen en dos tipos: sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado. El sistema de lazo abierto es más sencillo ya que recibe una señal de entrada que llega al controlador o unidad de control, y esta manda una señal de salida correspondiente continuando con el proceso. El sistema de lazo cerrado logra hacer lo mismo que el sistema de lazo abierto, pero además recibe retroalimentación del mismo proceso lo que permite que el controlador tome decisiones dentro del proceso lo que lo hace más llamativo de un punto de vista de

automatización (Ogata, 2014). En la Ilustración 6 se podrá ver el proceso que realiza cada tipo de sistema.

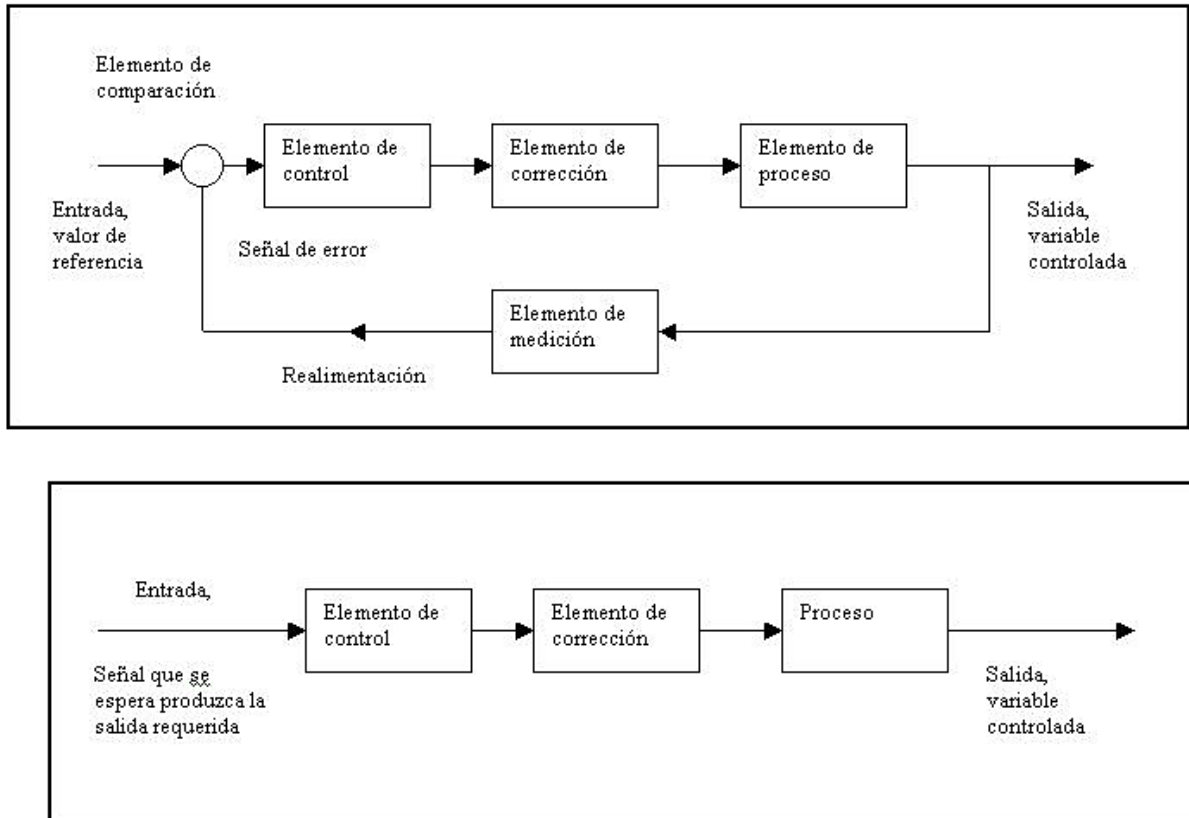


Ilustración 6. Sistemas de Lazo Cerrado (arriba) y Sistema de Lazo Abierto (abajo)

Fuente: (Cerrado, 2016)

3.2.1 UNIDAD DE CONTROL

Es la parte del sistema de control que decide qué acciones realizarán las salidas según la información brindada por las entradas del sistema. Existen muchos tipos de controladores, pero en la industria y en sistemas más robustos donde es más común el uso de entradas y salidas de potencia se utilizan el Programador Lógico Controlable (PLC) (Blacells & Romeral, 2013).

El PLC es un dispositivo electrónico de control que a través de una memoria programable guarda instrucciones y secuencias de operación determinadas por entradas y salidas para poder controlar un proceso (PAC, 2019) como se muestra en la ilustración 7.

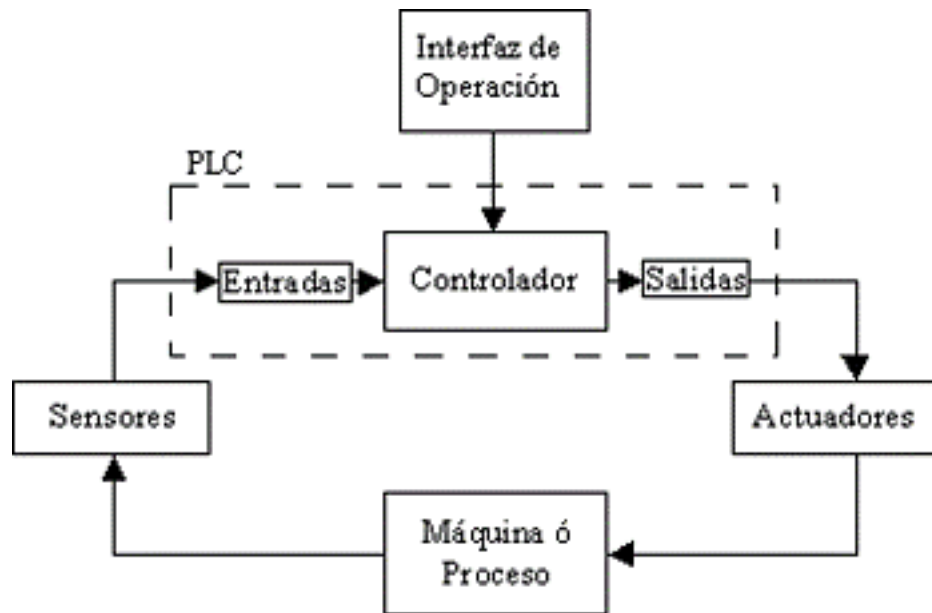


Ilustración 7. Representación de un PLC en Sistema de Control

Fuente: (Programable, 2015)

Lenguaje de Programación

Se refiere por lenguaje de programación a un programa que está organizado por instrucciones que resuelve algoritmos y operaciones, para controlar procesos físicos, lógicos y comunicación con los usuarios (Raffino, 2018).

En los PLCs existe una diversidad de lenguajes de programación para poder realizar procesos donde todos ellos tienen sus ventajas y aplicaciones. Dentro de estos diversos tipos de lenguaje tenemos el lenguaje Escalera el cual consiste en una lógica booleano de contactos y bobinas, que también consta de bloques de operaciones de diversos tipos como temporizadores, contadores, operaciones aritméticas.

Su funcionamiento consiste en dejar pasar el flujo de que proviene de desde el lado izquierdo hasta el operador o bobina que se desee activar según el estado de los contactos que son usualmente las entradas del sistema (PAC, 2011). Como se observa en el ejemplo de la Ilustración 8 todos los caminos tienen un contacto abierto lo que no permite que ninguna bobina se active.

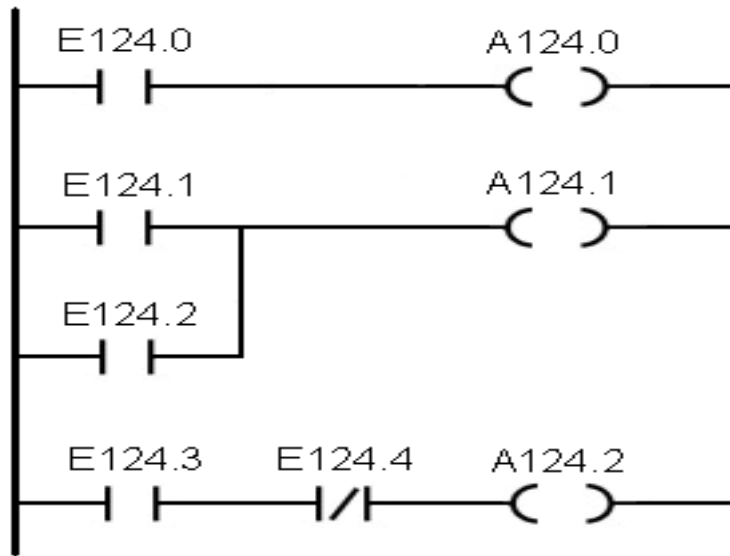


Ilustración 8. Diagrama Escalera (Ladder)

Fuente: (BIRTLH, 2013)

3.2.2 ENTRADAS

Son todas aquellas señales que permiten comunicarse con el controlador como son las señales de mando y las señales de retroalimentación o cualquier magnitud física que intervenga en el proceso (Blacells & Romeral, 2013). Estas pueden ser pulsadores o sensores que ayudan a ser los sentidos o receptores del sistema, que servirán para recolectar información necesaria para realizar el proceso.

3.2.3 SENSORES

“Es un elemento que produce una señal relacionada con la cantidad que se está midiendo” (Bolton, 2013). Existen distintos tipos de sensores, pero vistos desde el punto de vista de control se pueden generalizar en dos tipos: analógicos y digitales. Los analógicos son todos aquellos donde su señal es proporcional al fenómeno físico que está midiendo por ejemplo un sensor de temperatura, de presión, etc. Los digitales por otro lado solo manda una señal si el fenómeno está ocurriendo como puede ser un sensor óptico detectando si un objeto está presente o no (Bolton, 2013).

3.2.4 SALIDAS

Son todas aquellas señales que tiene como fin realizar una acción en el sistema de control esto se lleva a cabo con lo que son los actuadores, estos pueden ser lineales o rotarios según el movimiento que generen, hidráulicos, neumáticos o eléctricos según su accionamiento. Estas son decididas por el controlador y la secuencia de control programada en él (Blacells & Romeral, 2013).

3.2.5 ACTUADORES

Son los elementos del sistema que reciben la señal de salida y la transforman en una acción dentro del sistema. Existen muchos tipos de actuadores según el tipo de accionamiento que utilicen como puede ser un pistón de accionamiento hidráulico o neumático, un motor de accionamiento eléctrico etc. Estos del punto de vista de control se pueden generalizar al igual que los sensores en dos tipos analógicos y digitales (Bolton, 2013).

3.3 VISIÓN COMPUTACIONAL

Es una rama de la computación e Inteligencia Artificial (IA) que al hacer uso de cámaras para la captura de información basada en una imagen. Esta herramienta llega a ser de gran utilidad al analizar imágenes, ya que puede brindar gran información como la distancia, posición o cantidad de objetos en una imagen tomada previamente o en tiempo real (Klette, 2014).

En área de automatización la Visión Artificial representa una gran herramienta ya que puede permitir más libertad de control del sistema, por ejemplo en un robot este logra la corrección de su trayectoria en caso de analizar que la posición a la que se dirige tuvo algún cambio, también puede ser utilizado en el área de calidad de alimentos, en el análisis de una manzana, su color, forma y tamaño para decidir si la manzana es adecuada para su venta (Sun, 2016).

3.3.1 ANÁLISIS DE IMAGEN

“El análisis de imagen por computadoras trabaja para obtener descripciones simbólicas de las imágenes” (Berthold, 2014). Para obtener esas descripciones de la imagen los sistemas de visión

artificial realizan análisis de distintos tipos, siendo los de espacio y el de color algunos de los básicos.

3.3.2 ANÁLISIS DE ESPACIO

El análisis de forma de una imagen se realiza al ver las imágenes representada en su unidad más básica el píxel. El píxel se puede observar como un pequeño cuadro sombreado o como un punto en un sistema de coordenadas como se observa en la ilustración 9, este sirve ya que con el se hacen análisis de adyacencias dentro de la imagen así determinando figuras o patrones que pueden presentar interferencias en análisis de imagen (Klette, 2014).

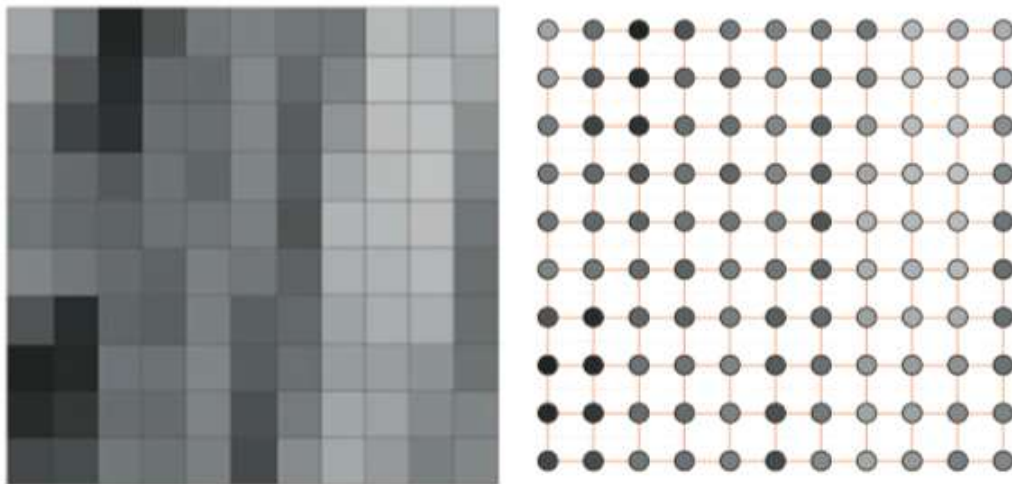


Ilustración 9. Representaciones de un Pixel

Fuente: (Klette, 2014)

3.3.3 ANÁLISIS DE FORMAS

El análisis de forma nos facilita el proceso a la hora de detectar objetos y la cantidad que se encuentran en la imagen, esto se logra a través del análisis de píxeles y su nivel de pigmentación tratando de aislar el contorno de un objeto por la diferencia de intensidad de pigmentación a su alrededor donde de asume una figura geométrica para ese objeto (Klette, 2014) como se muestra en la Ilustración 10.

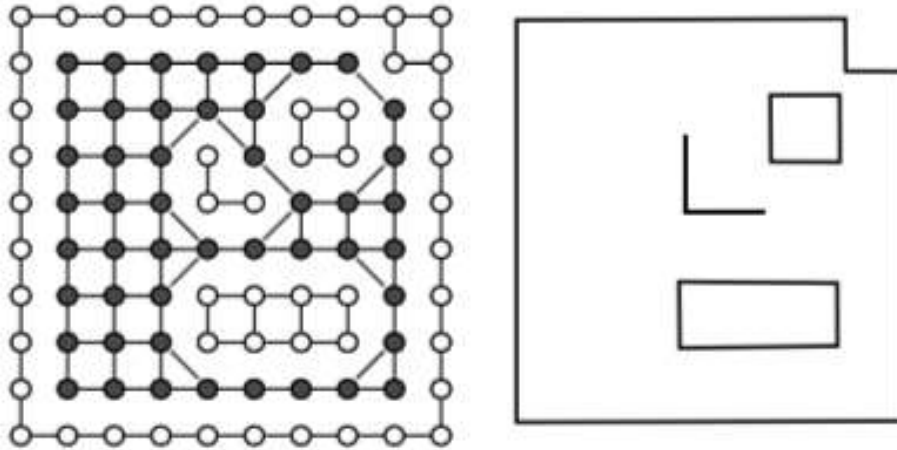


Ilustración 10. Análisis de Forma Basado en Píxeles

Fuente: (Klette, 2014)

3.4 ROBOT

Según (RAE, 2019) un robot es “una máquina o ingenio electrónico programable que es capaz de manipular objetos y realizar diversas operaciones”. Los robots pueden ser de varios tipos y de varias clases, pueden ser animados de forma humanoide o utilizados dentro del rubro de la industria, de tal manera automatizados o semi autónomos (LUIS FERNANDO LOPEZ ISAZA, 2015). Los robots en la última década han tenido un gran auge debido a la fuerte necesidad del hombre con inventar dispositivos con el fin de facilitar el trabajo humano enfocándose únicamente en la función de razonamiento.

3.4.1 ROBOT PARALELO

Un robot paralelo es aquel mecanismo en el cual tiene una base fija o móvil conectada por medio de al menos dos brazos o cadenas mecánicas, este mecanismo de robot paralelo es de tipo lazo cerrado y se conoce también como robot de cadena cerrada (Churta, 2016). Uno de los primeros diseños de robots paralelo fue realizado por Stewart y Gough (Ilustración 11), este tenía seis grados de libertad y contenía una base móvil utilizada para simulación de vuelos para esa época (Jorge Gudiño-Lau, 2017).



Ilustración 11. Robot paralelo Stewart-Gough

Fuente: (Jorge Gudiño-Lau, 2017)

En la tabla a continuación se muestra algunas ventajas y desventajas del robot paralelo:

Tabla 1. Ventajas y desventajas robot paralelo

Ventajas	Desventajas
Arquitectura más rígida	Cinemática Compleja
Relación carga/peso muy superior	Espacio de trabajo reducido
Robot ligero	Calibración Compleja
Alta precisión	Posiciones singulares complejas
Altas velocidades y aceleraciones	Tecnologías no desarrolladas

Fuente: (Diego Edissón Flórez Vergara, 2016)

3.5 MOVILIDAD DE MECANISMO

(Teoría de máquinas y mecanismos, 2018) Afirma: "Se denomina número de grados de libertad de un mecanismo o movilidad del mismo, al número de parámetros de entrada que se debe controlar independientemente con el fin de llevar al mecanismo a una posición en particular". Los grados de libertad dentro de los parámetros del robot delta define la posición exacta en la cual los brazos paralelogramos se encuentran y con ello determinar la ubicación final de la plataforma móvil del robot delta. Si un cuerpo se encuentra en un plano tridimensional posee seis grados de libertad. Para determinar su posición se necesita seis parámetros ya sea tres longitudes y tres ángulos (Norton, 2000).

"La suma de los valores de las desviaciones de los valores individuales con respecto a su media es igual a cero, hecho que puede demostrarse. Si se conocen los $n-1$ valores de los valores a partir de la media, entonces se conoce el n -ésimo valor, ya que queda determinado automáticamente debido a la restricción de 3 que todos los valores de n sumen cero". (Wayne, 2015).

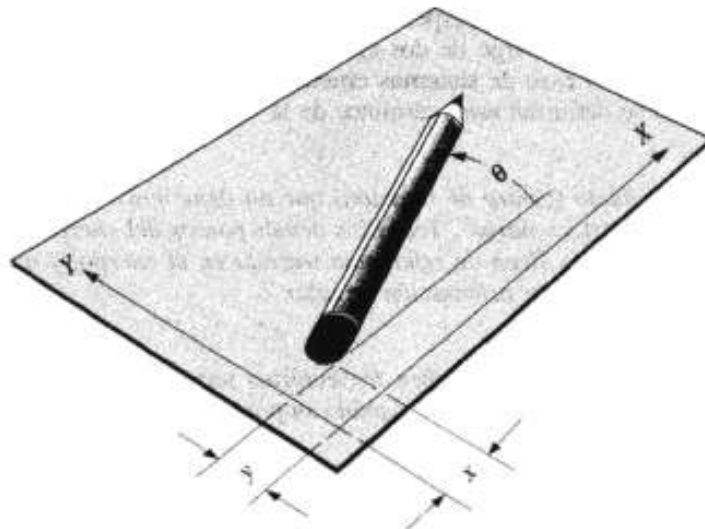


Ilustración 12. Tres parámetros de cuerpo rígido en un plano

Fuente: (Norton, 2000)

3.6 ROBOT DELTA

Dado al avance en la tecnología especialmente en robótica, Raymond Clavel fue uno de los principales ingenieros en darle prioridad en el desarrollo de los robots paralelo tipo Delta, el primer diseño que Clavel realizó fue un robot Delta de forma simétrica, con dos placas bases triangulares de forma equilátera, una fija y la otra móvil; la mayor referencia de este robot son sus tres paralelogramos iguales como se muestra en la Ilustración 13, con tres grados de libertad (Jorge Gudiño-Lau, 2017). El movimiento de estos brazos paralelogramos puede ser ejecutado por medio de actuadores o motores. Este tipo de robot puede ser diseñada de manera simple, pero con causas u objetivos de gran impacto dentro del rubro de la industria o dentro del área médica, ya que puede realizar tareas simples, pero con una alta capacidad de producción y precisión.

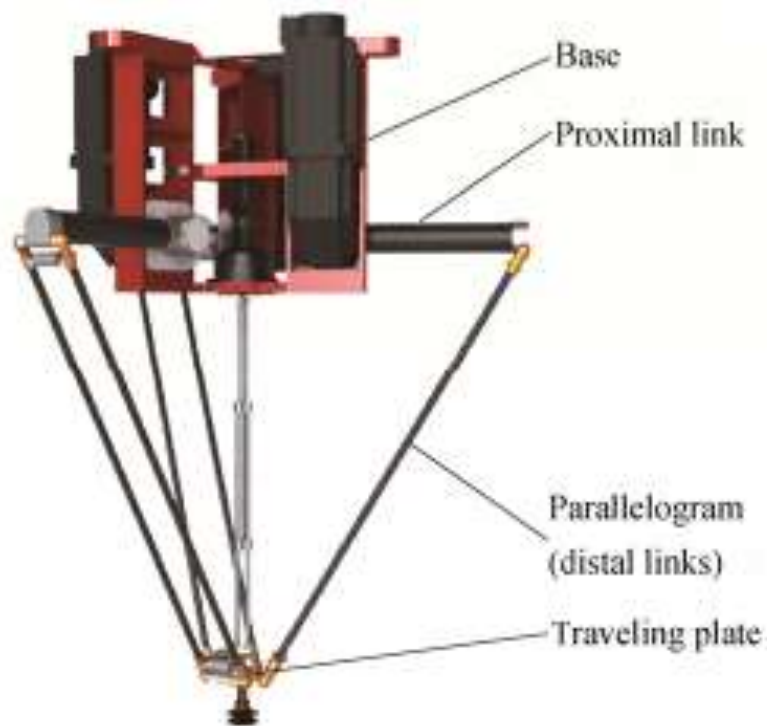


Ilustración 13. Modelo de robot delta

Fuente: (ZHAO Qing, 2015)

3.6.1 MOTORES DE ROBOT DELTA

Para el uso de los motores en el robot delta se pueden utilizar los tipos más comunes, AC o DC, su funcionamiento se basa principalmente en que si un objeto tiene un flujo de corriente eléctrica dentro de un mismo campo magnético, las corrientes eléctricas suelen moverse perpendicularmente hacia el campo magnético (Churta, 2016).

3.6.2 SERVO MOTORES

El Servomotor es un tipo de motor DC el cual permite regular su velocidad y grados para determinar una ubicación exacta en su movimiento de rotación. El servomotor internamente cuenta con varias componentes, por ejemplo, una caja de engranes, un eje, un pequeño motor DC, contiene un potenciómetro y un microcontrolador. Estos tipos de motores pueden tener varias aplicaciones en la industria y maquinas especializadas como maquinas CNC, impresoras 3D, en este caso en un robot delta (Churta, 2016).



Ilustración 14. Modelo de Servomotor

Fuente: (Amazon , 2014)

3.6.3 CINEMÁTICA DE ROBOT DELTA

El movimiento cinemático del robot delta se basa en sus tres brazos paralelogramos que permiten que la plataforma de salida se mantenga orientada con respecto a la plataforma de salida; estos paralelogramos se basan en el movimiento de la plataforma móvil únicamente en tres grados de libertad, contiene ángulos base como $(0^\circ, 120^\circ, 240^\circ)$. Para determinar ángulos para ubicaciones

específicas del robot delta se tiene que considerar los ángulos en que están cada uno de sus paralelogramos (Horacio Orozco Mendoza, 2013).

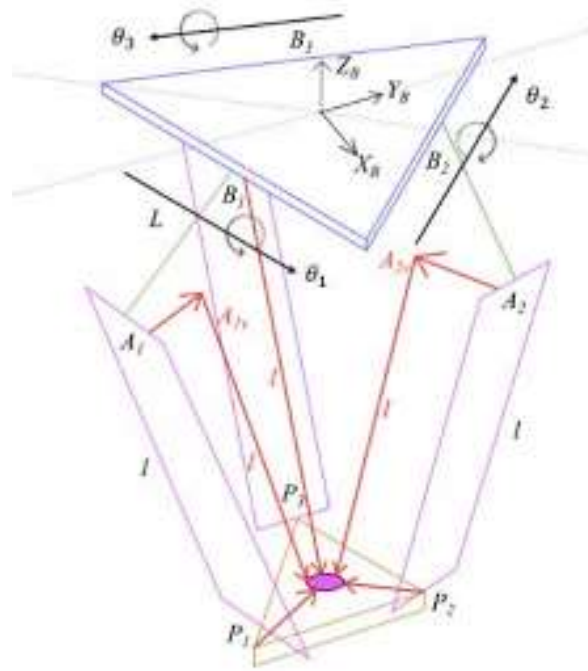


Ilustración 15. Sistema de coordenadas del robot delta

Fuente: (Braulio José Cruz Jiménez, 2018)

La cinemática del robot delta consta de la cinemática directa y la cinemática inversa, la cinemática directa determina la posición de la plataforma móvil según las coordenadas articulares iniciales dadas, en caso contrario a la cinemática inversa determina las coordenadas articulares según una posición final dada (Horacio Orozco Mendoza, 2013). Cruz Jiménez (2018) Afirma: "La solución de la cinemática inversa para el robot delta no es tan complicada como la del robot serial. La cinemática inversa se resuelve analíticamente usando las tres ecuaciones de restricción aplicadas para las ecuaciones de cierre vectorial".

$$2L(y + a)\cos\theta_1 + 2zL\sin\theta_1 + x^2 + y^2 + z^2 + a^2 + L^2 + 2ya - l^2 = 0 \quad (1)$$

$$-L(\sqrt{3}(x + b) + y + c)\cos\theta_2 + 2zL\sin\theta_2 + x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 + 2xb + 2yc - l^2 = 0 \quad (2)$$

$$L(\sqrt{3}(x - b) - y - c)\cos\theta_3 + 2zL\sin\theta_3 + 2zL\sin\theta_3 + x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 - 2xb + 2yc - l^2 = 0 \quad (3)$$

Ecuación 1. Ecuaciones de restricción aplicada para las ecuaciones de cierre vectorial

El sistema a resolver se muestra en la siguiente ecuación.

$$E_i \cos \theta_i + F_i \cos \theta_i + G_i = 0 \quad i = 1,2,3 \quad (4)$$

Ecuación 2. Sistema de ecuaciones del cierre vectorial

Donde:

$$E_1 = 2L(y + a)$$

$$F_1 = 2zL$$

$$G_1 = x^2 + y^2 + z^2 + a^2 + L^2 + 2ya - l^2$$

$$E_2 = L(\sqrt{3}(x - b) - y - c)$$

$$F_2 = 2zL$$

$$G_2 = x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 + 2(xb + yc) - l^2$$

$$E_3 = -L(\sqrt{3}(x + b) + y + c)$$

$$F_3 = 2zL$$

$$G_3 = x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 + 2(-xb + yc) - l^2$$

Fuente: (Braulio José Cruz Jiménez, 2018)

Estos sistemas de ecuaciones de posicionamiento de robot se resuelven mediante la sustitución de la tangente del ángulo medio, definiendo:

$$t_i = \tan \frac{\theta_i}{2}, \quad \cos \theta_i = \frac{1 - t_i^2}{1 + t_i^2} \quad y \quad \sin \theta_i = \frac{2t_i}{1 + t_i^2}$$

Ecuación 3. Tangente del ángulo medio

Fuente: (Braulio José Cruz Jiménez, 2018)

Resolviendo las ecuaciones de restricciones mediante la sustitución de la tangente del ángulo medio se puede determinar la posición de la plataforma móvil del robot delta. Para determinar la velocidad con la que se mueve el robot delta se debe derivar con respecto al tiempo las tres ecuaciones de restricción (Braulio José Cruz Jiménez, 2018).

