



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA LÍNEA
SEMIAUTOMÁTICA SEMBRADORA DE SEMILLAS PARA EL
PROCESO DE GERMINACIÓN DE PLÁNTULAS**

AUTOR: LOAYZA MONTALVO, SANTIAGO MARTIN

DIRECTOR: ING. IBARRA JÁCOME, OSWALDO ALEXANDER

SANGOLQUÍ

2018



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA LÍNEA SEMIAUTOMÁTICA SEMBRADORA DE SEMILLAS PARA EL PROCESO DE GERMINACIÓN DE PLÁNTULAS”** fue realizado por el señor **Loayza Montalvo Santiago Martin** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 6 de marzo de 2018

Firma:

Ing. Ibarra Jácome Oswaldo Alexander

C.C. :1719535427



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Loayza Montalvo Santiago Martin**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA LÍNEA SEMIAUTOMÁTICA SEMBRADORA DE SEMILLAS PARA EL PROCESO DE GERMINACIÓN DE PLÁNTULAS”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 6 de marzo de 2018

Firma:

Loayza Montalvo Santiago Martin

C.C.: 1726445800



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Loayza Montalvo Santiago Martin autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA LÍNEA SEMIAUTOMÁTICA SEMBRADORA DE SEMILLAS PARA EL PROCESO DE GERMINACIÓN DE PLÁNTULAS” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 6 de marzo de 2018

Firma:

Loayza Montalvo Santiago Martin

C.C.: 1726445800

DEDICATORIA

Mi tesis está dedicada a mi madre, por su apoyo incondicional, por querer siempre lo mejor para mí, por su esfuerzo, por la confianza en mis capacidades, por guiarme con sus sabios consejos y por estar siempre a mi lado porque sin ella este proyecto no hubiese sido posible.

Santiago Martin Loayza Montalvo

AGRADECIMIENTO

A mi novia Soledad quien ha sido mi mano derecha todo este tiempo, por creer en mí y por apoyarme cuando lo necesite.

A mis hermanos Fernanda y Mateo, a mi familia y a las personas que han estado presentes en mi carrera universitaria apoyándome tanto en la parte educativa como en lo personal dándome un poco de su tiempo y alentándome con consejos y palabras de aliento para que creciera como profesional y como persona. A la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) por acogerme en sus aulas y a los docentes que a lo largo de la carrera me brindaron su conocimiento con generosidad contribuyendo con mi formación.

Santiago Martin Loayza Montalvo

INDICE

CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES Y OBJETIVOS	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Definición del problema.	2
1.2. Justificación e Importancia.	3
1.3. Área de Influencia.	4
1.4. Objetivos.....	5
1.5. Alcance.	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Introducción a la automatización industrial.....	6
2.2. Proceso genérico para el desarrollo de un producto	7
2.3 Desarrollo del concepto: Proceso frontal.....	9
2.4. Cultivos de semillas en Ecuador.....	11
2.5 Manejo de productos alimenticios y semillas.....	12
2.6 Bandas trasportadoras.....	14
2.7 Actuadores	17
2.8 Sistemas de aire comprimido.....	19
2.9 Máquinas y métodos existentes	23
CAPÍTULO III.....	28
DESARROLLO DEL CONCEPTO.....	28
3.1. Identificar necesidades	28
3.2 Especificaciones objetivo	29
3.3 Generación de conceptos del producto	32
3.4 Selección del concepto	39
3.5 Pruebas del concepto	41
3.6 Establecer especificaciones finales.....	43
3.7 Planeación del producto.....	46
CAPÍTULO IV.....	48
DISEÑO A NIVEL SISTEMA	48

4.1. Arquitectura del producto	48
CAPÍTULO V	53
DISEÑO DE DETALLE	53
5.1. Diseño mecánico	53
5.2. Diseño neumático	77
5.3 Diseño electrónico y de control	82
5.3.3 Conductores	85
5.3.4 Potencia del sistema y dimensionamiento