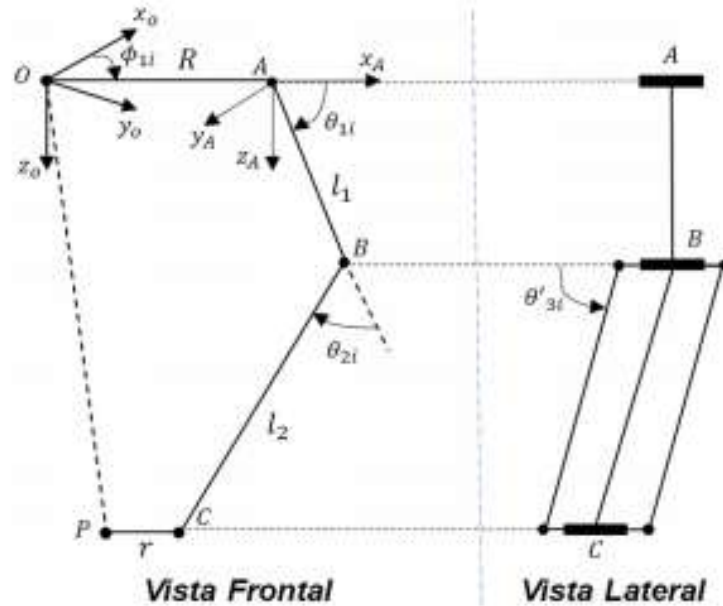


Ilustración 16. Parámetros geométricos del robot delta

Fuente: (Michel Felipe Pedraza, 2015)

3.6.4 PINZAS O GRIPPER DE ROBOT DELTA

Son el subsistema de manejo que provee contacto con el objeto a sostener, asegurando la posición y orientación del objeto para que este llegue de forma adecuada al equipo de manejo que necesite del objeto. Los grippers son de los actuadores más importantes en los sistemas robóticos o de automatización ya que permiten un manejo más preciso y delicado de los componentes del sistema. Esta herramienta presenta una gran asistencia en sistemas que necesiten de una precisión de agarre como la que se obtiene de una persona y al mismo tiempo que superaran los límites físicos de esta, situaciones que llegan a ser peligrosas, antihigiénicas y repetitivas (Monkman, Hesse, Steinmann, & Schunk, 2010).

El principal funcionamiento de las pinzas es mediante un pivote o un actuador tipo pistón abrir los dedos al momento de salida del actuador y cerrar los dedos al momento de entrada del actuador para así asegurar la sujeción del objeto. Hay varios tipos de pinzas, ya sea por presión, al vacío o traslación lineal (MACANCELA, 2018). En la ilustración 17 se muestra un ejemplo de pinzas de presión.

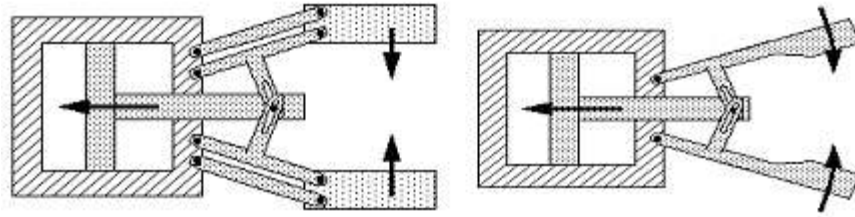


Ilustración 17. Pinza pivotante

Fuente: (MACANCELA, 2018)

Al momento de que el Gripper o pinza realice la sujeción debe de tomar en cuenta el objeto al que está sujetando, ya que si se ejerce una fuerza mayor sobre un objeto de menor resistencia o que necesite un cuidado especial este podría dañarlo o dañarse a sí mismo (pinza) sufriendo cargas puntuales consecuente de una mala sujeción. A continuación, se muestra cuatro tipos de cargas puntuales (MACANCELA, 2018).

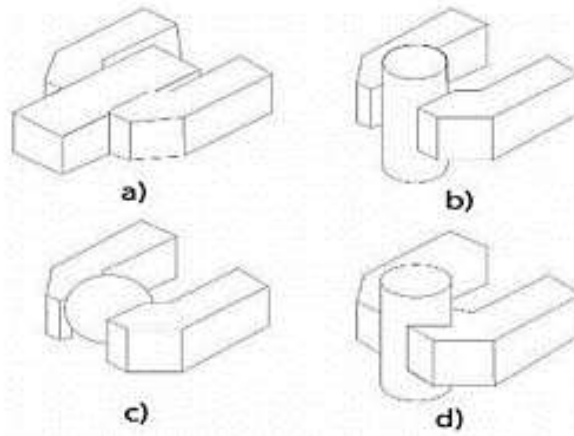


Ilustración 18. Cargas puntuales debido a sujeción

Fuente: (MACANCELA, 2018)

Los grippers se pueden clasificar en distintos tipos, estas clasificaciones pueden variar según la forma de agarre, el tipo de pinza a utilizar, y el actuador a utilizar. En la Ilustración 19 se muestran por el tipo de agarre de manos que simulan los grippers 1: agarre cilíndrico hueco, 2: agarre de puntas, 3: agarre de gancho, 4: agarre de tres puntas, 5: agarre de palma, 6: agarre de pinza.

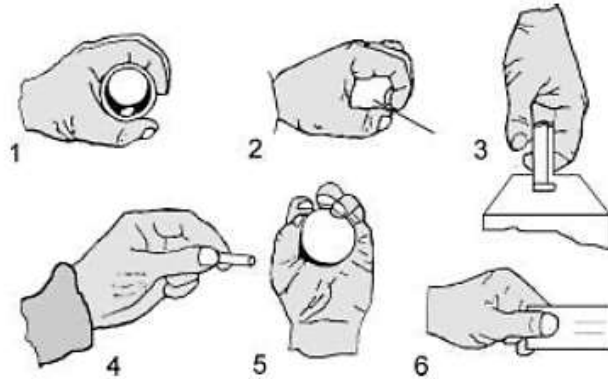


Ilustración 19. Clasificación de Gripper según agarre

Fuente: (Monkman, Hesse, Steinmann, & Schunk, 2010)

Otro tipo de clasificación es por el método de agarre que se utiliza que se subdivide en cuatro tipos: de impacto donde una fuerza directa es aplicada para el agarre, de ingreso penetra el objeto o lo sujeta a través de un orificio, de adhesión utiliza fenómenos físicos para lograr el agarre como la fuerza de succión, y contigutivo necesitan contacto directo para cambiar las propiedades físicas como la temperatura para lograr el agarre.

Tabla 2. Tipos de gripper por método de agarre.

Método de agarre	Tipo de gripper	Ejemplos
Impacto		Tenazas, abrazaderas
Ingreso	Intrusivo	Agujas, pines
	No intrusivo	Gancho
Adhesión	Succión al vacío	Ventosas
	Magneto adhesión	Electro magneto
	Electro adhesión	Campo electroestático
Contigutivo	Térmico	Congelamiento, derretimiento
	Químico	Pegamentos, adhesivos
	Fluido	Tensión superficial

Fuente: (Monkman, Hesse, Steinmann, & Schunk, 2010)

3.7 SOFTWARE CAD

Diseño asistido por computadora (Computer Aided Design), este tipo de tecnología se basa en el diseño, análisis y desarrollo de productos mediante el uso de computadoras. Este software tiene la ventaja de la sección de dibujo, simulación y manufactura. Son compatibles con máquinas de control numérico computarizado (CNC) que agiliza cualquier proceso manual ofreciendo una mayor precisión y reduce costos (García, 2006). Todos los sistemas CAD / CAM constan de tres componentes:

1. Una herramienta / escáner de digitalización que transforma la geometría en datos digitales que pueden ser procesados por la computadora
2. Software que procesa datos y, según la aplicación, produce un conjunto de datos para el producto a fabricar
3. Una tecnología de producción que transforma el conjunto de datos en el producto deseado. (F. Beuer, 2008)

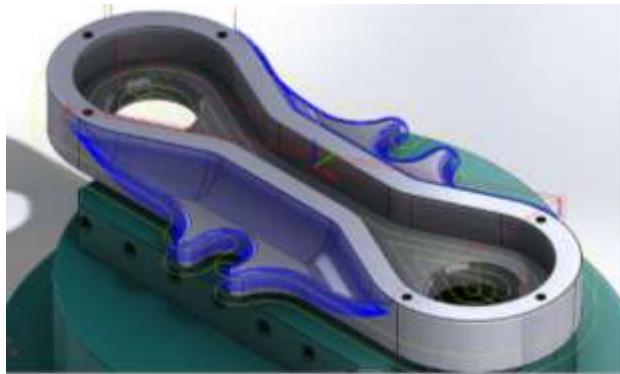


Ilustración 20. Mecanizado en software SolidWorks

Fuente: (SolidCAM, 2019)

3.8 SILO

Un silo es una estructura de concreto o metal, de forma cilíndrica o cónica utilizada para almacenar productos de tipo granular como son granos, semillas o azúcar (Escudero Astudillo, 2016). Los silos en la agricultura además de ser utilizados para el almacenamiento de material, sirve como una barrera de protección para el producto de condiciones ambientales como la humedad,

temperatura, evita el ingreso de contaminantes como gases o polvo, y evita la manipulación excesiva que se lleva a cabo en procesos de almacenamiento (Héctor Santiago, 2015).

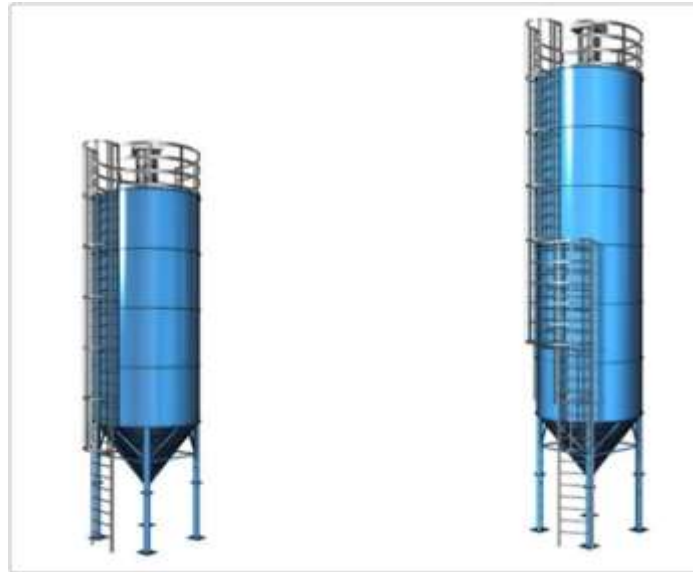


Ilustración 21. Muestra de silos

Fuente: (Gomez, 2014)

3.9 TRABAJOS PREVIOS

3.9.1 DESARROLLO DE UN ROBOT DELTA TIPO KEOPS CON ESTRUCTURA MODIFICABLE

En relación con lo que son los robots delta muchos trabajos detallan su construcción y optimización para el uso en distintas áreas. En el trabajo de (Riaño, Peña Cortes, & Pardo Garcia, 2013) detallan los pasos necesarios para la construcción de un prototipo así mismo las consideraciones que se llevaron a cabo para la simulación y cálculos para la construcción de este prototipo. En esta investigación se llevaron a cabo los pasos del cálculo de dimensiones para el robot, los cálculos cinemáticos, estructura de control, simulaciones en softwares como Simulink.

Para el cálculo de dimensiones óptimas se utilizaron algoritmos genéticos donde se toma una población de diseños con características para el espacio de trabajo, donde estos luego se comparan y sobreviven los que brindan una mejor solución determinado por su desempeño, estas luego llevan a cabo un proceso de combinación de las mejores características, para llegar a un diseño final que se utilizan para el prototipo.

En el sistema de control se utilizaron motores brushless, estos poseen cada uno tres sensores de efecto Hall, basado en esas tres señales determina la secuencia exacta a seguir para el movimiento del motor, para el control de posición se utiliza un sensor encoder que también se utiliza para determinar la velocidad. Como resultado obtuvieron un prototipo funcional de delta optimizado para un espacio compacto con movilidad funcional para el espacio de trabajo reducido.



Ilustración 22. Prototipo robot delta

Fuente: (Riaño, Peña Cortes, & Pardo Garcia, 2013)

3.9.2 CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROBOT SEMBRADOR DE MAÍZ

En el área de la agricultura se utiliza la robótica más a menudo, en área de plantado de semillas y granos tenemos trabajos como el (Camilo Bernal, Florez Gonzales, & Gutierrez Ortiz, 2015) donde se desarrolló un robot dedicado para la siembra en campos de cultivos de maíz.

Se realizó un sistema de navegación para que el robot tenga la capacidad para movilizarse dentro de los campos sin colisionar a través de sensores de posición y de aceleración, estos se logra a través de un sistema odometrico y una sistema navegación inercial que estima la posición y orientación, al utilizar su aceleración y ángulos detectados por los sensores de posición esta consiste de estimar la posición actual del robot por el uso de sensores que detectan el número de vueltas que da la rueda, ambas técnicas se utilizaron en conjunto para poder disminuir errores en la navegación del vehículo.

También se desarrolló un mecanismo para la plantación del grano que consiste en dos motores una para bajar el mecanismo de taladrado y otro que hace girar una broca con aspas para hacer un agujero en la tierra de un tamaño adecuado este sigue girando hasta llegar a una profundidad de 4cm ideal para un grano de maíz.



Ilustración 23. Prototipo robot plantador de maíz

Fuente: (Camilo Bernal, Florez Gonzales, & Gutierrez Ortiz, 2015)

3.9.3 ROBOTIZACIÓN DEL PROCESO DE INJERTO DE PLÁNTULAS HORTÍCOLAS

También está el desarrollo de una línea de automatización para el proceso de plantación de injertos de plántulas por (Rodríguez Sánchez, 2017). En esta investigación desarrolla en un sistema de detección para reconocer la posición de la planta, de agarre por grippers, un sistema de corte para separar la parte de la planta que se desea, y un sistema de dispensación de sujetadores para unir las plantas y crear el injerto.

Para el diseño del gripper estos se decidieron por un gripper de agarre mecánico de impacto de dedos paralelos ya que este el menos intrusivo para la plántula donde estos evitan que se deslice la plántula por su forma cilíndrica. Los grippers también cuentan con un sensor óptico para

asegurarse del agarre de la plántula y así evitar hacer un agarre donde no se encuentre una. Para la línea se utilizaron cintas transportadoras para trasladar las celltrays de una etapa a otra donde los brazos robóticos operan entre ellas para lograr un mayor rango de alcance.



Ilustración 24. Gripper de agarre de plántula para injertos

Fuente: (Rodríguez Sánchez, 2017)

3.9.4 PROTOTIPO DE ROBOT EN LA PRODUCCIÓN DE ROLLOS DE PAPEL

(LUIS FERNANDO LOPEZ ISAZA, 2015) Presentaron una tesis en la cual realizan la automatización de una línea de producción de papel higiénico donde tendrían problemas con los defectos o errores que salían algunos rollos de papel, su propuesta fue implementar un robot delta dentro de la línea de producción y mediante un sistema de reconocimiento de imágenes establecieron los parámetros y dimensiones generales de un rollo de papel higiénico e introduciendo a una base de datos imágenes en la cual el producto estuviese en una posición incorrecta para así detectar qué rollos estaban en buen estado y cuáles deberían de ser tratados.

Para el procesamiento y cuantificación de las imágenes utilizan el software Matlab. De igual manera muestran la estructura de los diseños del prototipo y los distintos análisis estáticos que realizaron de parte del robot delta, también mediante el uso de SolidWorks muestran el posible diseño a realizar con la banda transportadora junto con el robot delta. Mediante el robot delta logran agilizar el proceso de control de calidad dentro de la Papeles Nacionales S.A., esta

automatización reduce los costos anuales de la empresa y facilita el manejo de nuevos productos.
Gracias a esta tesis nos basamos en ideas a tomar en cuenta para realizar nuestro proyecto.



Ilustración 25. Línea de producción de rollos de papel

Fuente: (BIRTLH, 2013)

IV. METODOLOGÍA

4.1 ENFOQUE

El presente proyecto tiene un enfoque cuantitativo ya que es un sistema automatizado del proceso de siembra de café y mediante el estudio del diseño y análisis de los componentes del sistema se recopilan datos numéricos con los cuales se define la automatización y desarrollo tecnológico en la siembra del café.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

4.2.1 DISEÑO Y ANÁLISIS DE PROTOTIPO

- Gripper

El proceso de siembra de chapola necesito del diseño de un gripper adecuado para mover las plantas de las cell trays a las bolsas. Se tomó en cuenta la profundidad de cada celda, para obtener las dimensiones del gripper y obtener el mejor agarre y cuidado de las chapolas. Al elegir el material para la elaboración del gripper se tomó en cuenta las condiciones a las que se sometía como lo es la humedad y desgaste al entrar a la tierra en donde están sembradas las chapolas.

- Silo

Para obtener un proceso completo se diseñó un silo de almacenamiento del material con el que se llenan las bolsas. La capacidad del silo se determinó de acuerdo a la cantidad de bolsas que se llenaran durante el proceso en un tiempo determinado. De igual manera se realizó un análisis de flujo para determinar la velocidad y cantidad de material que saldría del silo.

4.2.2 SELECCIÓN DE ROBOT DELTA

Fue necesario escoger un robot delta que tuviera un radio de funcionamiento suficiente para lograr mover el gripper entre las dos bandas en las cuales se trasladan las cell trays y las bolsas con material. De igual manera se consideró la velocidad de funcionamiento para obtener la mayor cantidad de chapolas sembradas en el día.

4.2.3 SISTEMA DE CONTROL

Mediante el uso de un PLC lograr el funcionamiento adecuado de todo el proceso, considerando la sincronización de las bandas, llenado de bolsas por medio del silo, movimientos del robot delta y distintos actuadores a utilizar.

4.2.4 ANÁLISIS COMPUTACIONAL

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema fue necesario el uso de software de análisis en este caso SolidWorks. Se consideró análisis de tensión y deformación por cargas puntuales en el gripper al retirar la chapola de sus compartimientos en las cell trays. De igual manera análisis estático para el peso que soporta la estructura de la ilustración 40 al ser el soporte del silo.

4.2.5 COSTO DE DESARROLLO DE PROYECTO

Se consideró el precio total para lograr implementar el proceso automatizado de siembra de chapolas. De esta manera hacer el prototipo accesible para distintos agricultores, comparando el costo del prototipo de siembra con otras máquinas utilizadas en la agroindustria como los son las despulpadora ecológica o secadoras de café.

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

4.3.1 DISEÑO CAD

En el presente proyecto se necesita conocimientos avanzados de CAD, "atiende prioritariamente aquellas tareas exclusivas del diseño, tales como el dibujo técnico y la documentación del mismo, pero normalmente permite realizar otras tareas complementarias relacionadas principalmente con la presentación y el análisis del diseño realizado." (Serena, 2004). Se utilizó el software SolidWorks porque permite el diseño y análisis estático para el estudio del gripper o pinza, de igual manera SolidWorks permite verificar el silo para la aplicación necesaria.

4.3.2 CIRCUITOS ELÉCTRICOS

Se aplicaron conocimientos básicos de circuitos eléctricos para realizar las conexiones correspondientes de los componentes a utilizar del sistema por ejemplo el robot delta, bandas y

PLC. Por medio del software de simulación Proteus se logró representar las conexiones necesarias para el correcto funcionamiento del sistema.

4.3.3 ACTUADORES NEUMÁTICOS Y ELÉCTRICOS

Fluidsim es un software de Festo que permite representar y simular actuadores como pistones neumáticos, motores eléctricos y válvulas de control. Para su uso es necesario tener conocimientos en numeración de válvulas, capacidad de motores y tipos de accionamiento de los componentes.

4.3.4 SISTEMA DE CONTROL

Al momento de automatizar un proceso, en nuestro caso el sembrado de chapola, es necesario contar con conocimientos en programación de PLC. Existen distintos lenguajes de programación, en este caso se priorizo en el uso de lenguaje ladder ya que es una forma más sencilla de mostrar los contactos. Se hizo uso del software Concept el cual permite la compilación, creación y edición de código en PLC de la marca Schneider a utilizar en el diseño del proceso.

4.4 MATERIALES

Los siguientes materiales se requirieron para realizar el proyecto:

- PLC Schneider M340
- Cinta transportadora
- Pistón Neumático
- Válvula 4/3
- Láminas de acero inoxidable de 5 mm
- Robot Delta, SIAX D3 700
- Compresor
- Válvula anti retornó
- Cell trays
- Lámina de Hierro
- Sensor Capacitivo
- Válvula Guillotina
- Anticorrosivo

- Tubo acero estructural
- Tuercas M30
- Tornillo hexagonal
- Arandelas

Tabla 3. Presupuesto

Material (Unidad)	Unidades	Precio(Lps.)	Total (Lps.)
PLC Schneider M340	1	23,475	23,475
Cinta transportadora	2	12,360	24,720
Pistón Neumático Baomain	1	740	740
Válvula 4/3	1	445	445
Láminas de acero inoxidable de 5 mm (10x100)	1	579	579
Robot Delta, SIAX D3 700	1	173,180.00	173,180
Compresor Truper (10L 1HP)	1	6,330.00	6,330
Válvula anti retornó	1	170	170
Lámina de hierro (4'x8')	5	580	2,900
Sensor Capacitivo (LJC18A3-B-J / DZ)	2	319	638
Válvula guillotina KGD EM	1	12,300	12,300
Anticorrosivo Protecto	1	830	830
Acero estructural tubo cuadrado 2x2	12	208	2,496
Tuercas M30 (1/2 pulg)	75	5.90	442.5
Arandelas (1/2 pulg)	75	6.00	450
Tornillo Hexagonal (1/2 pulg)	75	7	525
Total (Lps.)			250,200.5

Fuente: Elaborada por autores

Ya que en el mercado nacional ciertos fabricantes tienen parametrizados sus productos en el sistema de medición inglés, para facilidad se utiliza este sistema de medición en la Tabla 3 para ciertos materiales como son las tuercas, tornillos, arandelas y lámina de hierro.

4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

4.5.1 ANÁLISIS DE PROTOTIPOS PREVIOS

Para el desarrollo de un marco teórico fundamentado y soluciones de diseño prácticas, se realizó una investigación previa de distintos materiales bibliográficos en distintos portales de búsqueda académicos *scholar.google.com*, *researchgate.net*, *scielo.org* donde se encontraron materiales como tesis universitarias, informes científicos y libros. Se recopilaron distintos temas de interés durante la investigación para el desarrollo del proyecto que fueron los siguientes: diseño, automatización, trato de chapolas de café, robótica y agro robótica. Con el desarrollo de la investigación se logró obtener un panorama más claro para el diseño del proyecto.

Esta investigación sirvió como guía para formar los criterios de diseño a utilizar en las distintas etapas del proyecto como: la forma y método de agarre de los grippers, las dimensiones del silo, consideraciones de dimensiones y velocidad del robot delta y la instrumentación de control a utilizar en la línea de automatización.

4.5.2 DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control del proyecto se enfoca principalmente en la automatización de todo el proceso, de esta manera fue necesario seccionarlo en distintas áreas: la de transporte, la de llenado, control de robot delta. Cada una de estas etapas se controlan por un PLC en comunicación con el software de control de robot delta a continuación se especificarán las consideraciones que se tuvieron en cada etapa.

4.5.2.1 ETAPA DE LLENADO DE BOLSAS

En esta etapa se lleva a cabo las operaciones necesarias para el llenado de las bolsas de polietileno y su empaquetado para la transportación a la siguiente etapa. Mediante un operario que será encargado de manejar el proceso de llenado, a través de un pulsador se mandará una señal al PLC para activar el control de la válvula de guillotina que dará paso para la descarga de tierra, una

vez llenada las bolsas estas se introducirán en una canasta que se colocara en la banda transportadora.

4.5.2.2 ETAPA DE TRANSPORTE

Mediante el uso del PLC se controlan los motores que se utilizan en la banda transportadora, la velocidad de la banda transportadora se calculará mediante el cálculo de ciclos necesarios que necesitará el robot delta para vaciar una cell tray. Según las especificaciones del modelo SIAX D3 700 este puede realizar 120 ciclos por minuto, como se puede observar en la ilustración 26 con esta velocidad será capaz de transportar las 50 chapolas de la cell tray a las bolsas para plantación. Se considera que un ciclo de operación es desde la posición inicial del delta hasta la cell tray conteniendo la chapola y otro ciclo desde el cell tray hasta la bolsa de tierra. Para completar un ciclo de llenado de las bolsas se necesitará al menos 100 ciclos de operación del robot los que este puede realizar en 50 segundos, tomando en cuenta de las especificaciones que este puede realizar 2 ciclos cada segundo.

	D3 700	D4 700-S	D4 700-B
Weight <i>Peso</i>	26 Kg	28 Kg	29 Kg
Power supply <i>Alimentazione</i>	220V single phase		
Installed power <i>Potenza installata</i>	1,2 KW	1,5 KW	1,5 KW
Class protection <i>Grado di protezione</i>	IP55 – Optional IP65		
Temperature <i>Temperatura</i>	0 ÷ 45 °C		
Humidity <i>Umidità</i>	max 95%		
Position repeatability <i>Ripetibilità di posizione</i>	0.1 mm		
Number of cycles/min. <i>Numero cicli/minuto</i>	Up to 120 - <i>Fino a 120</i>		
Degrees of freedom <i>Gradi di libertà</i>	3	3+1 rotation	3+1 rotation
Max working range <i>Range massimo di lavoro</i>	700 mm		
Max payload <i>Portata massima</i>	2 Kg		

Ilustración 26. Tabla de especificaciones SIAX D3 700

Fuente: (Sipro, 2019)

Para determinar la velocidad necesaria en las bandas se utiliza la ecuación 4 tomando en cuenta la distancia máxima del robot (0.7m) y el tiempo de 100 ciclos que tomara llenar una canasta de bolsas de tierra (50s).

$$v = \frac{d}{t}$$

Ecuación 4. Velocidad Rectilínea

Fuente: (Hibbeler, 2009)

La velocidad da como resultado 0.014m/s, una velocidad inferior de lo que puede dar el motor de las bandas transportadoras, por lo tanto se optó por la utilización de dos sensores capacitivos,

por la ventaja que tienen al detectar plásticos a cortas distancias, estos detectan cuando la canasta o la cell tray llega a su posición y corta la alimentación de los motores de la banda para que se realice todo el ciclo de traslado, luego de acabar con el proceso regresa la alimentación a los motores y se continúa con el proceso.

En el proceso se utilizaron dos bandas transportadoras una para la movilización de las canastas que vienen desde el proceso de llenado y otra banda para el transporte de las cell tray que contienen las chapolas de café. La configuración de posición de las bandas se hizo considerando el radio máximo de movimiento del robot delta (0.7m), como se realizó en el trabajo de (Rodríguez Sánchez, 2017) para que este tuviera suficiente rango para tomar la chapola desde la cell tray y para que luego se transporte a la bolsa de tierra. Una vez se hayan plantado las chapolas en las bolsas se transportan hasta el final de la banda donde un operario las recoge para su próxima etapa de trabajo.

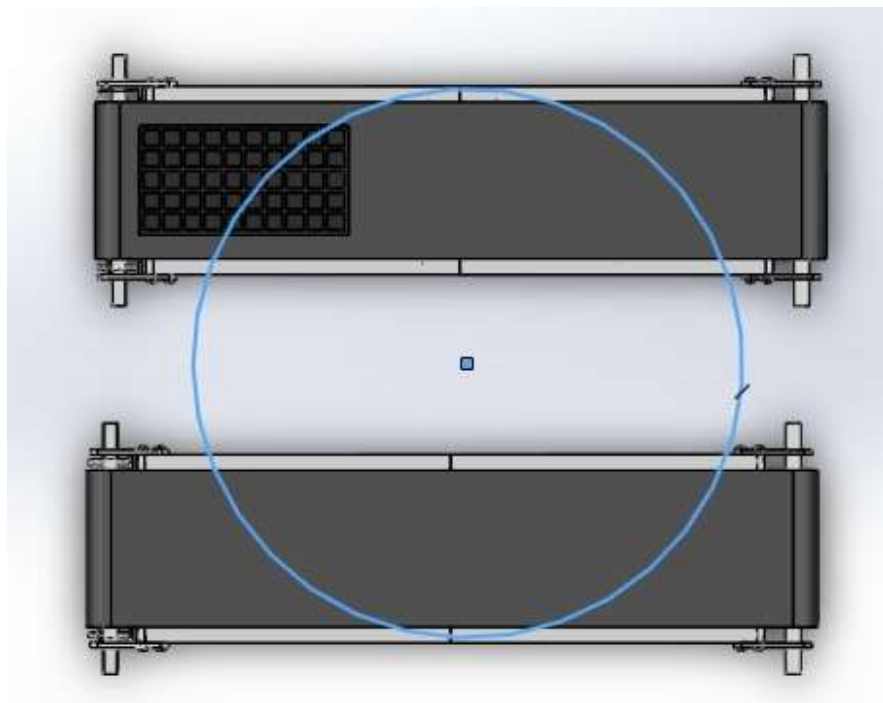


Ilustración 27. Radio trabajo robot delta en bandas transportadoras

Fuente: Elaborada por autores

4.5.2.3 PROGRAMACIÓN PLC

Además de las consideraciones realizadas anteriormente en la etapa de llenado y en la etapa de traslado para el sistema de control, también se programó un pulsador de arranque, uno de emergencia, una luz piloto de emergencia, la seguridad por sobrecarga de los motores. La programación se realizó en el programa Concept en lenguaje escalera el programa se muestra en la ilustración 28.

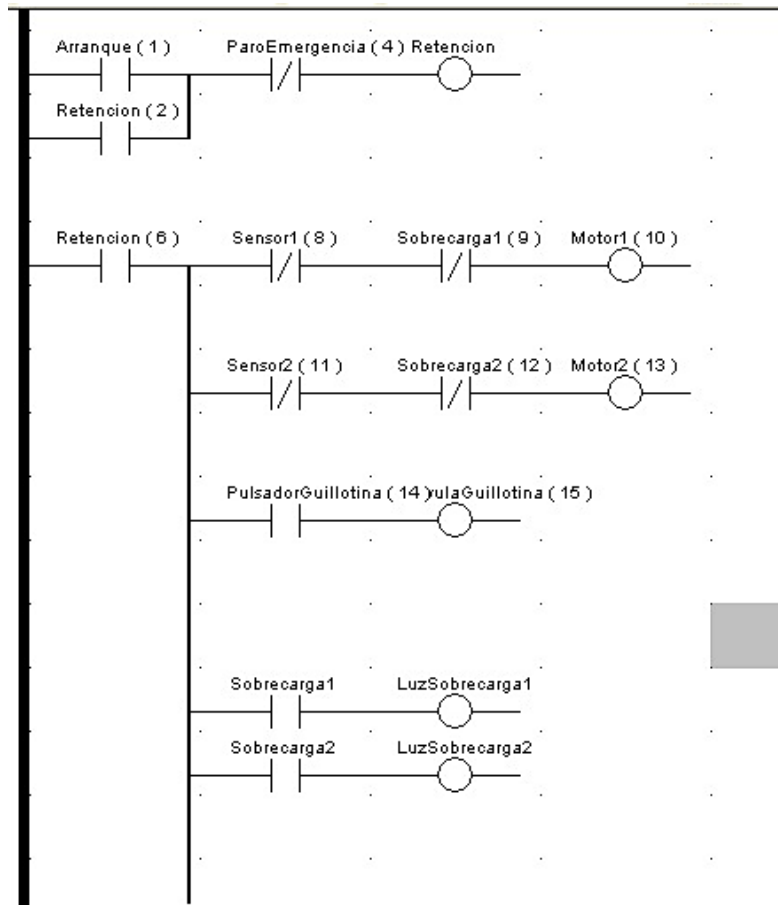


Ilustración 28. Programación de Sistema de control en Concept

Fuente Elaborada por autores

4.5.3 DISEÑO Y ANÁLISIS DE GRIPPER Y SILO

4.5.3.1 Diseño de gripper

Se realizó el diseño de un gripper con tres garras en forma de V accionadas por un pistón neumático para el cerrar y abrir de la pinza.

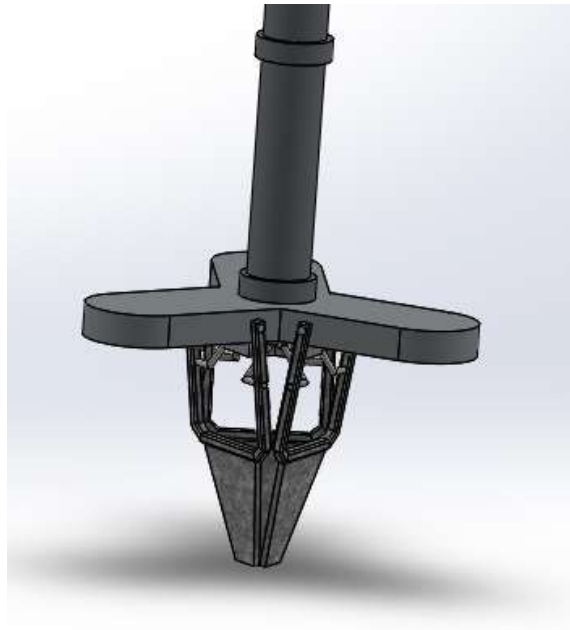


Ilustración 29. Vista general de Gripper de tres garras

Fuente: Elaborado por autores

Se diseñó el gripper de modo que se adecuara a las especificaciones requeridas para el proceso de siembra. Una de ellas es que las garras al introducirse abiertamente en cada compartimiento del cell tray en las que se encuentra cada chapola, no pegaran con ninguna de las paredes del compartimiento. Cada celda es un cuadrado de 3.84 cm por lado, por lo tanto, al ingresar el gripper abiertamente debe de tener un área menor a ella. El gripper debe de ingresar abierto para así no dañar la chapola.

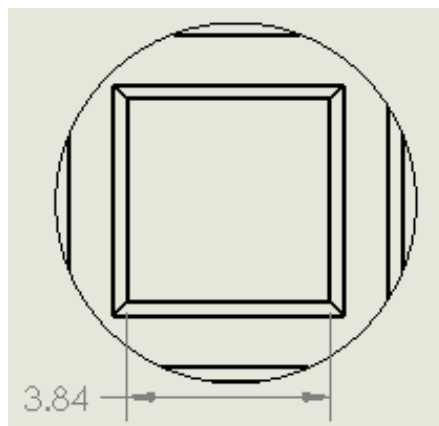


Ilustración 30. Dimensiones de la celda (mm)

Fuente: Elaborado por autores

En la ilustración 31 se puede observar al gripper ingresando en su forma abierta a la celda de donde sacara la chapola, ninguna de las tres garras hace contacto con las paredes de la celda.

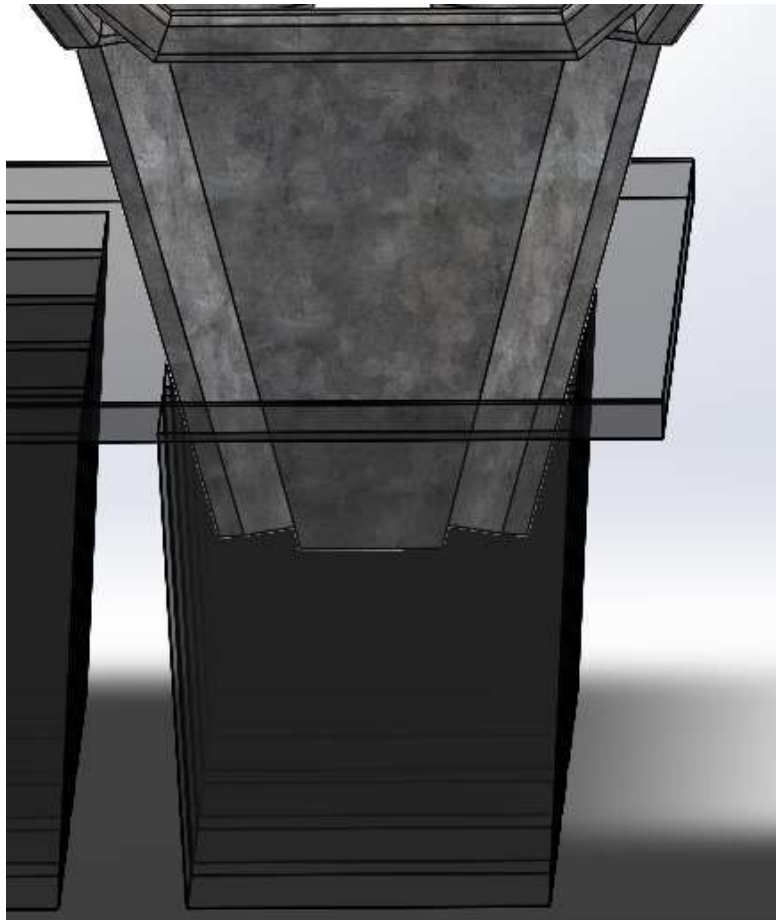


Ilustración 31. Gripper ingresando a la celda

Fuente: Elaborado por autores

La parte inferior del gripper que se entierra en el material en el que se encuentra sembrada la chapola este hecho de hierro inoxidable austenítico. La lámina tiene que ser de un material resistente a la humedad y a la fricción producido por el material en las celdas por lo tanto se decidió utilizar el hierro inoxidable austenítico, el cual es vendido en el mercado en láminas de distintos grosores. Se escogió la lámina con el menor grosor posible, de esta manera se requiere menor fuerza al entrar en el material de la celda. La lámina utilizada es de 1.219 mm de grosor la cual se puede apreciar en la ilustración 32.

Dimensiones		
Espesor		
Calibre	Pulg.	mm
10	0.1350	3.429
11	0.1200	3.048
12	0.1050	2.667
14	0.0750	1.905
16	0.0600	1.524
18	0.0480	1.219

Ilustración 32. Láminas de acero inoxidable austenítico

Fuente: (MIPSA, 2018)

El marco superior de la garra es construido con un tubo de igual manera de acero inoxidable austenítico de 0.5 cm de diámetro. Al unir el marco superior con la lámina inferior obtenemos la garra completa, los dos componentes son soldados con acetileno con metal de aportación. Ya que con este medio de soldadura se pueden trabajar con llamas en la boquilla muy pequeñas es adecuada para la unión de las dos piezas.

Al momento de trasplantar la chapola existen dos factores de vital importancia a considerar, el cuidado de las hojas y tallo de la planta y el sacar la raíz completa de la celda. Estos dos factores fueron de vital importancia al momento de desarrollar la garra, fue por ello que cada garra se conforma de dos partes, superior e inferior.

La altura de la planta al momento de trasplantar tiene un margen de 41mm-51mm de altura (Castro, 2016). Es por lo tanto que la altura de la parte superior de la garra es de 67.5 mm de esta manera no se afecta el tallo y hoja de la chapola al ser trasplantada. De igual manera se consideró la altura del accionador delta del pisto, el cual tiene una altura de 10 mm, dejando una distancia de 6.5mm para el juego de subir y bajar del pistón al momento de abrir y cerrar el gripper.

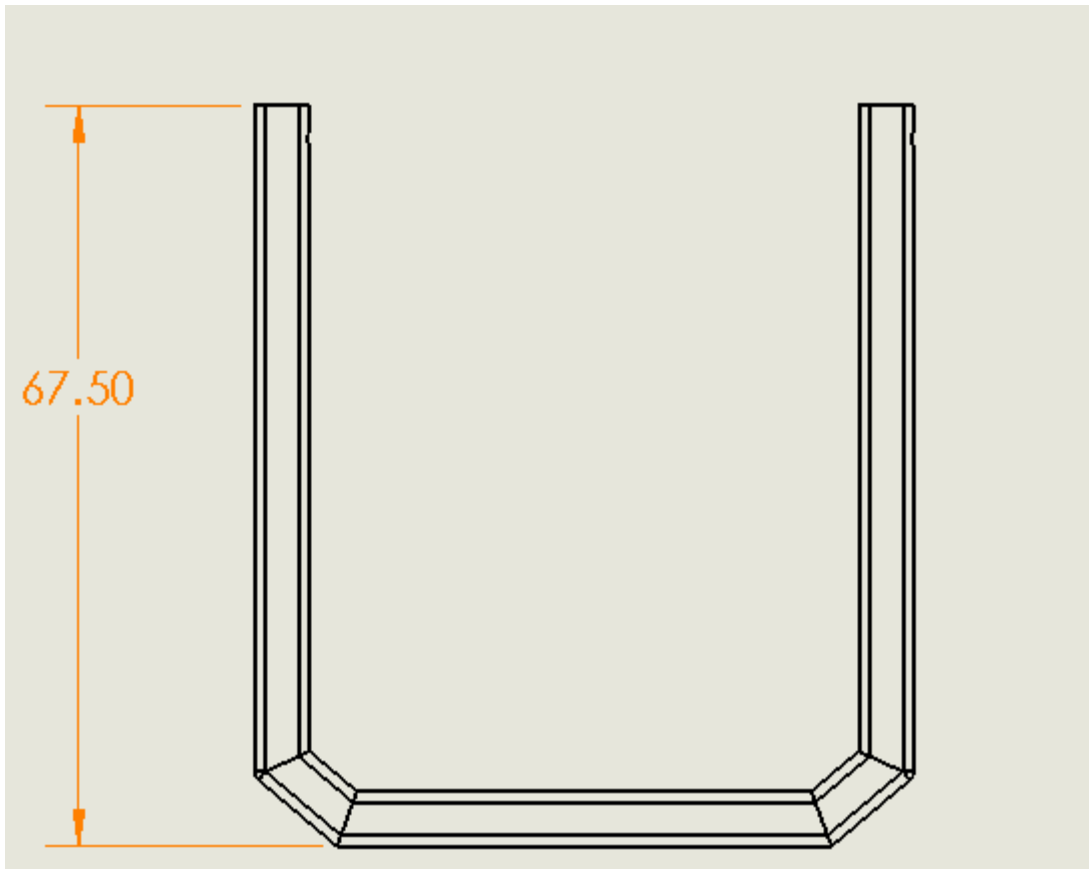


Ilustración 33. Parte superior de la garra (mm)

Fuente: Elaborado por autores

La parte inferior de la garra se diseñó de acuerdo a las dimensiones de cada celda en las que se encuentra las chapolas. De esta manera el gripper al ingresar en cada celda, la parte inferior podrá ingresar completamente y retirar la raíz con el material en la que creció.

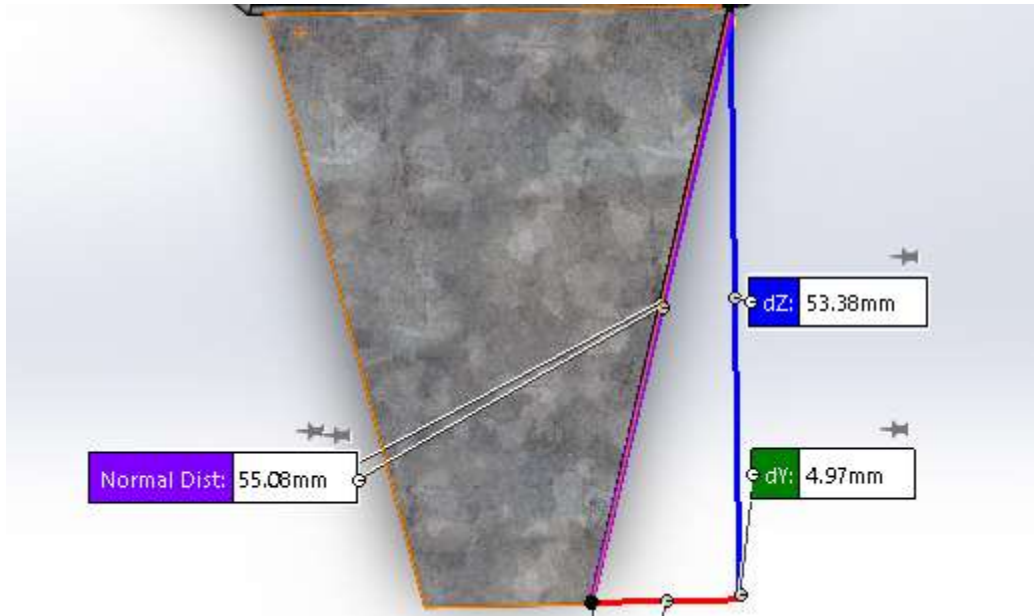


Ilustración 34. Parte inferior garra

Fuente: Elaborado por autores

El gripper estará atornillado a la base móvil del robot delta SIAX D3 700. El pistón neumático servirá como soporte y enlace entre las dos bases móviles, la del robot delta y la del gripper. Se utilizó un tornillo y una arandela de presión para sujetar el pistón en ambos de sus extremos.

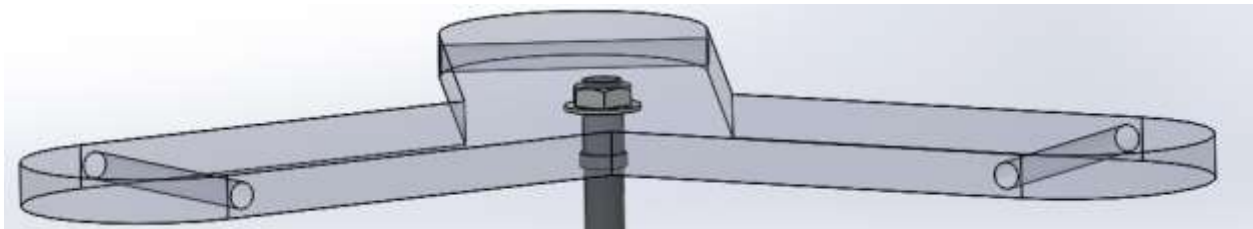


Ilustración 35. Base móvil robot delta

Fuente: Elaborado por autores

De igual manera se consideró elaborar un gripper con 4 garras con la idea de que entrara más sutilmente en las celdas de 4 paredes. Sin embargo, al momento de diseñarlo se encontraron múltiples factores que afectaban el proceso por lo tanto se decidió quedar con el gripper de 3 garras.

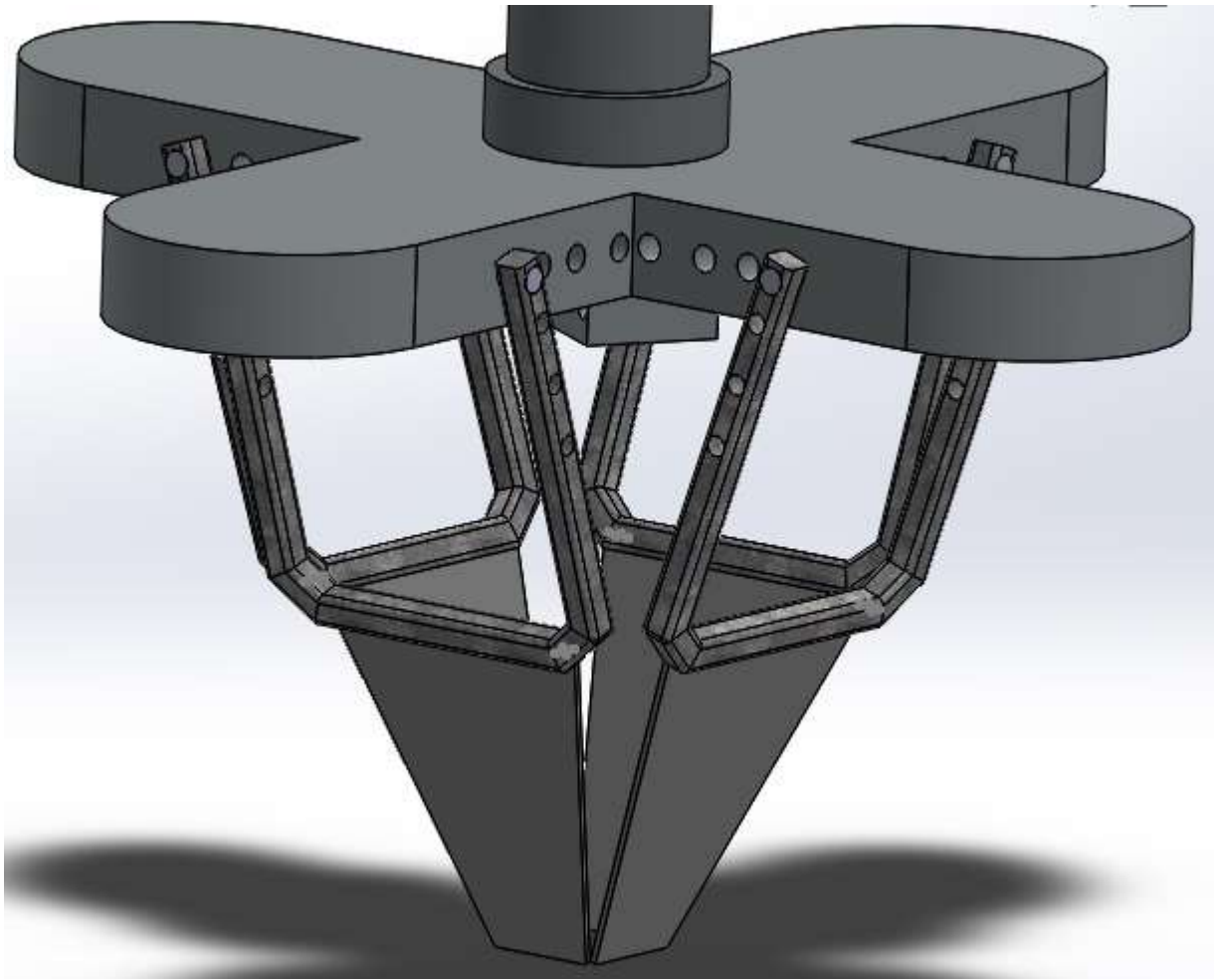


Ilustración 36. Vista general gripper 4 garras

Fuente: Elaborado por autores

Uno de los principales factores es el del ángulo de entrada a la celda, debido a que son 4 garras, para entrar deben de estar más alejadas entre sí en la base móvil del gripper, esto provocando un mayor grado de inclinación a comparación con el que cuenta cada celda por lo tanto generando colisiones entre las garras y garra pared de celda.

La separación en la base móvil del gripper es necesaria para que las 4 garras al cerrarse por el accionamiento del pistón puedan juntarse, sin embargo, a mayor distancia mayor cantidad de espacios vacíos son generados. Estos espacios dan lugar a que material de la celda salgan del gripper al cerrarse.

El precio es un factor importante en la construcción del gripper. El precio del material necesario para una garra más será considerable considerando una producción en masa, por lo tanto, un gripper con 3 garras que pueda realizar el trabajo de igual manera y por un menor costo de fabricación es más conveniente que uno de 4 garras.

4.5.3.2 DISEÑO DE SILO

Para determinar la capacidad que tendrá el silo se consideró el llenado de tierra de una bolsa que se realizan en las fincas cafetaleras promedio en Honduras, siete operarios en una jornada de trabajo de 6 am a 1 pm llenan y siembran la chapola alrededor de 150 bolsas, eso da en promedio 1000 bolsas diarias.

El silo en el proceso tiene como función principal el almacenamiento de la tierra que se utilizara para la siembra de chapolas. Se determinaron las dimensiones del silo mediante cálculos desde las dimensiones de las bolsas de polietileno hasta cuantas bolsas se llenarán por día, los parámetros establecidos fueron: la bolsa estándar de 7x11 cm, llenar 1000 bolsas por día y almacenar tierra durante 7 días seguidos sin una nueva carga. Se utilizó la ecuación 6 del volumen de un cilindro para determinar el volumen de capacidad necesaria dentro del silo.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$V = \pi \cdot 3.5^2 \cdot 11$$

$$V = 423.33 \text{ cm}^3$$

Ecuación 5. Volumen de un cilindro

Fuente: (Clemens Stanley, 2008)

$$V = \frac{\pi}{3} \cdot h \cdot (R^2 + r^2 + R \cdot r)$$

Ecuación 6. Volumen de un cono truncado

Fuente: (Clemens Stanley, 2008)

(Cruz, 2015) Afirma: "El ángulo de inclinación de las paredes de las tolvas se adopta con el fin de tener una descarga continua que proporcione el flujo de material deseado". Se estableció un parámetro de ángulo interno de 40° del silo para el continuo movimiento de la tierra al momento

de descarga, así evitando el estancamiento de la tierra y evitar que la tierra se concentre solamente en el centro. Se implementó una escalera de gato para el mantenimiento necesario del silo.

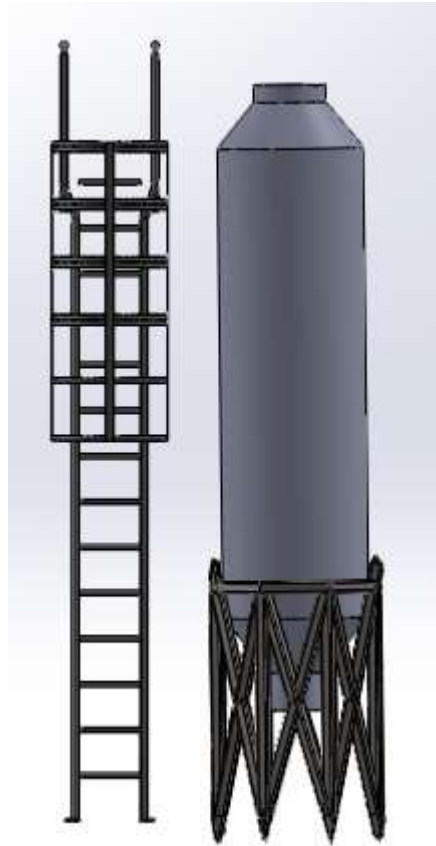


Ilustración 37. Muestra de silo

Fuente: Elaborado por autores

Se utilizó acero para la construcción del silo siguiendo las normas de diseño del BMHB, las ventajas que presenta el acero sobre otro material es que pueden ser prefabricados mucho antes que otro material; el acero será atornillado esto mejorara el desmontaje y traslación a otro lugar si es necesario. Se necesitará un revestimiento interno para el cuidado de la tierra suelta, para así mantener el estado normal de la tierra y evitar la corrosión del acero. Las láminas del silo serán unidas por medio de tornillos M30.

De los cálculos obtenidos anteriormente del volumen de tierra y utilizando la densidad de la tierra suelta Con el valor de densidad de la tierra suelta $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$ se encontró la masa utilizando ecuación 8:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Ecuación 7. Ecuación de densidad

Fuente: (Clemens Stanley, 2008)

El valor de la masa es de aproximadamente de 4.74 toneladas. Con este dato se determinó la clasificación del silo Según The British Materials Handling Board (BMHB) los silos y tolvas se clasifican:

Clase 1: silos pequeños con capacidad menor a 100 toneladas. Construcción sencilla y robusta. (Cruz, 2015).

La estructura de apoyo tiene como principal funcionamiento soportar cargas verticales del silo debido al peso del material, de la misma manera se obtiene resistencia a los movimientos laterales que produce el viento. Se tomó en cuenta la base estructural del trabajo de (Cruz, 2015) para realizar la base del silo. Consta de un octágono con el diámetro del silo, en cada uno de los nodos del octágono se colocará barras verticales y entre cada una de las barras se colocarán barras diagonales para las cargas laterales que pueda ejercer el viento. El material a utilizar en las barras es de acero estructural.

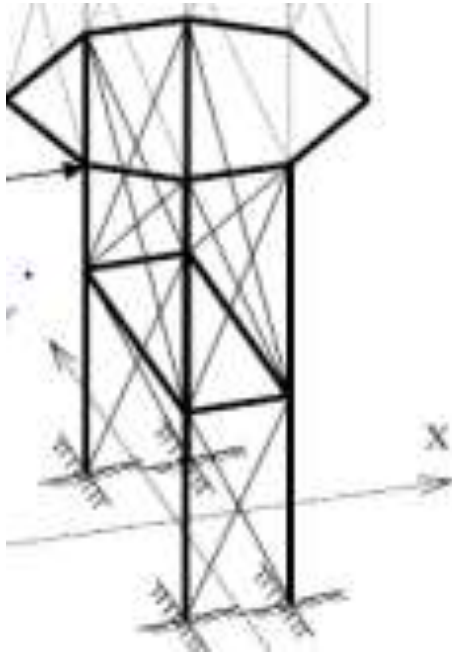


Ilustración 38. Base de acero estructural

Fuente: (Cruz, 2015)

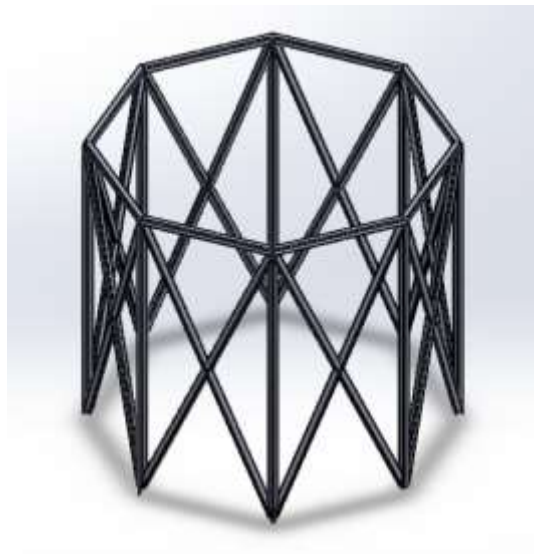


Ilustración 39. Base estructural con refuerzos diagonales

Fuente: Elaborada por autores

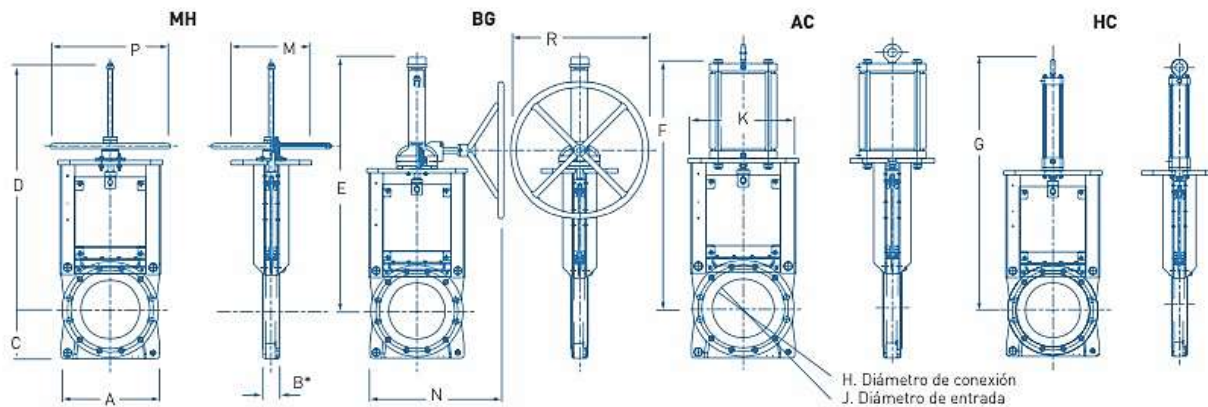


Ilustración 40. Base estructural sin refuerzos diagonales

Fuente: Elaborada por autores

La válvula guillotina se utilizó por su gran resistencia y capacidad de alta presión. Es una manera directa que descargar la tierra suelta del silo por medio de un pulsador. Se utilizó una electroválvula guillotina estándar de acuerdo a las dimensiones del diámetro de salida del silo. Se basó en tesis anteriores el uso de la válvula ya que es un buen acoplamiento para el silo. Se decidió

por la válvula KGD EM tamaño 16 ya que el diámetro de salida del silo es de 34.75 cm y se acopla de buena manera con el silo.



DIMENSIONES (pulgadas)

Tamaño de válvula NPS	A	B1*	B2*	C	D	E	F	G	H	J	K	M	N	P	R
2	6.90	2.25	2.13	4.00	19.17	22.18	21.29	22.04	1.85	2.00	7.50	5.25	15.13	12.00	12.00
3	8.00	2.44	2.25	4.88	22.35	24.09	24.70	25.20	2.81	3.00	8.75	6.39	15.75	12.00	12.00
4	9.60	2.44	2.25	4.69	24.45	25.16	26.27	27.27	3.81	4.00	10.50	6.91	16.63	12.00	12.00
6	11.00	2.68	2.50	5.75	29.45	33.02	31.63	32.51	5.80	6.00	12.63	9.13	17.68	16.00	12.00
8	13.50	3.19	3.00	7.03	34.94	36.39	37.00	37.88	7.73	8.00	14.75	10.31	18.75	20.00	12.00
10	16.40	3.25	3.00	8.23	41.07	44.30	43.91	44.79	9.74	10.00	17.50	13.38	23.87	20.00	24.00
12	19.00	3.50	3.25	9.75	-	47.52	50.13	50.76	11.73	12.00	20.38	13.45	29.06	-	24.00
14	21.00	3.50	3.25	10.77	-	52.79	53.90	54.03	12.96	13.25	22.55	14.75	30.15	-	24.00
16	23.75	4.00	3.75	11.88	-	56.53	59.07	59.20	15.00	15.25	24.47	14.75	31.11	-	24.00
18	25.50	4.06	3.76	12.13	-	66.17	68.05	68.42	17.00	17.25	26.32	17.00	30.26	-	24.00
20	28.00	5.13	4.76	14.50	-	71.79	73.97	74.10	19.03	19.25	28.06	18.88	31.13	-	24.00
24	33.00	5.19	4.76	16.50	-	85.13	87.25	88.00	23.21	23.45	35.00	18.88	34.60	-	24.00

Ilustración 41. Especificaciones de válvula guillotina Clarkson

Fuente: (Emerson, 2017)

4.5.4 SIMULACIONES PROPUESTAS

Se realizó análisis estáticos mediante SolidWorks con el peso que soportara la base estructural del silo para determinar si el diseño con la que se realizó es el adecuado. En la simulación, la carga se realizará en los puntos de las vigas como se muestra en la ilustración 42.

En cuanto al diseño del gripper de igual manera se realizó un análisis estático aplicando una fuerza de 686.7 N, por medio del pistón neumático como se muestra en la ilustración 43. Luego de aplicar la fuerza por medio de simulaciones se obtuvo tensiones, desplazamientos, y factor de seguridad los cuales se muestran en la sección de resultados lo cual determinó que diseño es el adecuado para el proceso.

4.5.5 DETERMINACIÓN DEL PRESUPUESTO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE SIEMBRA

Se realizó un presupuesto de los componentes y materiales a utilizar para la construcción del diseño a realizar, se priorizó la búsqueda de estos dentro del mercado hondureño, en el caso de que los componentes no se encuentran en el mercado local se realizaron cotizaciones de vendedores en línea. Para más detalles de los componentes y sus precios referirse a la Tabla 3. La mayoría de los materiales se encontraron en el mercado local, a excepción del robot delta, las cintas transportadoras y el PLC.

4.6 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

4.6.1 SIMULACIONES MECÁNICAS

Para comprobar la validez del proyecto se utilizó el software SolidWorks, en el cual se realizaron las simulaciones necesarias para comprobar el correcto funcionamiento del silo y gripper diseñado. Se escogió el material de acero inoxidable para las partes diseñadas y se prosiguió a realizar las simulaciones de tensión flexión para el gripper y para el silo. Se colocaron las cargas necesarias sobre el diseño del gripper como del silo, 686.47N y 6639.1 N respectivamente. Gracias a las simulaciones se obtuvieron datos como factor de seguridad, deformaciones, y puntos críticos. Comprobando de esta manera el correcto funcionamiento de las piezas diseñadas.

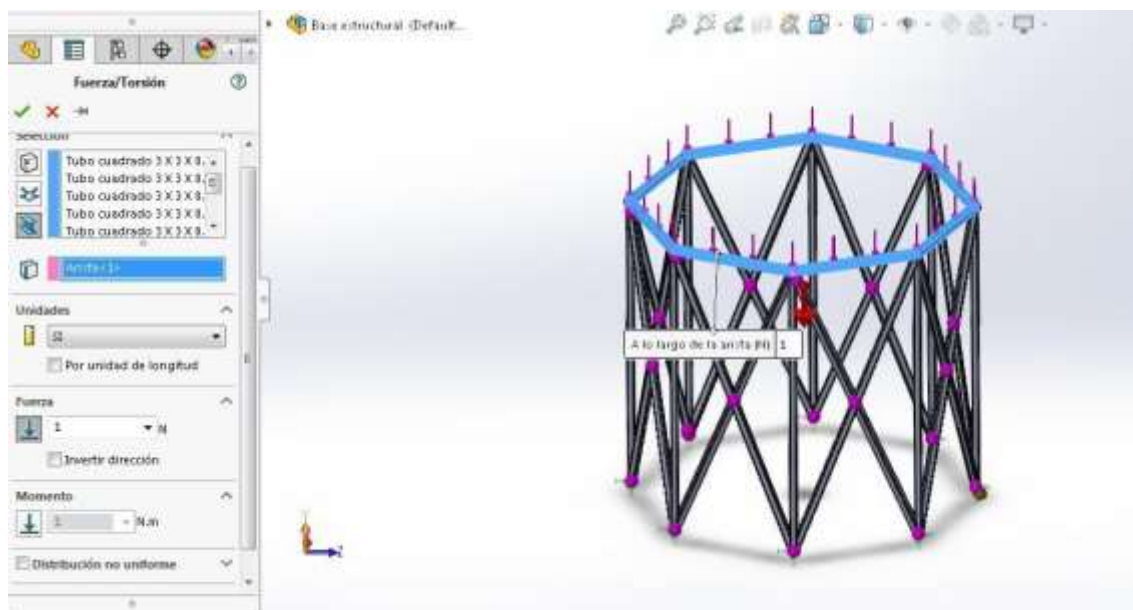


Ilustración 42. Análisis estático de la base estructural

Fuente: Elaborada por autores

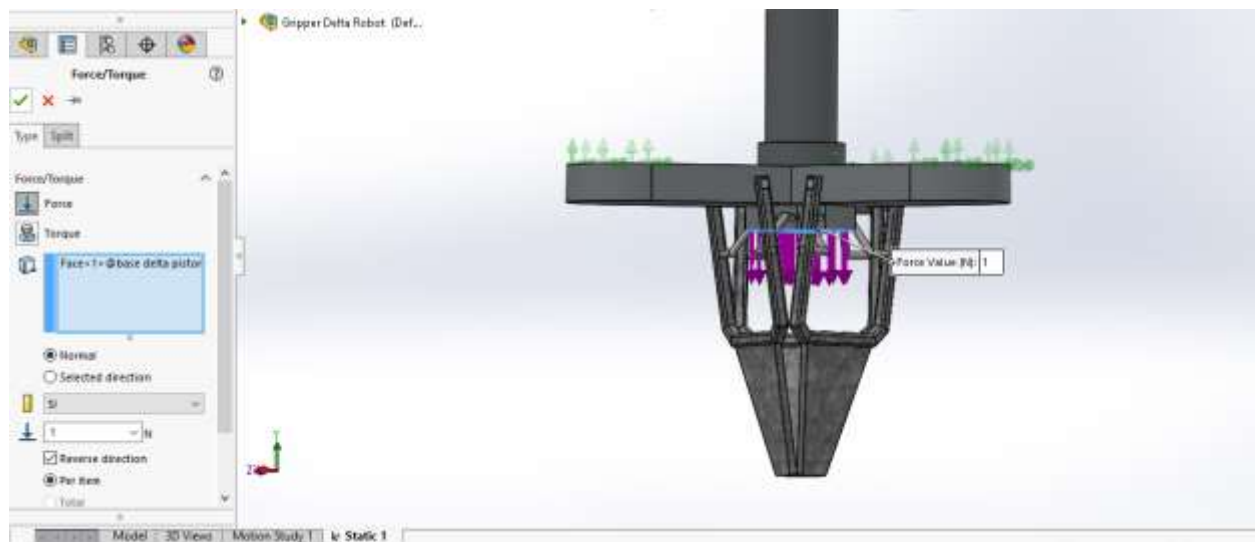


Ilustración 43. Análisis estático gripper

Fuente: Elaborada por autores

4.6.2 SIMULACIONES DE FUNCIONAMIENTO DE ACTUADORES

Por medio del software Fluidsim de Festo se logró verificar el funcionamiento de los actuadores eléctricos como motores de las bandas y electroválvula de la guillotina en el silo, y actuadores neumáticos entre los cuales se encuentran los pistones del gripper.

4.6.3 SIMULACIONES DE CONTROL

En cuanto al área de control, por medio del software de programación Concept de Schneider se logró realizar la programación en ladder para el control de todo el proceso de siembra de chapola utilizando el simulador proporcionado por el software para ver cuando las salidas se activan como se muestra en la ilustración 44. De esta manera se verifico que todos los actuadores estaban trabajando de acuerdo a la programación asignada para realizar todo el proceso del sistema automatizado de siembra de chapolas.

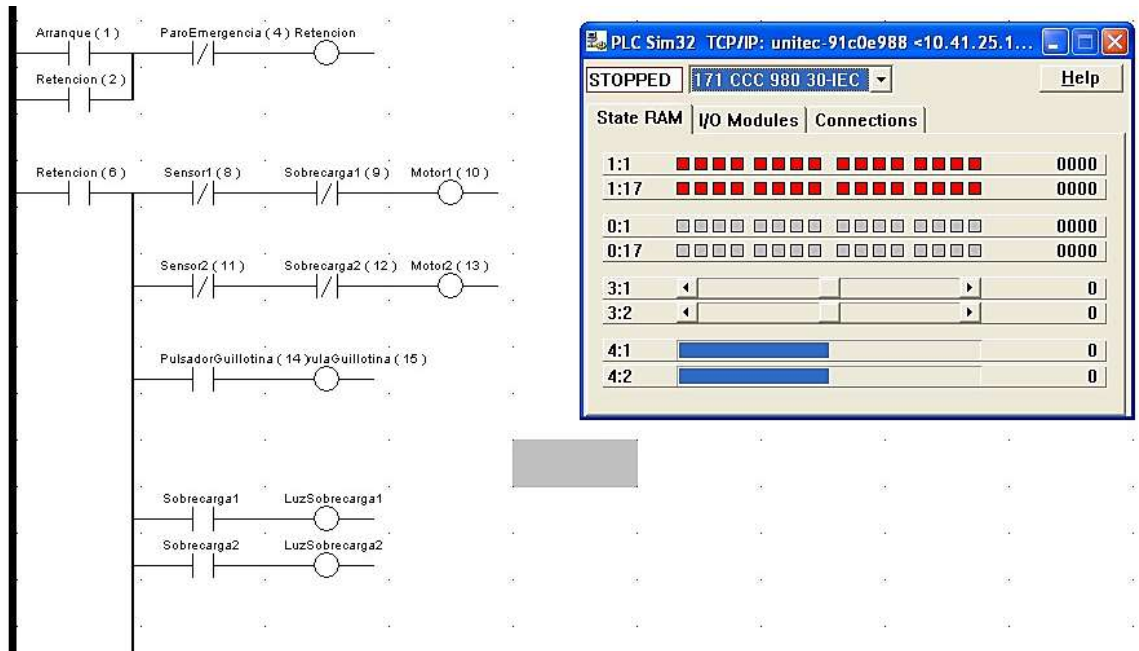


Ilustración 44. Simulación en Concept del sistema control

Fuente: Elaborada por autores

4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 4. Cronograma de actividades

Actividades	Comienzo	Fin	Duración (días)
Identificación de la problemática	5-oct	9-oct	4
Investigación y obtención de datos	9-oct	25-oct	16
Diseño del Gripper	28-oct	14-nov	17
Diseño del Silo	30-oct	15-nov	16
Elección de los actuadores	19-nov	21-nov	2
Diseño de circuito eléctrico	22-nov	30-nov	3
Diseño diagrama de control	20-nov	30-nov	8
Elaboración de planos	1-dic	5-dic	4
Análisis de resultados	1-dic	6-dic	5
Definición de presupuesto total	14-nov	4-dic	21

Fuente: Elaborada por autores

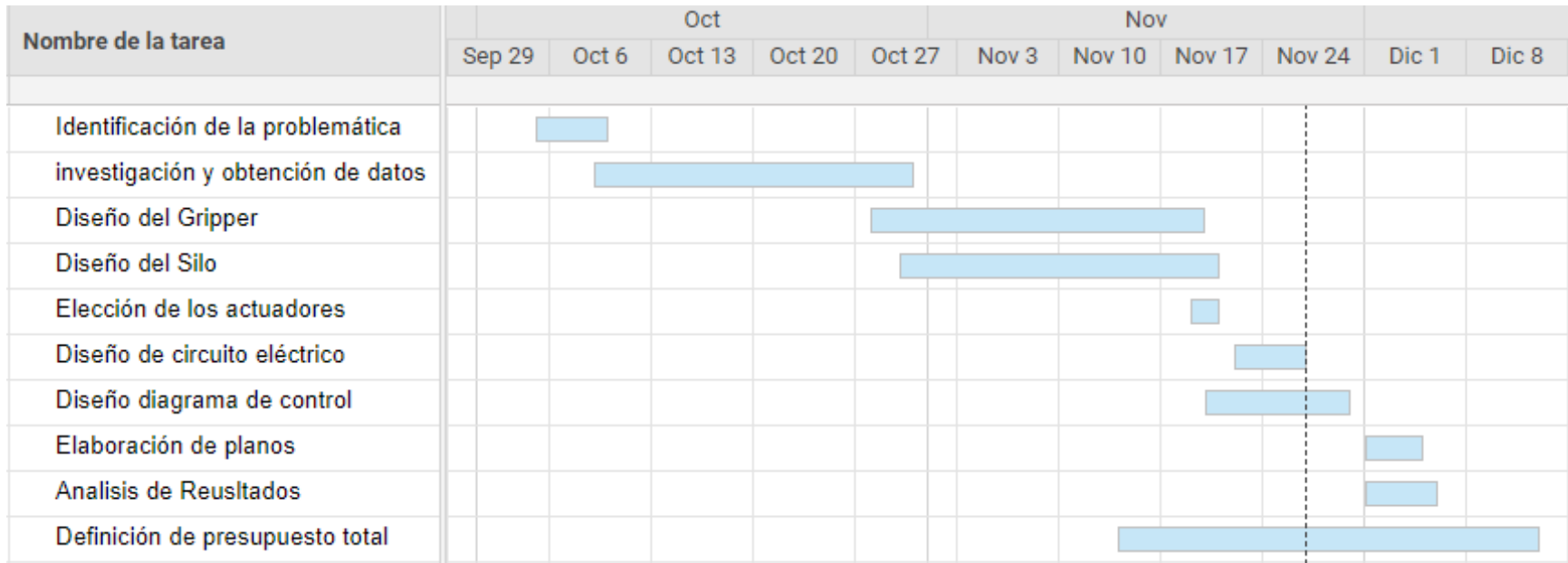


Ilustración 45. Diagrama de actividades

Fuente: Elaborada por autores

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 ANÁLISIS DE PROTOTIPOS

Se analizaron cuatro documentos de prototipos con tecnologías similares a las aplicadas en el sistema automatizado de siembra de chapola diseñado, en donde cada uno utilizaba un robot para completar una tarea. Dos de estos documentos hacen uso de robot deltas, en uno de ellos en el proceso de fabricación de rollos de papel, los dos restantes se enfocan en agricultura, uno en un gripper utilizado en la siembra de hortícolas y el último en un robot para la siembra de granos de maíz.

Se tomó de cada prototipo estudiado ideas de diseño, así como características en el agarre del gripper, fuerza a utilizar, y materiales utilizados los cuales son especificados en cada uno de los prototipos. En cada proyecto se brinda resultados positivos los cuales fueron estudiados, como cálculos cinemáticos de movimiento y simulaciones en el software Simulink.

De igual manera se realizó una investigación bibliográfica en revistas científicas, páginas web, y libros para completar así la recopilación de datos para diseñar el proceso de automatizado de siembra.

Se basó el diseño de los prototipos del silo y gripper de las siguientes tesis:

- Desarrollo de un robot delta tipo KEOPS con estructura modificable (Riaño, Peña Cortes, & Pardo Garcia, 2013).
- Construcción de un prototipo de robot sembrador de maíz (Camilo Bernal, Florez Gonzales, & Gutierrez Ortiz, 2015)
- Robotización del proceso de injerto de plántulas hortícolas (Rodríguez Sánchez, 2017)
- Prototipo de robot en la producción de rollos de papel (LUIS FERNANDO LOPEZ ISAZA, 2015).

5.2 SISTEMA DE CONTROL

Se realizó el diseño de control para el funcionamiento correcto del proceso de siembra automatizado. Se desarrolló el sistema de control para la parte neumática como eléctrica, con el uso de distintos softwares.

5.2.1 SISTEMA DE CONTROL NEUMÁTICO

Por medio del software Fluidsim Neumático de Festo se realizaron los estudios del sistema de control neumático del prototipo. Para ello se utilizó un pistón neumático de doble efecto, una válvula neumática 4/2 activada por solenoide y con retorno de resorte para el control del pistón, una unidad de mantenimiento la cual contienen filtro de aire, indicador de presión, y una válvula reguladora. Finalmente tiene una fuente de aire o compresor que alimenta el sistema. En la ilustración 46 se muestra los componentes previamente detallados.

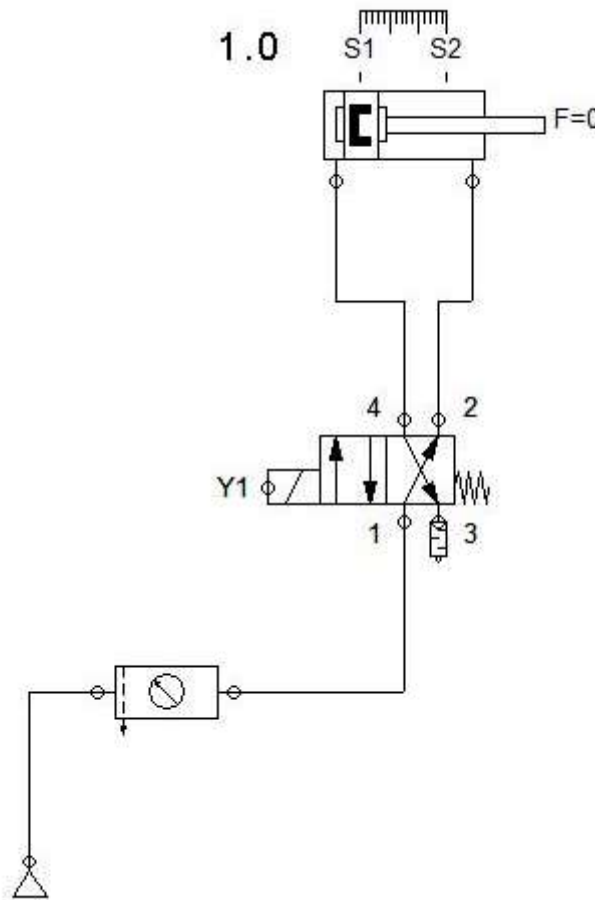
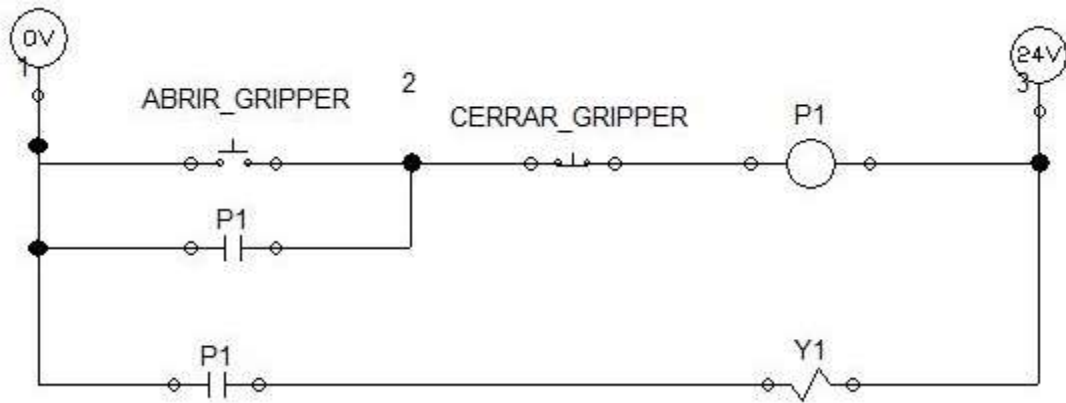


Ilustración 46. Componentes Neumático

Fuente: Elaborada por autores

Para controlar el desplazamiento del vástago del pistón neumático se utilizó el PLC para lograr su control a través de la válvula neumática, con el uso de programación ladder para asignar los

desplazamientos al activar las entradas necesarias. Para una mejor prueba del pistón, se utilizaron pulsadores para lograr el abrir y cerrar del gripper.



Fuente: Elaborada por autores

Ilustración 47. Ladder control neumático

Se logro comprobar las trayectorias neumaticas al presionar los botones de abrir y cerrar gripper como se muestran en la ilustración 48.

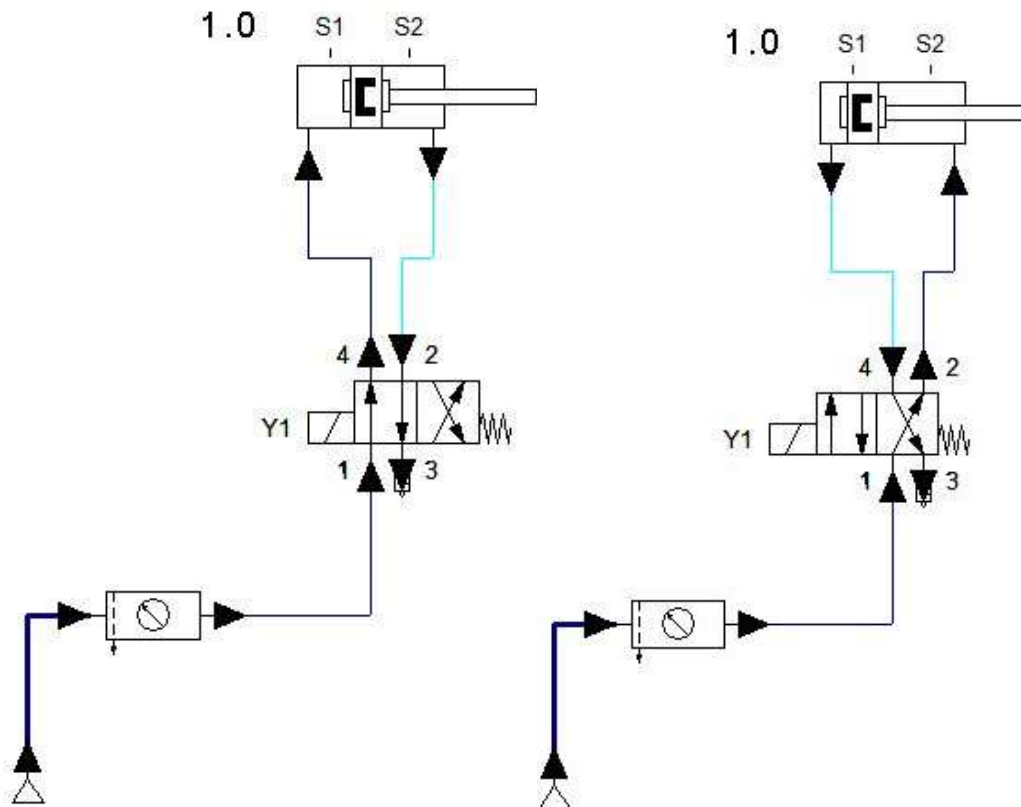


Ilustración 48. Estado gripper abierto y cerrado

Fuente: Elaborada por autores

Por medio de Fluidsim se obtuvo el diagrama de desplazamiento y velocidades del vástago del pistón al ser accionado, se puede apreciar en la ilustración 49.

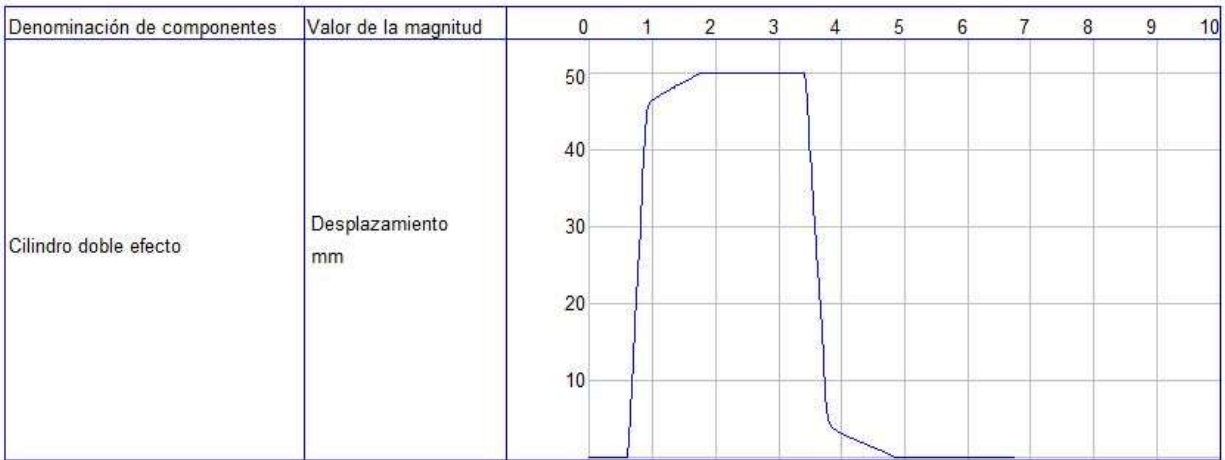


Ilustración 49. Diagrama de desplazamiento

Fuente: Elaborada por autores

Se utiliza un desplazamiento máximo de 50 mm que es lo necesario para abrir y cerrar las garras del gripper al retirar la chapola de la cell tray.

De igual manera se obtuvo el diagrama de velocidades del vástago del pistón como se muestra en la ilustración 50.

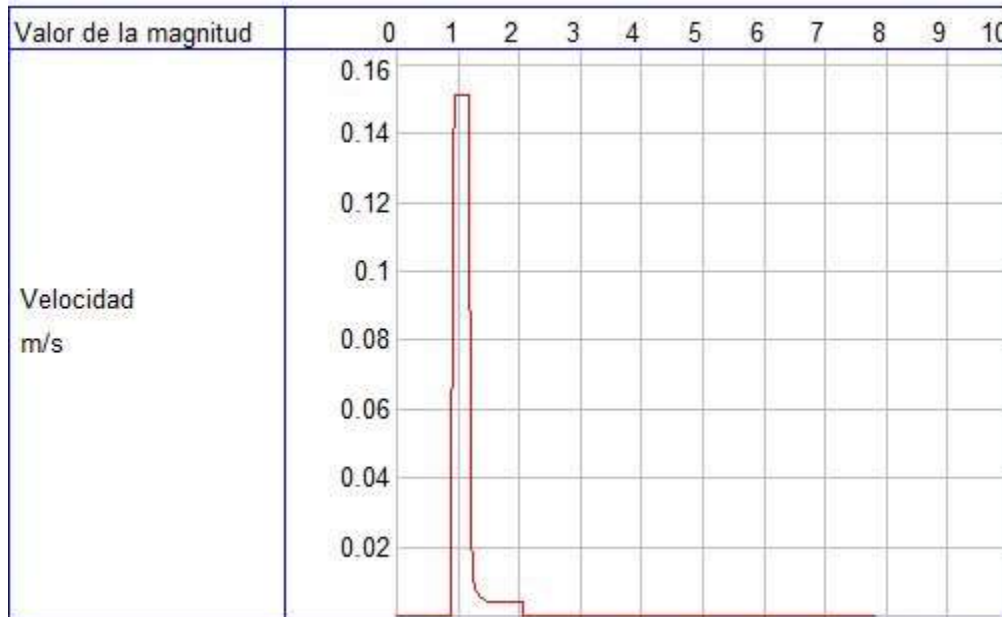


Ilustración 50. Diagrama de velocidad

Fuente: Elaborada por autores

En el diagrama se puede ver las velocidades obtenidas al ser cerrar y abrir las garras del gripper, con velocidades máximas de 0.15 m/s al realizar el accionamiento del pistón.

5.2.2 SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO

Ya que en el sistema solo se utilizan dos componentes de una potencia mayor a los 24 voltios se optó por hacer las pruebas eléctricas solo en los motores de las bandas, se midieron las corrientes en cada uno de los motores y el voltaje, para realizar esta prueba se utilizó el software de Proteus Demonstration para simular la prueba eléctrica como se puede ver en la configuración de la ilustración 51.

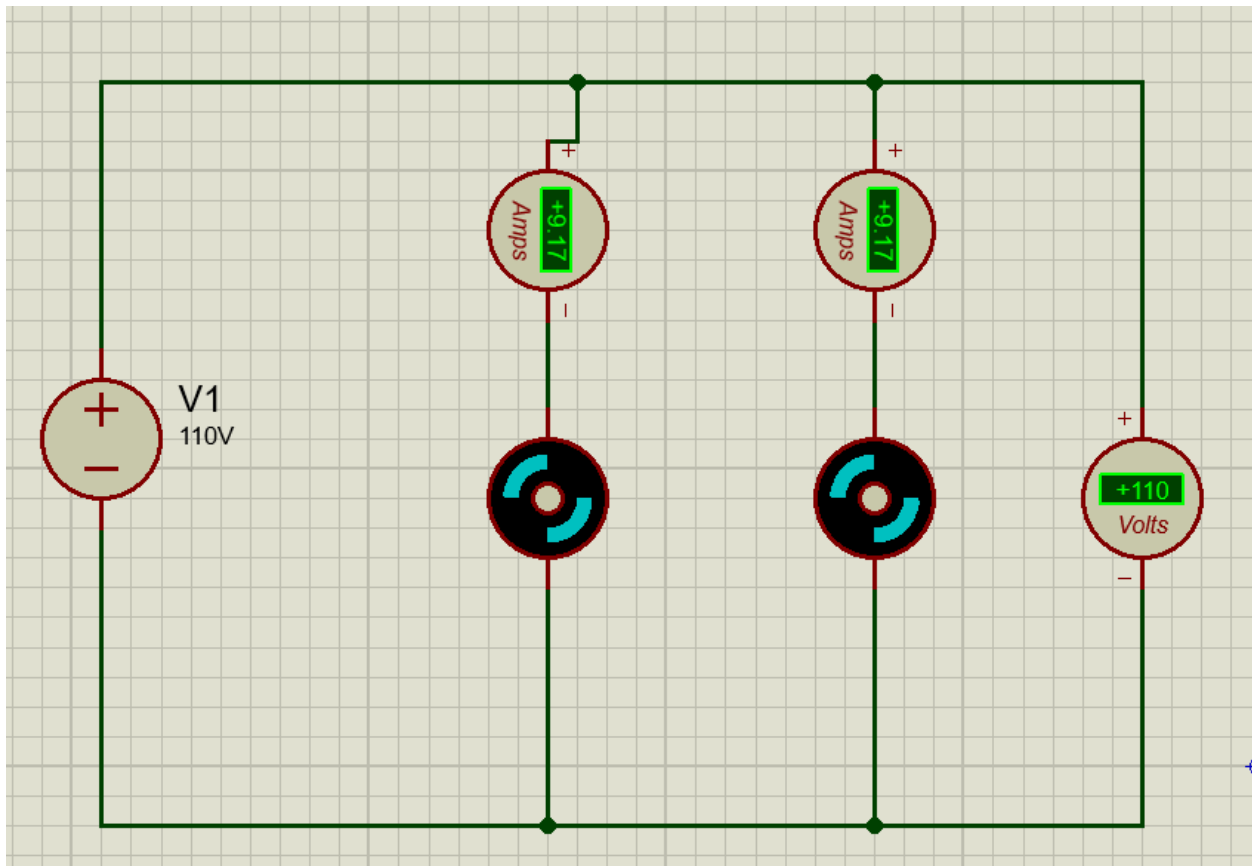


Ilustración 51. Prueba eléctrica de los motores de la banda transportadora

Fuente: Elaborada por autores

Se puede observar en las pruebas eléctricas que los motores mantienen un voltaje de 110V, los necesarios para trabajar adecuadamente con una corriente aceptable dentro del rango de la hoja de fabricación de los motores; la corriente que circula por los motores es de 9.17 A. La fuente de

alimentación será proporcionada por la línea monofásica de 110V. los motores contarán con su respectivo fusible por cualquier fallo u emergencia.

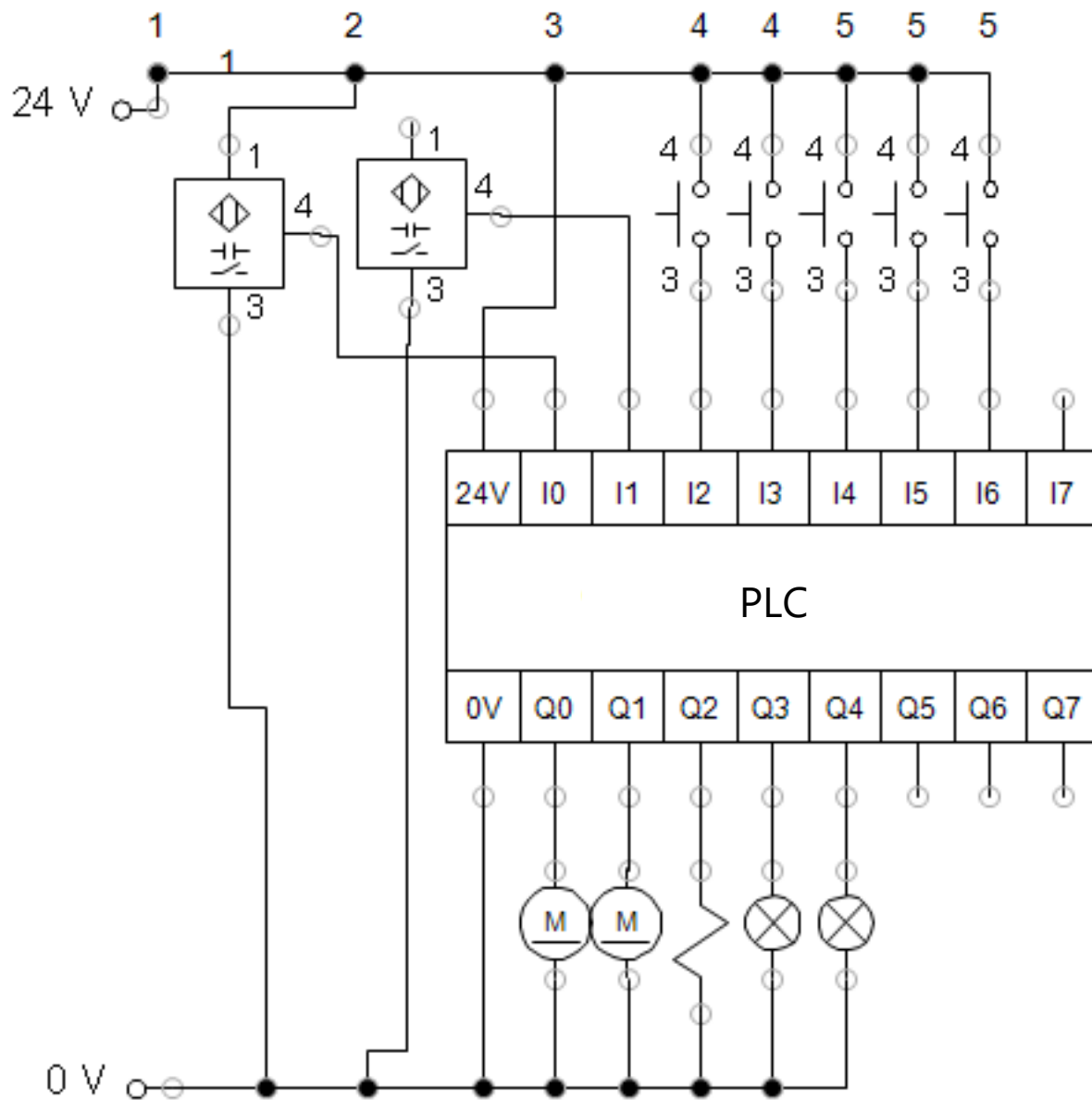


Ilustración 52. Diagrama eléctrico de motores de banda transportadora.

Fuente: Elaborada por autores

El diagrama eléctrico muestra las conexiones de como estarán los motores, estos funcionan como esta descrito anteriormente en la subsección de etapa de transporte de la sección de sistema de control, las entradas I2 e I3 dedicada a la sobrecarga de los motores, del I4 al a I6 dedicado a los botones de arranque, paro de emergencia y botón de la guillotina. Las salidas Q0 y Q1 para los

motores de la banda, Q2 para la señal a la válvula de guillotina, y Q3 y Q4 para la señalización de la activación de sobrecarga.

5.3 DISEÑO DE GRIPPER Y SILO

Se realizó el diseño de un gripper que se adecuara a las necesidades del proceso de siembra, el diseño completo se puede ver en la ilustración 29. Se optó por un diseño en V como lo muestra la ilustración 34, de esta manera logrando un mejor agarre de la chapola, y al unirse con la base de sujeción superior mostrada en la ilustración 33 se logra una garra que no daña a la planta al ser retirada de su recipiente en el cell tray. Los planos del diseño se encuentran en la sección de anexos, desde anexo 7 al anexo 13.

5.4 ANÁLISIS ESTÁTICO

5.4.1 ANÁLISIS ESTÁTICO GRIPPER

Se realizó el análisis estático para el diseño del gripper, se estableció como sujeción fija el contacto entre la base móvil y el cuerpo del pistón neumático. En cuanto a la fuerza que ejerce el pistón neumático se obtuvo de las especificaciones del fabricante, obteniendo una fuerza máxima de 686.7 Newton, con una presión de 145 psi. El pistón neumático transmite esa fuerza por medio de la base delta pistón que se muestra en el anexo 11, hacia las garras del gripper anexo 12, logrando así el abrir y cerrar del gripper. Por lo tanto, se aplica una fuerza de 686.7 N en la base móvil delta en la simulación en el análisis estático.

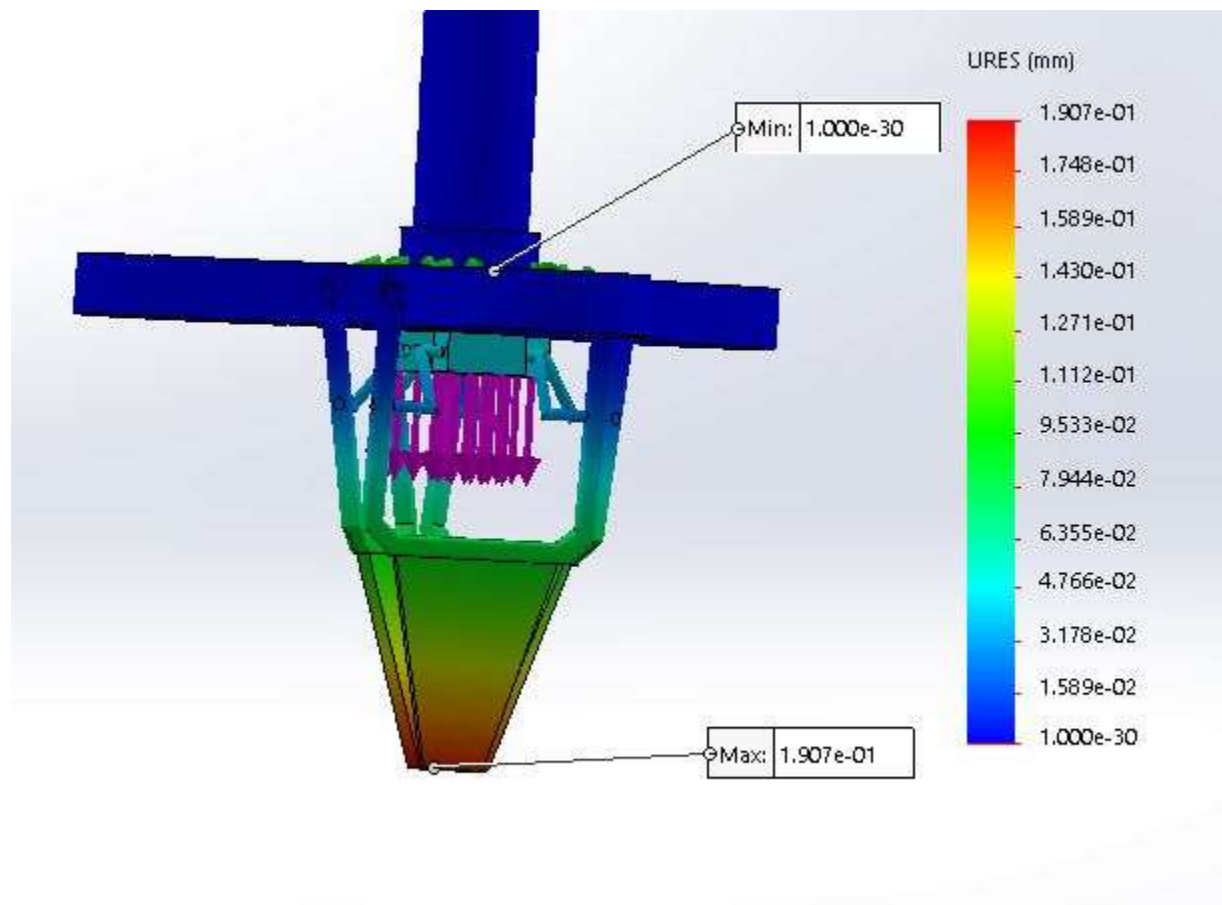


Ilustración 53. Análisis de desplazamiento gripper

Fuente: Elaborada por autores

El resultado del análisis de desplazamiento muestra un máximo de .1907 mm en el extremo inferior de la garra gripper, esto debido a las fuerzas ejercidas al ingresar a los cell trays y retirar la chapola de café. El agarre entre las tres garras crea una mayor deformación de igual manera debido a que la parte inferior solo tiene una longitud de 1.5cm de ancho, en comparación con los 4.5 cm que tiene la parte superior, de la garra que se introduce en el cell tray.

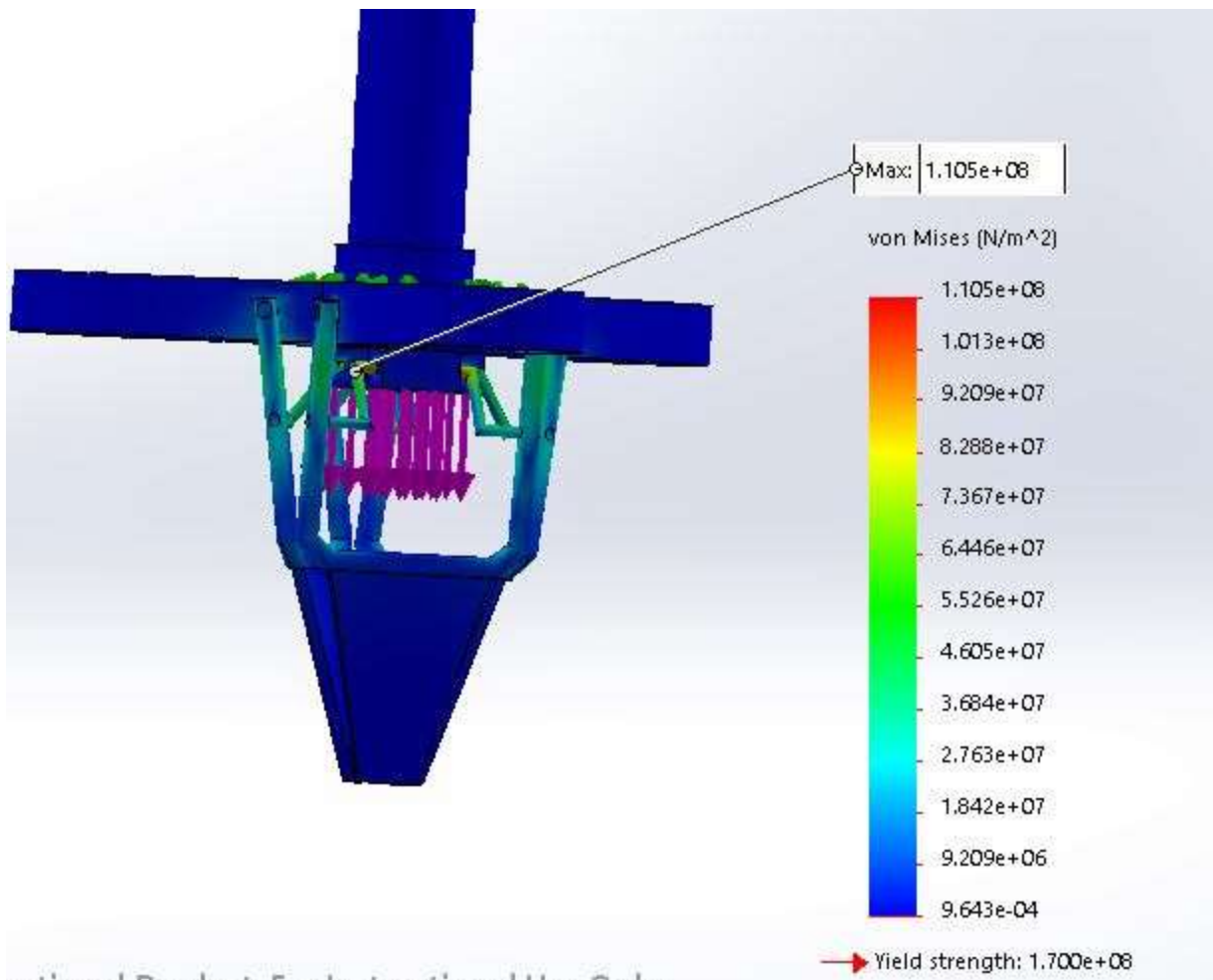


Ilustración 54. Análisis de tensiones gripper

Fuente: Elaborada por autores

Se realizó el análisis de los resultados de las tensiones obtenidas en las simulaciones. La tensión máxima siendo de $1.105e^{+08} \text{ N/m}^2$, las cuales se encuentran en los pines de presión ya que transmiten la fuerza del pistón a las garras del gripper. La base móvil y extremo inferior presentan las tensiones mínimas.

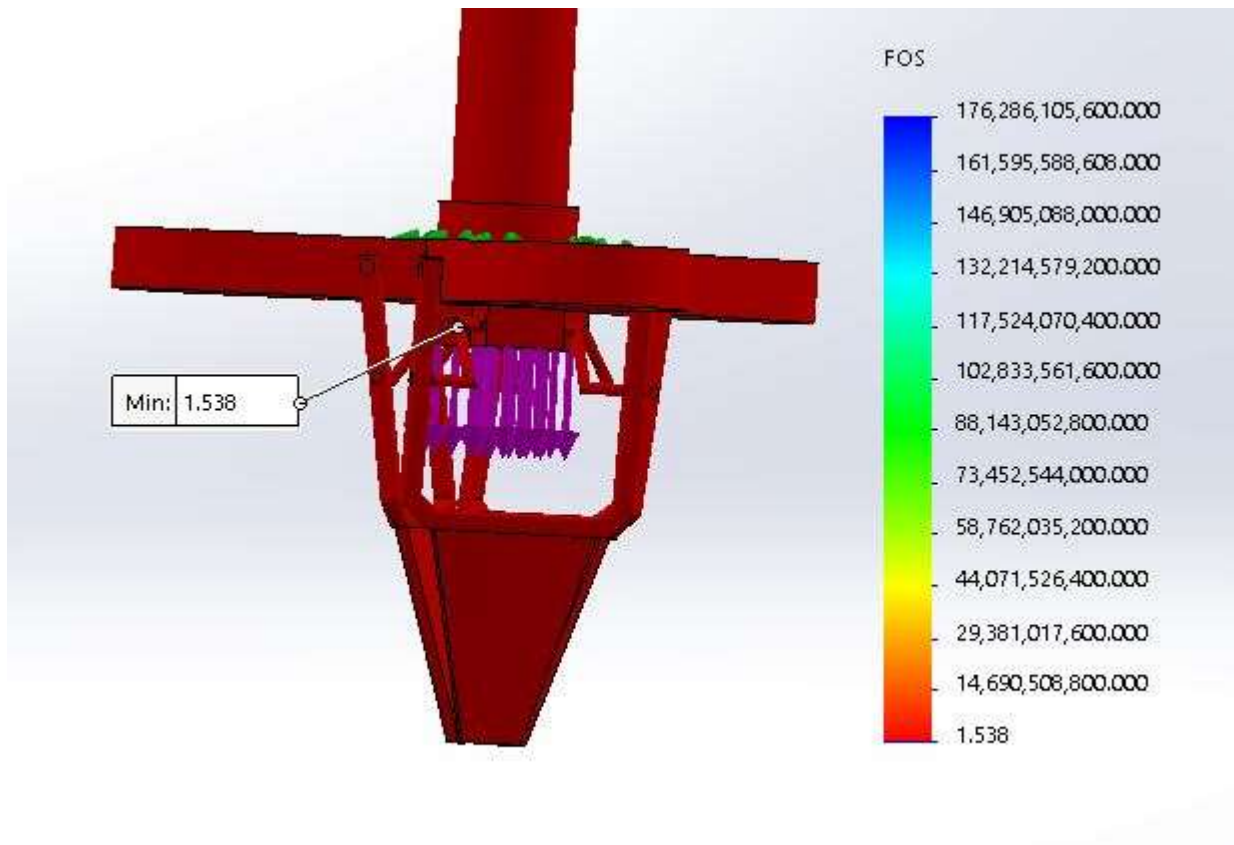


Ilustración 55. Factor de seguridad gripper

Fuente: Elaborada por autores

En cuanto al el resultado del factor de seguridad da un valor de 1.5, por lo tanto, la estructura cumple con su función, la cual no está sobredimensionada y al aplicar las fuerzas y presiones máximas establecida trabaja adecuadamente.

5.4.2 ANÁLISIS ESTÁTICO SILO

Establecimos la base de la estructura del silo como una forma hexagonal con tubos verticales y diagonales de 3x3 pulgadas para mayor soporte. Al momento de realizar los análisis estáticos a la base estructural con el peso de 6,639.1 N de la ecuación 8 y la gravedad resulto que estaba sobredimensionada con un factor de seguridad de 37.

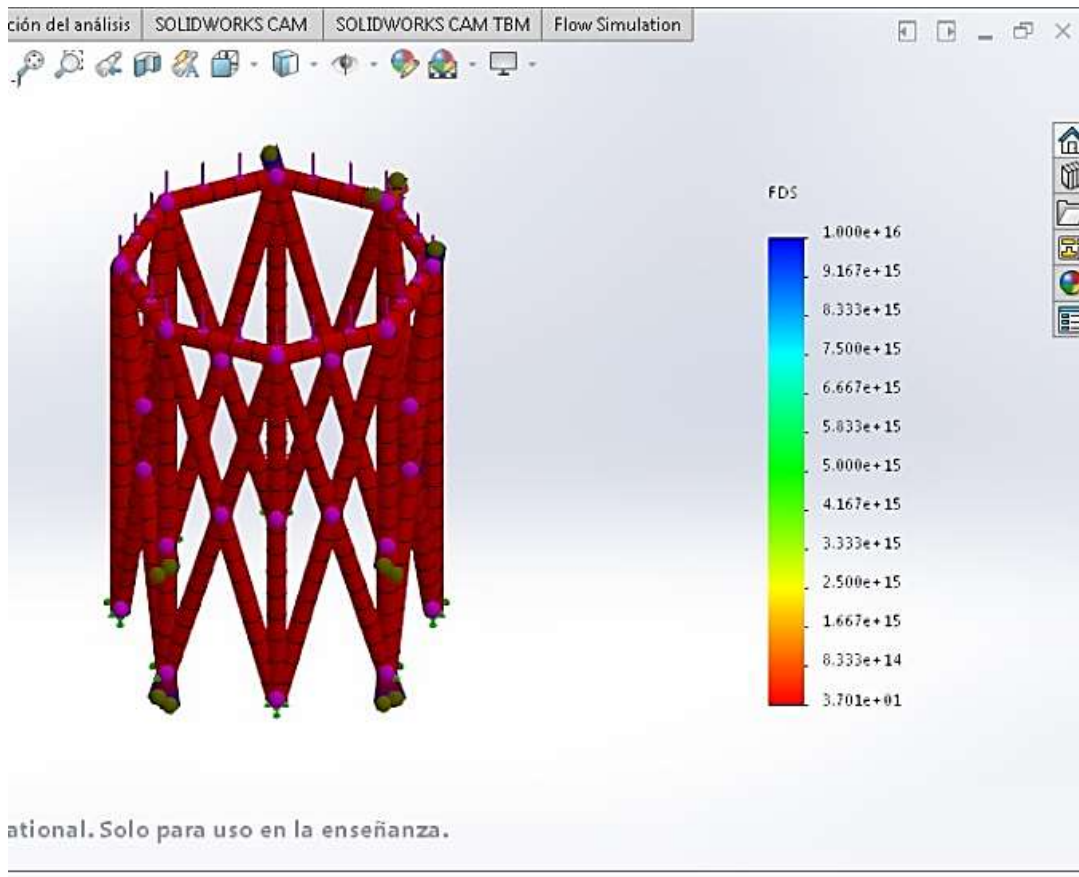


Ilustración 56. Factor de seguridad

Fuente: Elaborada por autores

Se realizaron los cambios para adecuar la base a lo necesario del peso indicado por lo tanto se rediseño la base estructural en donde se removieron los tubos diagonales, algunos tubos verticales y se cambiaron los demás a tubos estructurales de 2x2 pulgadas en donde se obtuvieron mejores resultados tales como el factor de seguridad de 3.5, por la tanto la base estructural puede soportar una carga máxima de 23,270 N. Debido a este cambio, se logró un diseño simple y la reducción los costos del proyecto y así mismo cumpliendo con los soportes de la estructura de acuerdo al peso indicado.

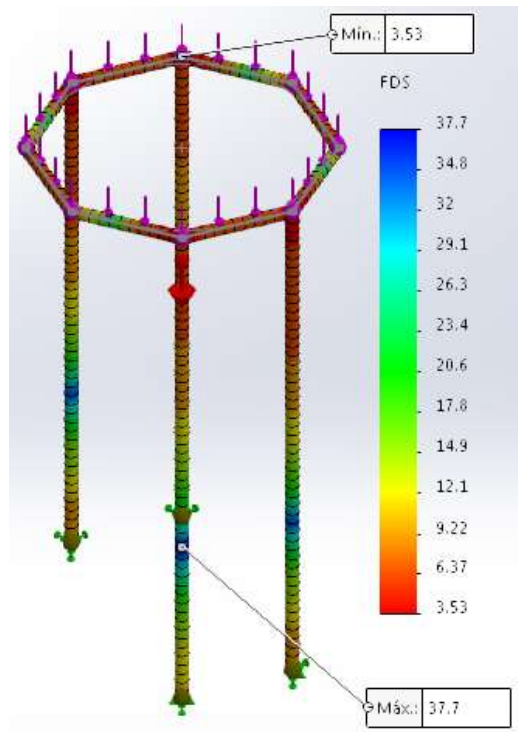


Ilustración 57. Factor de seguridad prototipo final

Fuente: Elaborada por autores

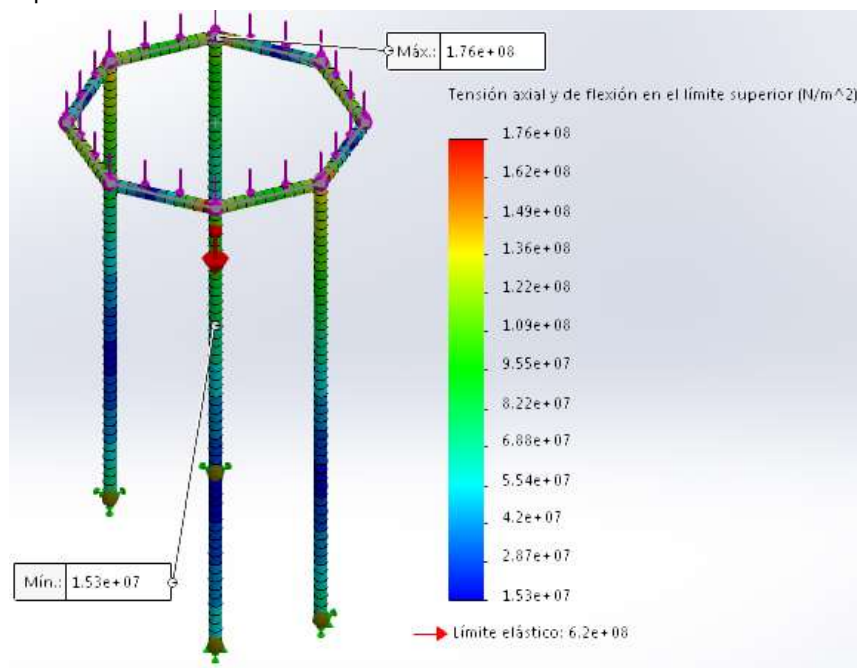


Ilustración 58. Tensiones máximas y mínimas del silo

Fuente: Elaborada por autores

Como se puede observar en la ilustración 59, se distribuyó el peso en las juntas en donde se conectan los tubos verticales y los tubos en forma hexagonal. con una tensión máxima de $1.75 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ En esos puntos es donde mayor tensión tendrá la base estructural debido a que las cargas axiales ejercen mayor esfuerzo producidas por el peso del silo y el peso de la gravedad.

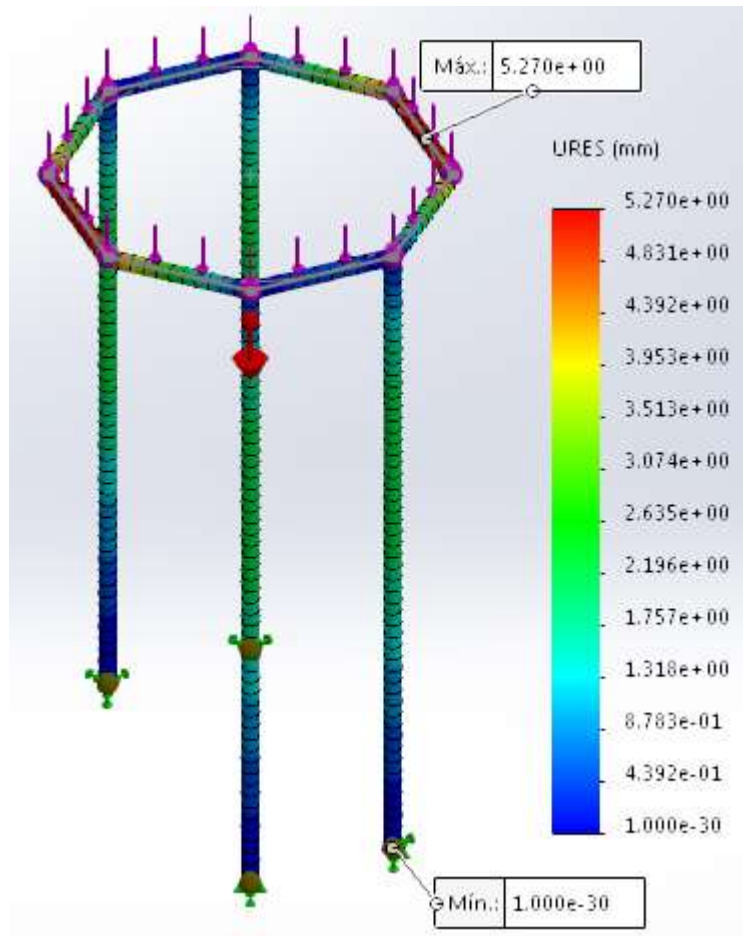


Ilustración 59. Análisis de deformación silo

Fuente: Elaborada por autores

Se puede observar las deformaciones máximas que tiene la base estructural, con una deformación máxima de 5.36 mm, las deformaciones son en las partes laterales donde no se encuentran los tubos verticales. Considerando estos resultados el diseño de la estructura se encuentra en los rangos aceptables según la BMHB.

5.1 PRESUPUESTO DE DISEÑO

El costo total de los componentes da como resultado Lps. 250,200 en este solo se toma en cuenta el costo de los materiales necesarios para el proyecto. El precio de los componentes se encuentra más a detalle en la sección de materiales descrita anteriormente. Para comparación se toma en cuenta otra maquinaria utilizada en el proceso de café como una secadora de café de 100 quintales con un precio de Lps.500,000 y una despulpadora ecológica Lps.550,000 (Menendez, 2019), se estima que con los costos agregados por envió y mano de obra el diseño rondara en precios similares.

VI. CONCLUSIONES

- Se logró realizar la línea automatizada para la siembra de chapola de café, iniciando con el proceso de llenado de bolsas por medio del silo, luego por medio del gripper diseñado, la resiembra de las chapolas a través de su traslado de las cell trays a las bolsas llenadas.
- Se realizó el análisis de cuatro proyectos de prototipos de similar tecnología y características, recopilando la información de mayor relevancia, utilizándola en el desarrollo del diseño del sistema de siembra.
- Se diseñó el sistema de control del proceso de la línea de siembra de chapola de café por medio del software de Concept, en donde se realizó la programación necesaria y gracias a su simulador se comprobó el funcionamiento del sistema.
- Se realizó el diseño del gripper para realizar la siembra dentro de una cell tray donde cada celda es un cuadrado de 38.41 mm por lado.
- Se diseñó la base estructural para el silo con un factor de seguridad de 3.5 y soporta una carga máxima de 23,270 N.
- Se logró realizar las simulaciones estáticas del gripper y el silo, lo cual ayudo para comprobar el diseño al ser expuesto a cargas sometidas de 686.7 N y 6639.1 N respectivamente.
- Se designó un presupuesto de Lps. 250,200 para el diseño del sistema automatizado de siembra de chapolas de café, donde se incluyen los materiales a utilizar, sin incluir mano de obra ni costo energético.

VII. RECOMENDACIONES

- Utilizar reguladores de presión neumática para tener un mejor control de los pistones utilizados.
- El material a almacenar en el silo debe de ser tierra suelta, para mayor facilidad de llenado de las bolsas y un mejor desarrollo de la chapola una vez sembrada de las cell trays a las bolsas.
- Agregar un embudo luego de la válvula de guillotina para facilitar el llenado de las bolsas para café.
- No sobredimensionar la base estructural del silo, realizar el estudio necesario y ajustar las medidas de acuerdo a las especificaciones del peso del silo.
- Utilizar un gripper de 3 garras ya que este brinda un mejor agarre y un menor gasto en material y presupuesto.
- Se utilizó un ángulo de silo de 40 grados de esta forma evitar estancamiento de la tierra, sin embargo, para tierra más húmeda dentro del silo utilizar un mecanismo ya sea un tornillo sin fin para el continuo movimiento de la tierra.

VIII. IMPLEMENTACIÓN

El proyecto puede ser implementado en cualquier zona cafetalera mayor a 5 manzanas en el país, en donde los dueños busquen de la resiembra de plantas en su terreno. El diseño fue creado para chapolas de café, pero gracias a que el diseño del gripper da una libertad de altura máxima de la planta de 67.5mm, si la chapola de otro cultivo es menor a esta altura también podrá utilizar el prototipo. Por ejemplo, siembras de maíz y frijoles, cultivos que presentan una altura máxima de chapola menor a la del café. Únicamente modificando los parámetros de diseño del sistema automatizado.

Debido a los componentes electrónicos y actuadores eléctricos con los que cuenta el diseño, todo el sistema deberá de estar en un lugar cerrado como una bodega. La altura de la instalación deberá de ser mayor a 4 metros, adecuada a la altura del silo.

IX. TRABAJO FUTURO

A pesar de haber realizado el diseño del sistema automatizado de siembra de chapola, es de vital importancia comprobar su funcionamiento por medio de la construcción física en un futuro.

Una mejora a realizar en el proyecto sería implementar un diseño donde se puede realizar el llenado de más de una bolsa a la vez, como se muestra en el anexo 2. Implementar el diseño en distintos campos, para así lograr realizar su estudio con chapolas distintas a las de café, de esta forma, comprobar si el diseño se acopla a distintos cultivos.

El diseño no cuenta con una interfaz gráfica, por lo tanto, una versión mejorada del proyecto sería la implementación de una HMI.

BIBLIOGRAFÍA

1. Amazon . (18 de Agosto de 2014). Obtenido de Amazon: <https://www.amazon.in/Robodo-Electronics-Tower-Micro-Servo/dp/B00MTFFAE0>
2. Berthold, H. (2014). *Understanding Image Intensities*. Massachussets.
3. BIRTLH. (25 de Octubre de 2013). *Representación de esquemas de automatización*. Obtenido de Ikastaroak: http://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/RGFM/RGFM03/es_DFM_RGFM03_Contenidos/website_141_lenguaje_de_programacin.html
4. Blacells, J., & Romeral, J. L. (2013). *Automatas Programables*. Barcelona: Marcombo.
5. Bolton, W. (2013). *Mecánica* . Mexico: Alfaomega.
6. Braulio José Cruz Jiménez, R. J. (2018). *ANÁLISIS Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARALELO TIPO DELTA DE TRES GRADOS DE LIBERTAD*. Mexico: Pistas Educativas.
7. Camilo Bernal, J., Florez Gonzales, J. C., & Gutierrez Ortiz, J. A. (2015). *CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROBOT SEMBRADOR DE MAÍZ AGROBOT II*. Bogota.
8. Castro, A. (2016). *Germinadores de Cafe*.
9. CENICAFE. (2015). Obtenido de https://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/plagas
10. Cerrado, D. E. (21 de Febrero de 2016). Obtenido de <http://sistemadelazoabiertoycerrado.blogspot.com>
11. Churta, A. U. (2016). *DISEÑO DE UN ROBOT DELTA PARA EL POSICIONAMIENTO DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS EN CIRCUITOS IMPRESOS DURANTE SU COMPONENTES ELECTRÓNICOS EN CIRCUITOS IMPRESOS DURANTE SU*. Santiago de Cali: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE.
12. Clemens Stanley, S. M. (2008). *Geometria y Trigonometria*. Mexico: Pearson Education.

13. Cruz, J. A. (2015). *ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DE UN SILO METÁLICO PARA CEMENTO*. Veracruz: Instituto Tecnológico de Celaya, Departamento de Ingeniería Mecánica.
14. Diego Edissón Flórez Vergara, F. C.-R.-E. (2016). *Planeación y ejecución de trayectorias en el espacio de trabajo para un robot delta*. Tunja, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
15. DIEGO FERNANDO ORTEGA PERALVO, F. S. (2016). *DISEÑO DE UN SILO DE FONDO CÓNICO PARA ALMACENAR MAÍZ CON CAPACIDAD DE 25 TONELADAS CON CARGA Y DESCARGA*. Quito: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
16. Emerson. (2017). *CLARKSON MODELO KGD VÁLVULAS DE GUILLOTINA PARA LODOS*. Mexico.
17. Escudero Astudillo, P. A. (2016). *Diseño de un Silo Dosificador para Pasto de Baterías*. Chile.
18. FIAGRO. (2018). *Manual de Caficultura Orgánica para el Productor*. El Salvador.
19. FNCC. (2015). *Cuidado y tratamientos en el grano de Café*. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo4.pdf>
20. García, J. C. (2006). Tecnología avanzada del diseño y manufactura asistidos por computador - CAD/CAM. *PROSPECTIVA*, 1-8.
21. Gomez, M. (19 de Marzo de 2014). *Los Silos en las Empresas u Organizaciones*. Obtenido de EOI: <https://www.eoi.es/blogs/mtelcon/2014/03/19/los-silos-en-las-empresas-u-organizaciones/>
22. Gonzales, C. (2015). *Producción de Café en Honduras*. Obtenido de http://oa.upm.es/959/1/PFC_CESAR_GONZALEZ_DE_MIGUEL.pdf
23. Héctor Santiago, V. G. (2015). *Diseño de un Silo para Almacenamiento de Cemento*. Riobamba.
24. Hibbeler. (2009). *Dinámica*. Mexico: Pearson Education.




25. Horacio Orozco Mendoza, J. L. (2013). *Diseño, construcción e implementación de un sistema de control para la manipulación de un robot delta*. Mexico: Pistas Educativas.
26. IHCAFE. (2018). *Análisis de la cadena de valor de café Honduras*. Tegucigalpa.
27. IHCAFE. (2018). Exportaciones. *Instituto Hondureño del Café*.
28. INE. (2018). *Importancia del café en la economía Hondureña*. Tegucigalpa.
29. Jorge Gudiño-Lau, J. A.-R. (2017). *DISEÑO Y MODELO CINEMÁTICO DE UN ROBOT DELTA PARA EL DIAGNOSTICO Y REHABILITACION*. Artículo Científico.
30. Klette, R. (2014). *Consice Computer Vision*. London: Springer.
31. LUIS FERNANDO LOPEZ ISAZA, C. A. (2015). *DISEÑO DE UN ROBOT DELTA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN LA*. Pereira: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
32. MACANCELA, J. E. (2018). *DESARROLLO DE UN ROBOT DELTA PARA APLICACIONES DE MANIPULACIÓN DE OBJETOS Y VISIÓN ARTIFICIAL MEDIANTE EL SENSOR KINECT*. Quito: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
33. Michel Felipe Pedraza, P. F. (2015). *Aproximación al diseño de robots paralelos, análisis de caso del robot delta*. Colombia: CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN.
34. MIPSAs. (2018). *Láminas de acero inoxidable 300*.
35. Monkman, G. (2017).
36. Monkman, G., Hesse, S., Steinmann, R., & Schunk, H. (2010). *Robot Grippers*. Weinheim: Wiley-VCH.
37. Norton, R. L. (2000). *Diseño de Maquinaria*. Mexico: Interamericana Editores.
38. Ogata, K. (2014). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: Pearson.
39. PAC. (13 de Junio de 2011). *Controladores Industriales Inteligentes*. Obtenido de [ieec.uned.es](http://www.ieec.uned.es):
http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_I SE6_1_2.pdf

40. PAC. (23 de Octubre de 2019). *Ieec*. Obtenido de [ieec.uned.es: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_I SE6_1_1.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_I SE6_1_1.pdf)
41. Programable, C. L. (11 de Marzo de 2015). *Control Real Español*. Obtenido de [controlreal: https://controlreal.com/es/controlador-logico-programable-plc/](https://controlreal.com/es/controlador-logico-programable-plc/)
42. PROHONDURAS. (2018). *Cafe Hodnureño*. Tegucigalpa.
43. Pulgarin, J. (2017). *Establecimiento de Cafetal*.
44. RAE. (2019). *Real Academia Española*. Obtenido de RAE: <https://dle.rae.es/?id=WYRIhzm>
45. Raffino, M. E. (2018). *Lenguaje de Programación*. Argentina.
46. Riaño, C., Peña Cortes, C., & Pardo Garcia, A. (2013). *DESARROLLO DE UN ROBOT DELTA PARALELO TIPO KEOPS CON ESTRUCTURA MODIFICABLE*. Pamplona.
47. Rodríguez Sánchez, J. (2017). *Robotización del proceso de injerto de plántulas hortícolas*. Almería.
48. Sánchez, J. (26 de Marzo de 2018). *Ecología Verde*. Obtenido de [Ecología Verde: https://www.ecologiaverde.com/diferencia-entre-biotico-y-abiotico-1260.html](https://www.ecologiaverde.com/diferencia-entre-biotico-y-abiotico-1260.html)
49. Sánchez, J. (30 de Abril de 2019). *Ecología Verde*. Obtenido de [Ecología Verde: https://www.ecologiaverde.com/que-es-un-cotiledon-1972.html](https://www.ecologiaverde.com/que-es-un-cotiledon-1972.html)
50. Schneider. (2018). *Programacione en Escalera*.
51. Serena, L. (2004). Criterios para Seleccionar Sistemas de Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora (CAD/CAM). *Información Tecnológica, SciELO*, 1-5. Obtenido de EcuRed.
52. Serna, C., & Rivillas, C. (11 de Junio de 2011). *Cenicafé*. Obtenido de [Cenicafé: https://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/germinador/P1](https://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/germinador/P1)
53. Sipro. (16 de Noviembre de 2019). *Sipro*. Obtenido de [Sipro: https://www.sipro.vr.it/en/delta-robot/delta-robot-SIAX-D3-700.html](https://www.sipro.vr.it/en/delta-robot/delta-robot-SIAX-D3-700.html)
54. *SolidCAM*. (2019). Obtenido de [SolidCAM: https://www.solidcam.com/en-us/cam-solutions/cad-integration/solidworks/](https://www.solidcam.com/en-us/cam-solutions/cad-integration/solidworks/)

55. Sun, D.-W. (2016). *Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation*. Londres: Elsevier.
56. Teoría de máquinas y mecanismos. (2018). *Research Gate*, 1-12.
57. Transroll. (16 de Noviembre de 2019). *Transroll*. Obtenido de Transroll: <http://www.transroll.cz/obrazky-soubory/katalog-valecku-57802.pdf?redir>
58. Victoria, A. (2018). *Cell Trays*.
59. Wayne, D. (2015). *Bioestadística*. Mexico: Limusa Wiley.
60. ZHAO Qing, W. P. (2015). *Controller Parameter Tuning of Delta Robot Based on Servo Identification*. Tianjin: CHINESE JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING.

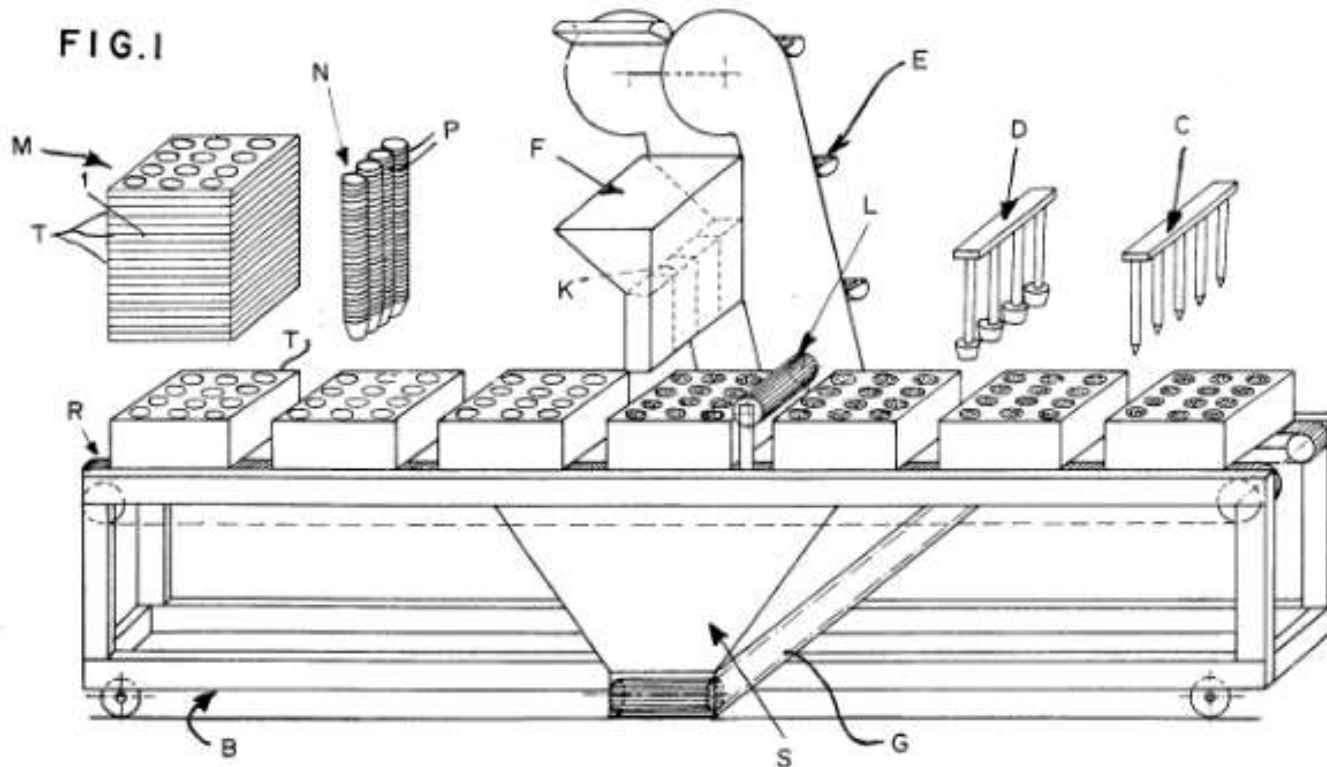
ANEXOS

Anexo 1. Tabla de especificaciones de rodillo

Dimensions (mm)			Weight (kg)		Belt width (mm)		
L	L1	L2	Rotating parts	Total			
160	168	186	1,5	2,0			400
200	208	226	1,7	2,3			500
250	258	276	1,9	2,7		400	650
315	323	341	2,3	3,2		500	800
380	388	406	2,6	3,7		650	1000
465	473	491	3,1	4,4		800	1200
500	508	546	3,3	4,7	400		
600	608	626	3,9	5,5	500	1000	
750	758	796	4,7	6,7	650		
950	958	996	5,8	8,3	800		
1150	1158	1196	6,9	9,9	1000		
1400	1408	1446	8,3	11,9	1200		
1600	1608	1646	9,4	13,6	1400		

Fuente: (Transroll, 2019)

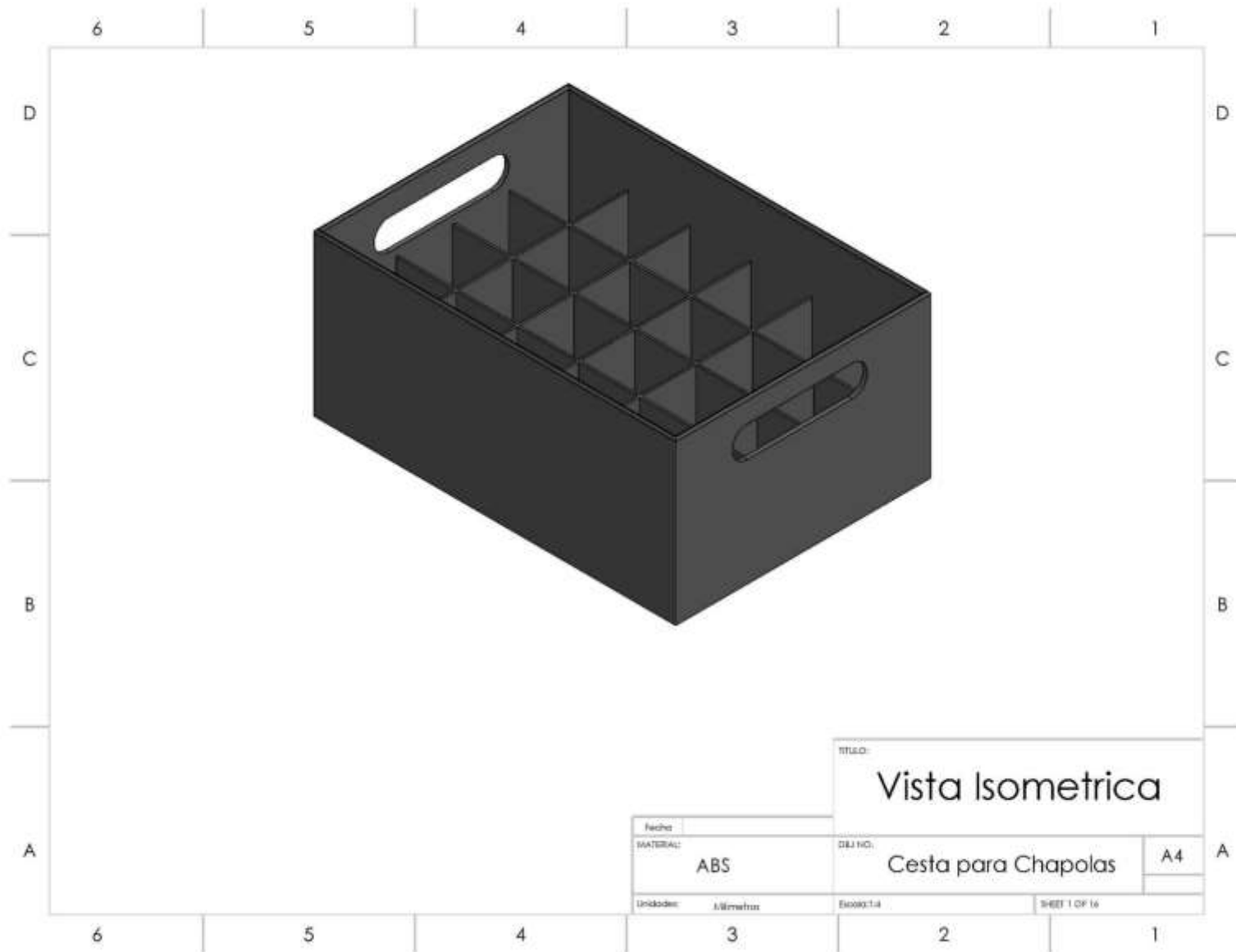
Anexo 2. Llenador automatizado de macetas



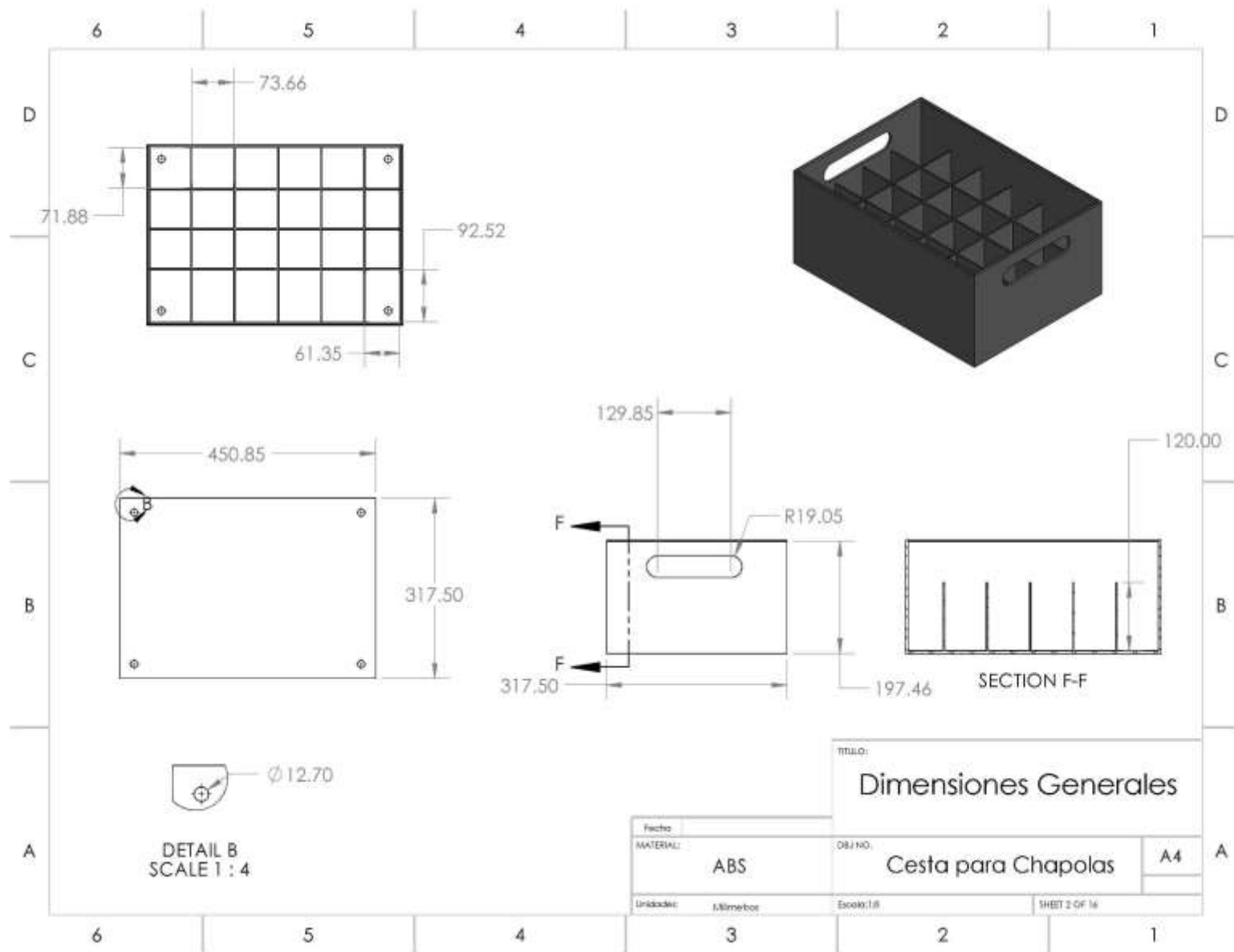
U.S. Patent May 3, 1977 Sheet 1 of 2 4,020,881

Fuente: (United States Patent No. US605677A , 1970)

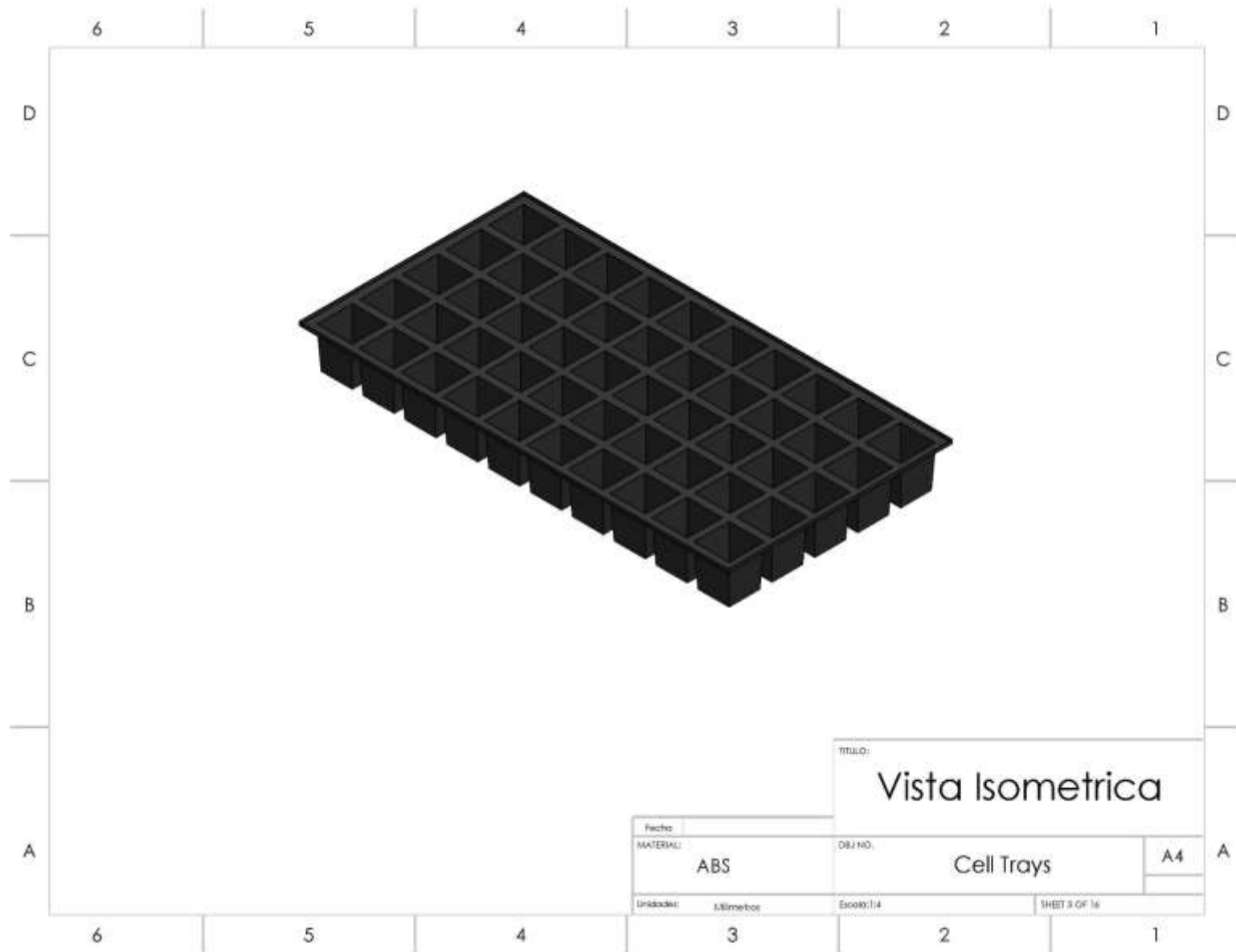
Anexo 3. Cesta para Chapolas



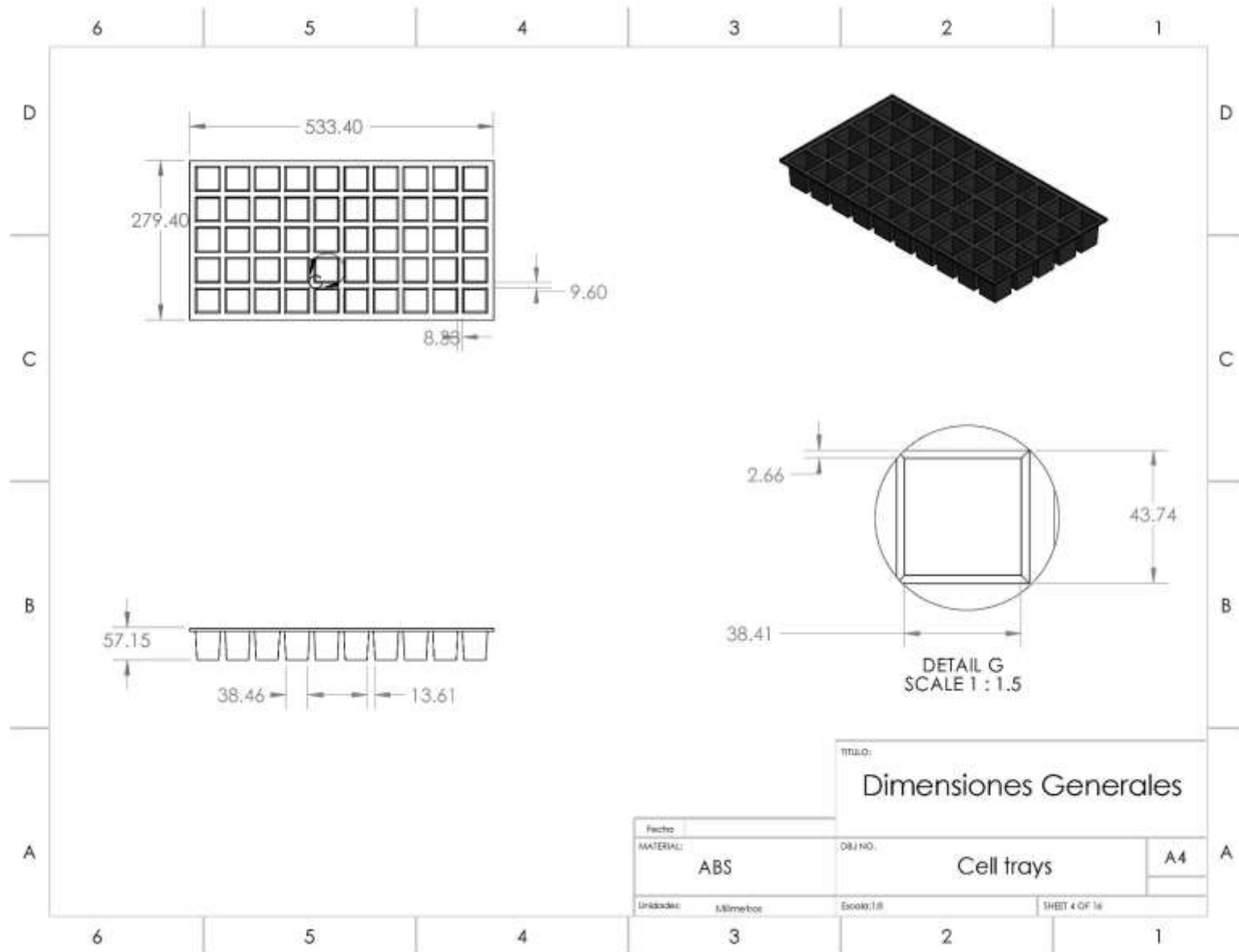
Anexo 4. Dimensiones Generales Cesta para Chapolas



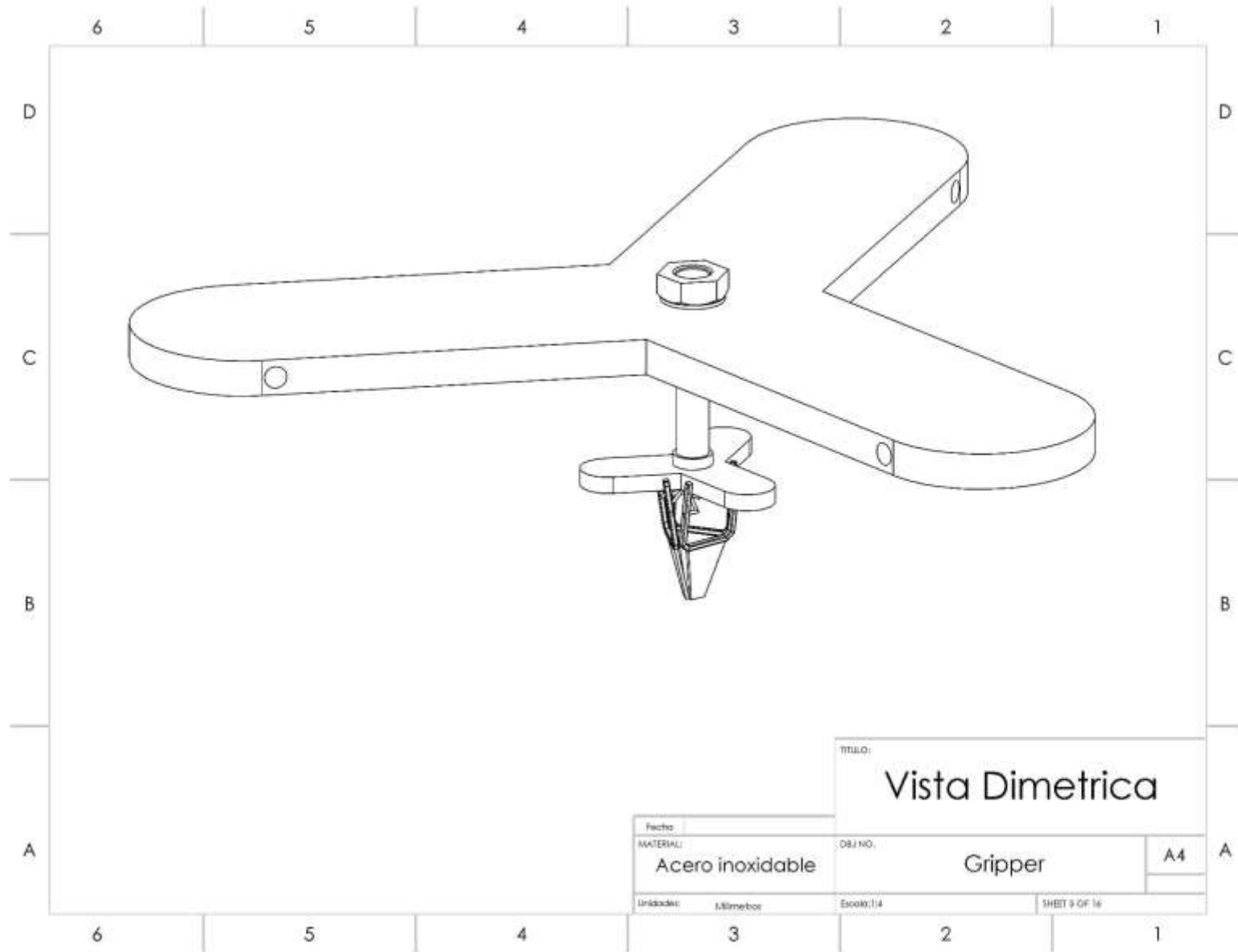
Anexo 5. Cell Trays



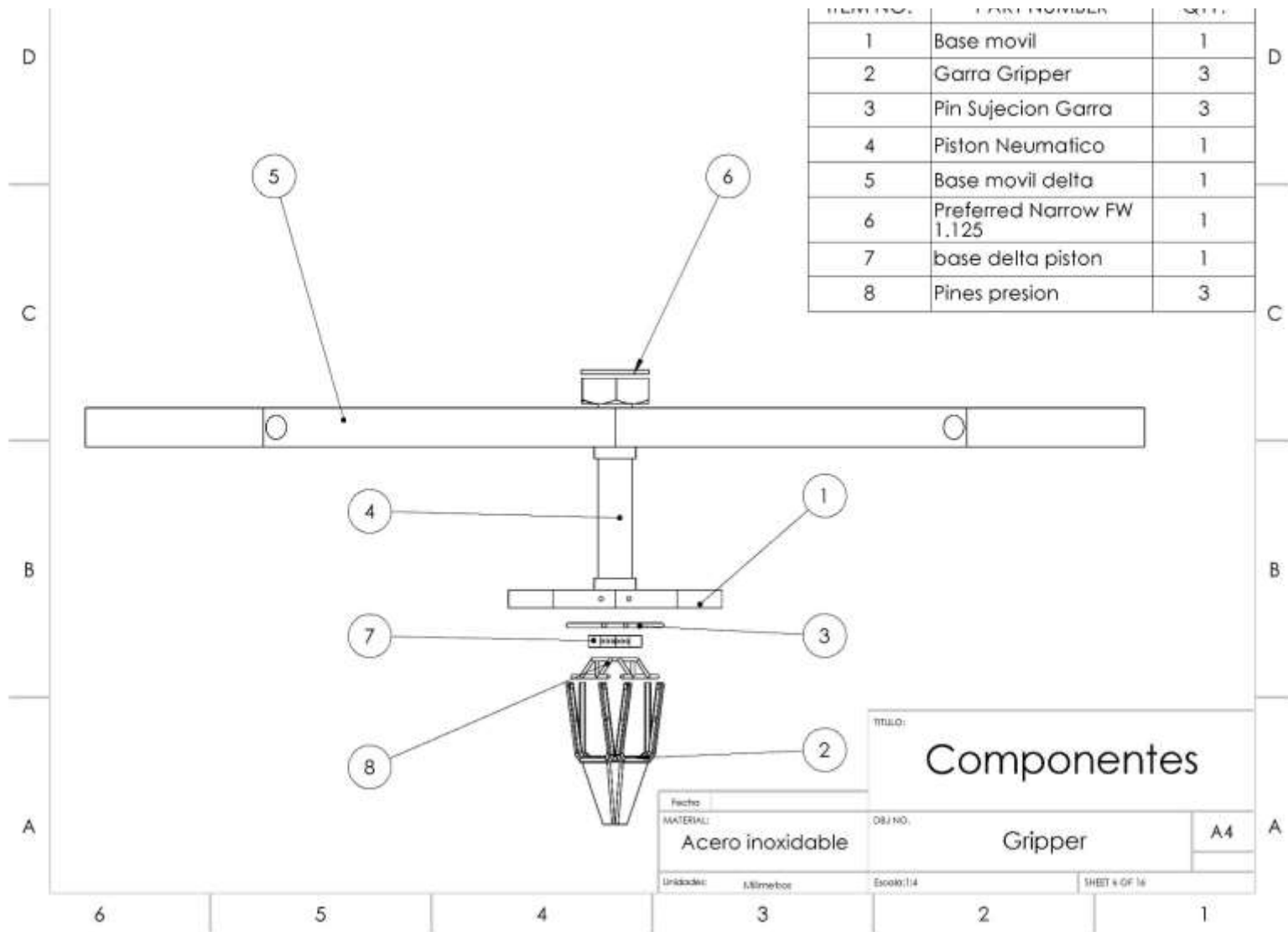
Anexo 6. Dimensiones generales Cell Tray



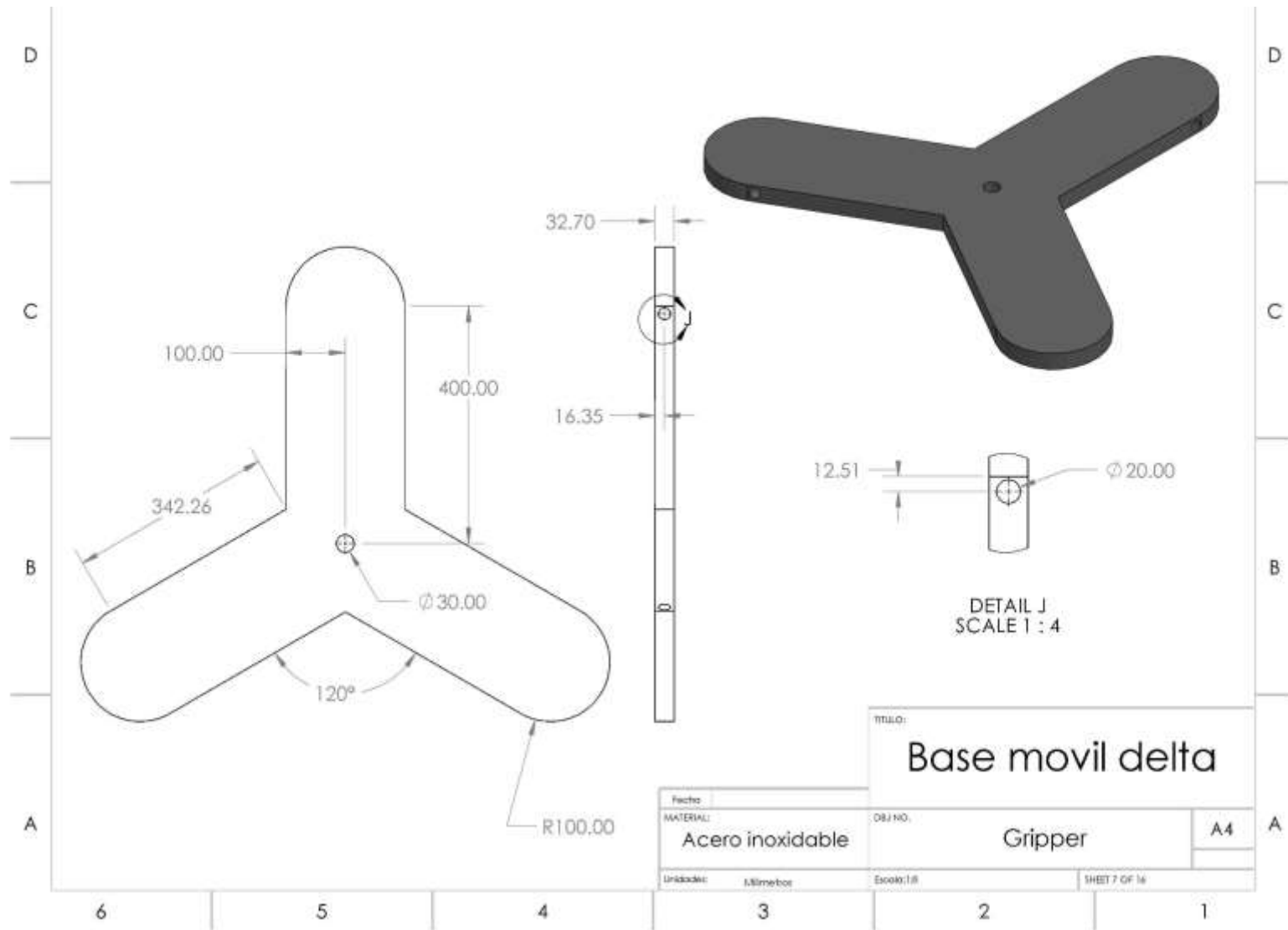
Anexo 7. Vista dimetrica gripper



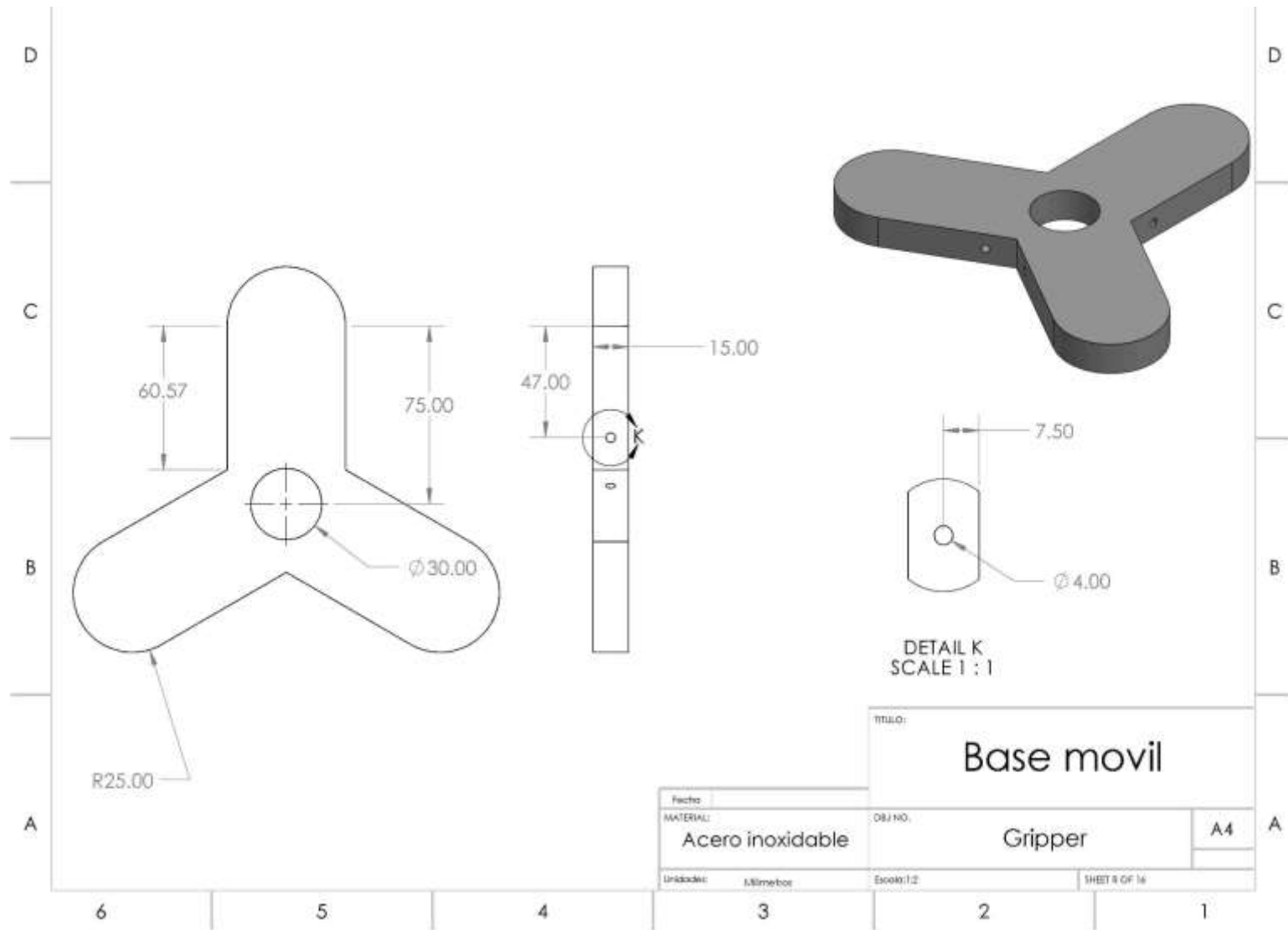
Anexo 8. Componentes gripper



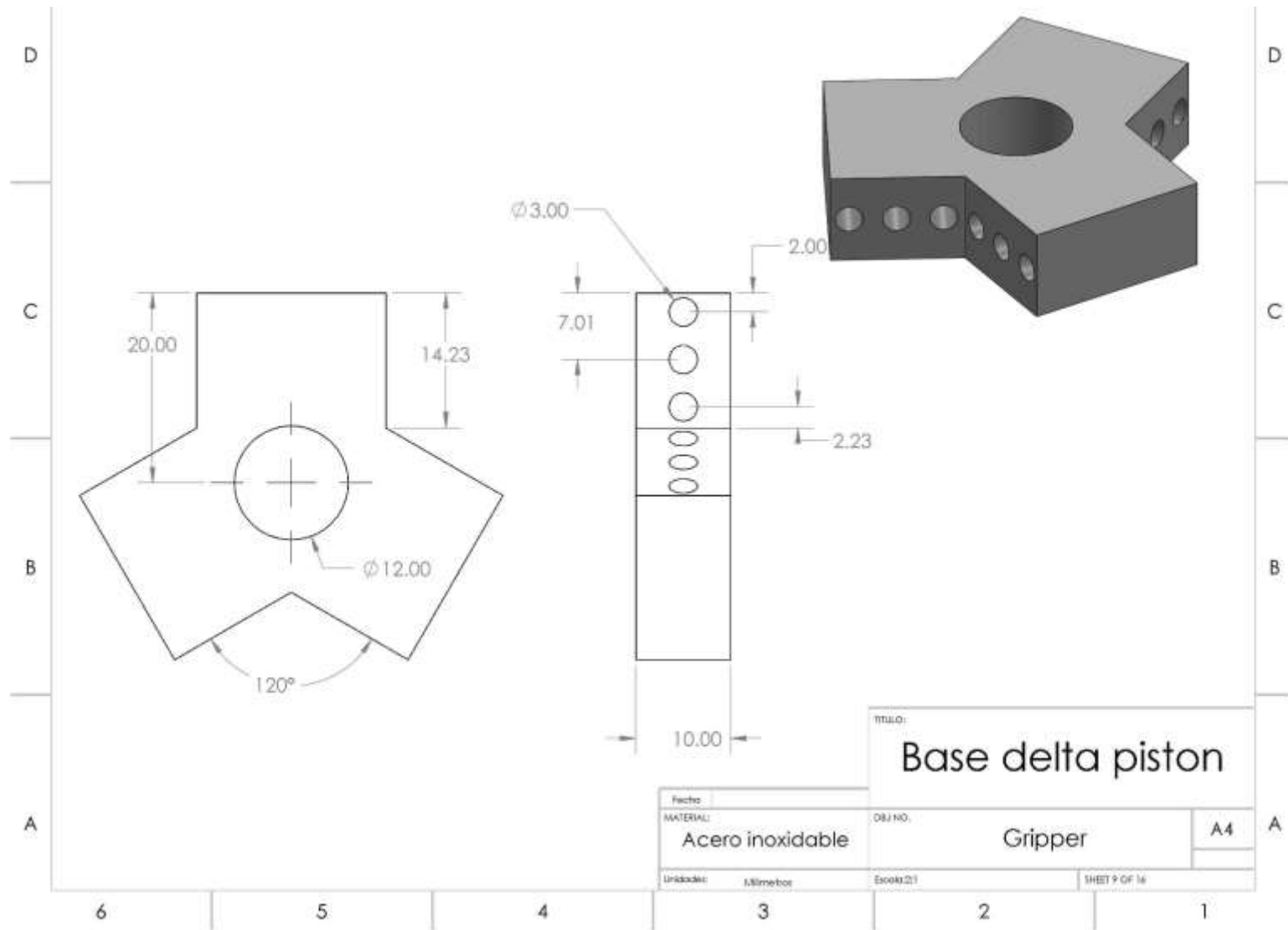
Anexo 9. Base móvil delta



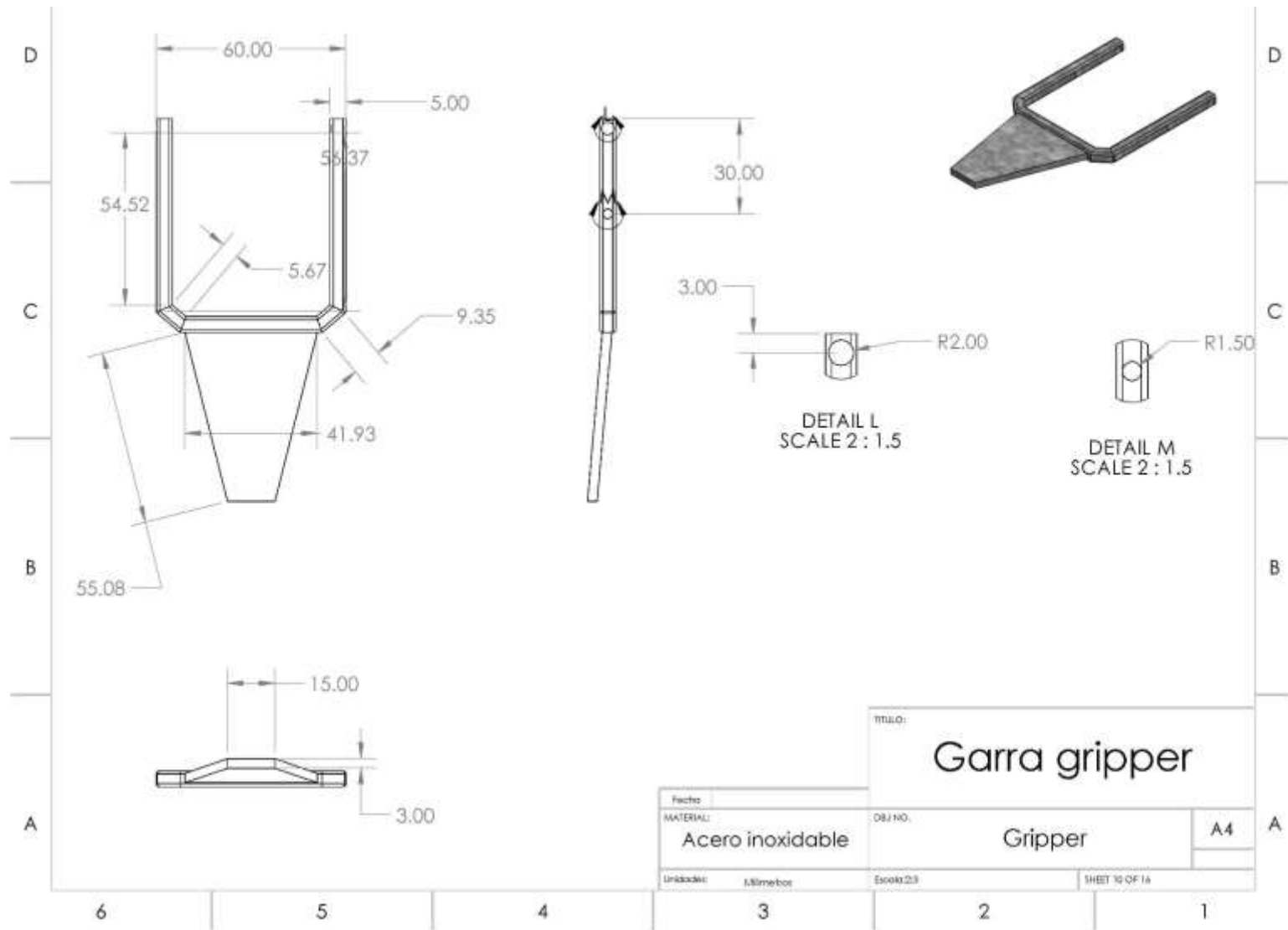
Anexo 10. Base móvil



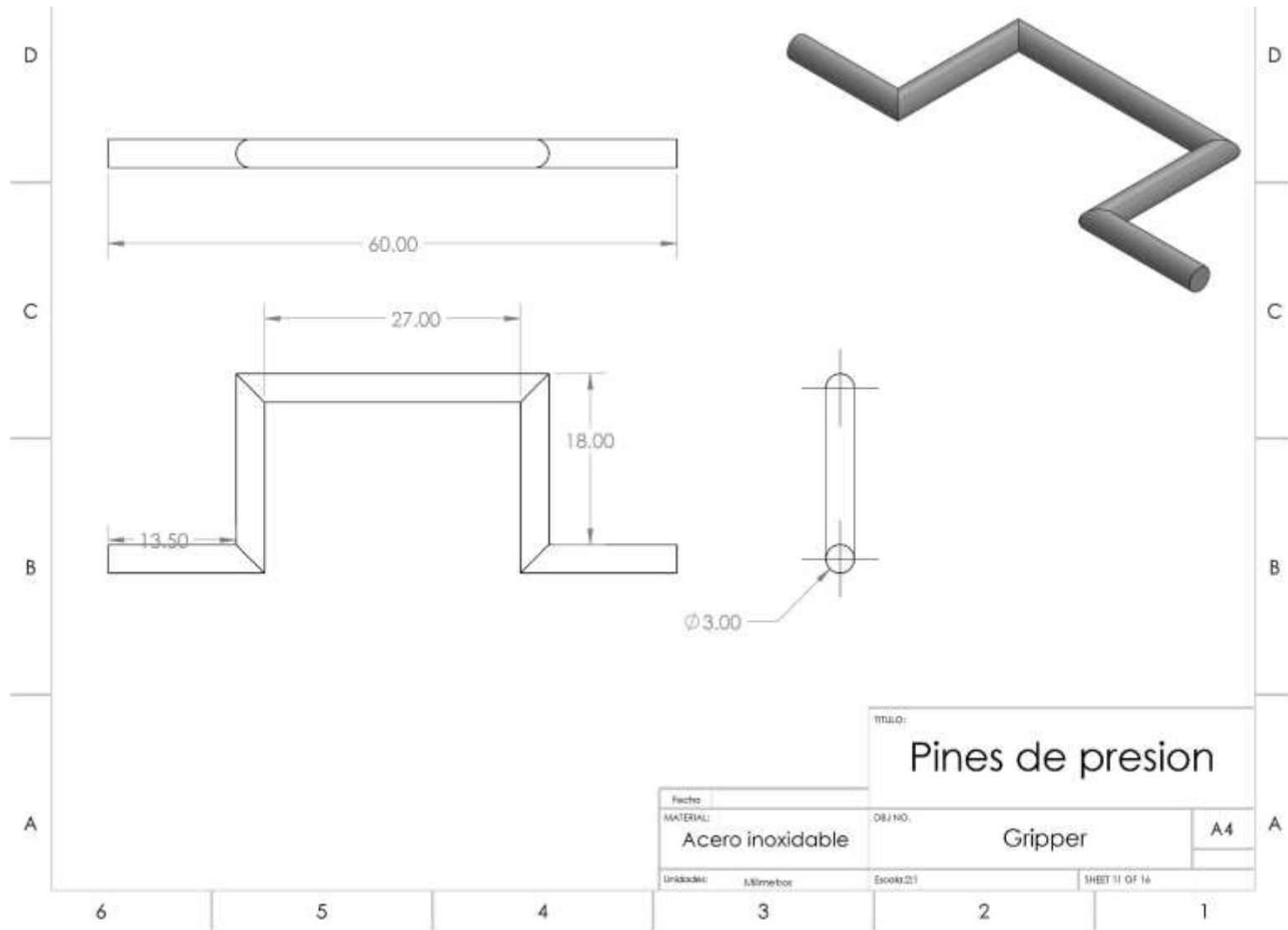
Anexo 11. Base delta piston



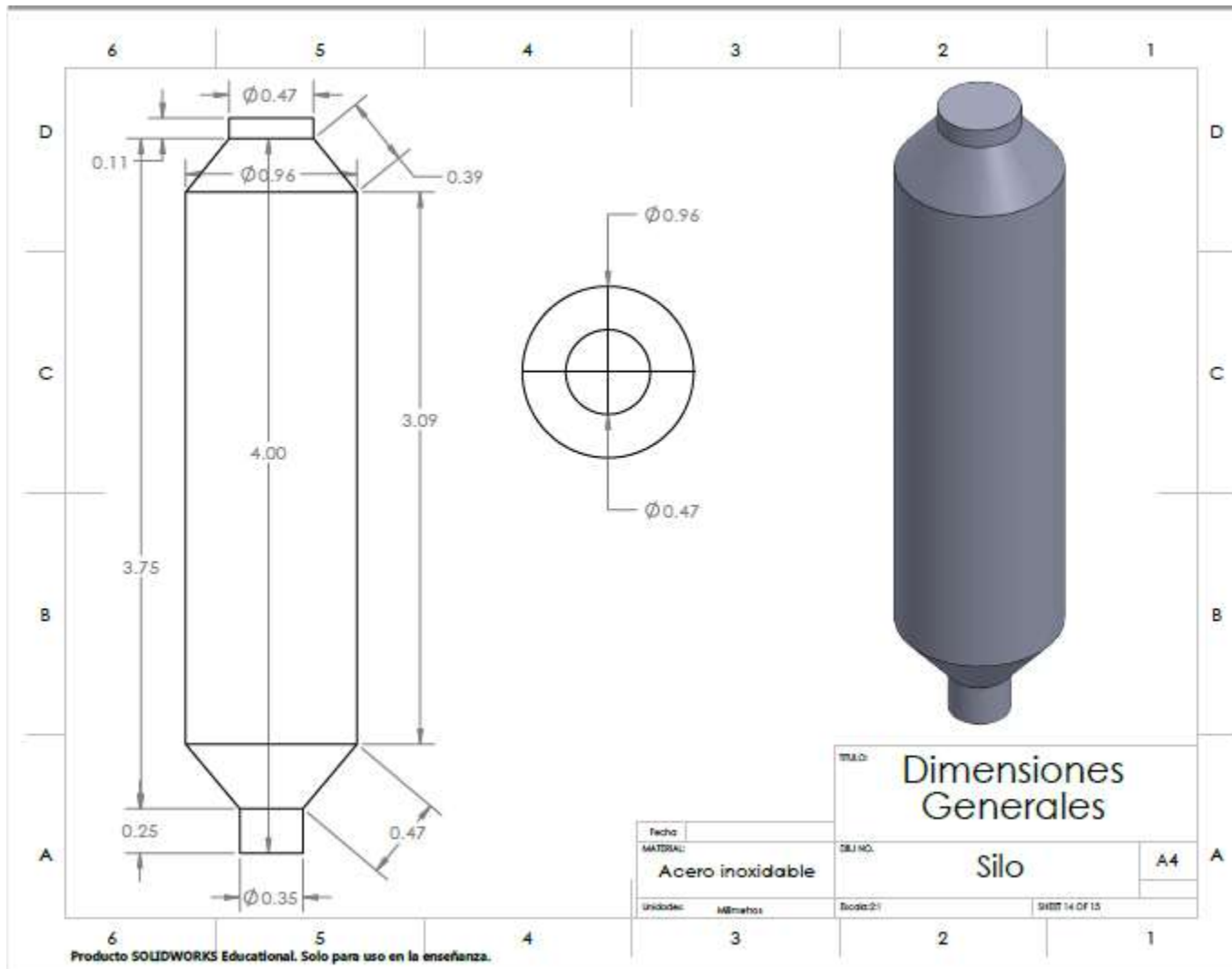
Anexo 12. Garra gripper



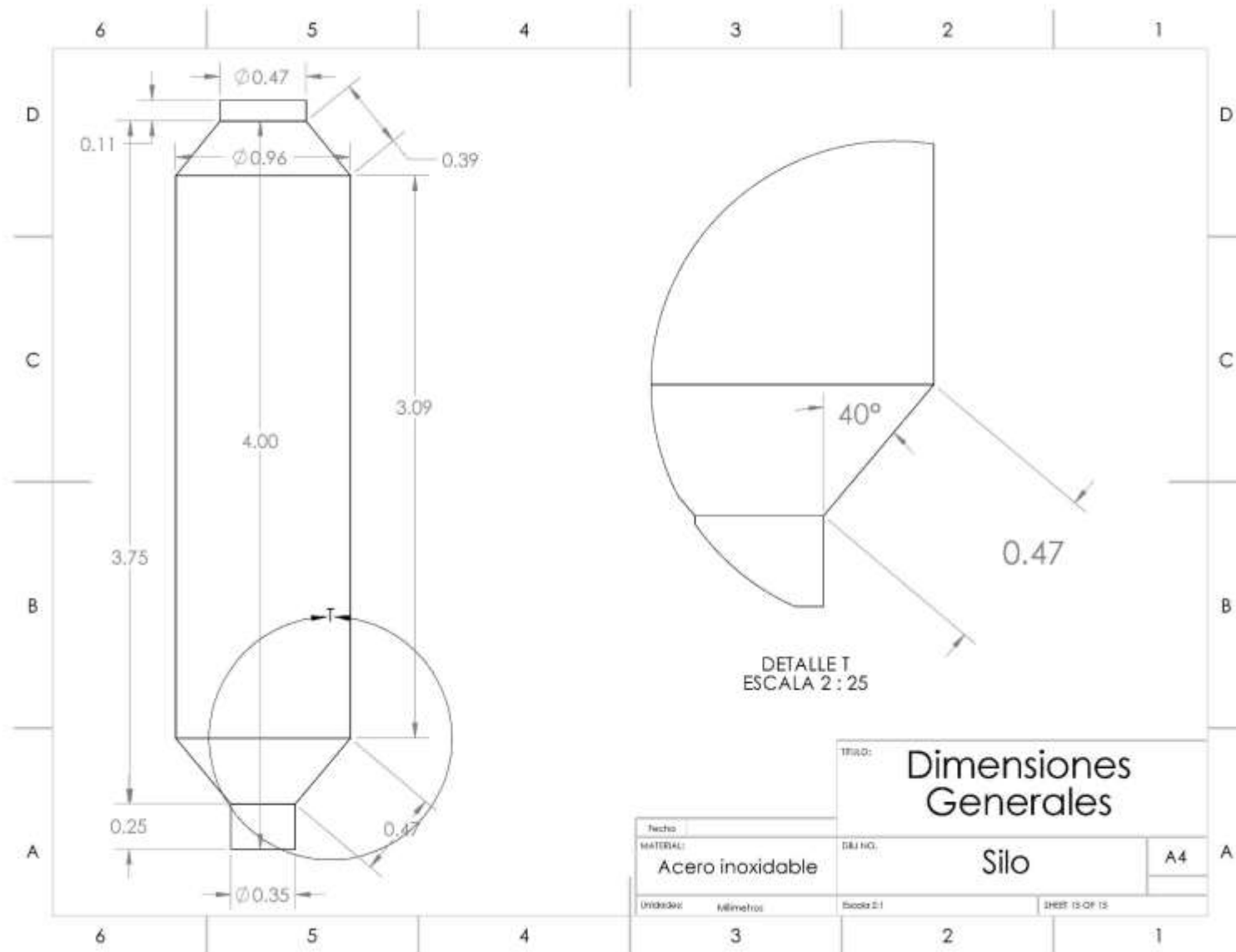
Anexo 13. Pines de Presión



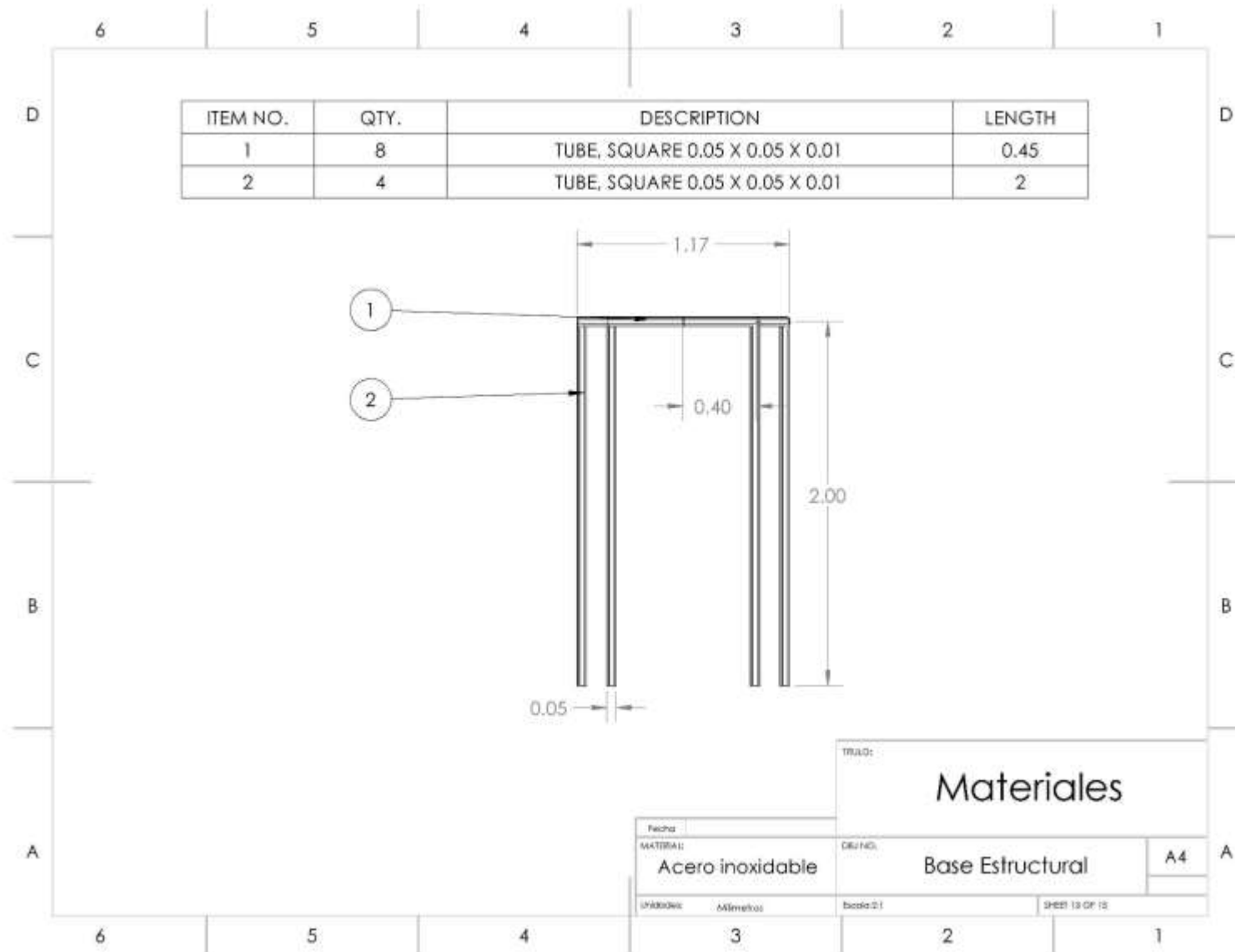
Anexo 14. Dimensiones generales de Silo



Anexo 15. Angulo de Silo



Anexo 16. Materiales base estructural



Anexo 17.Base estructural

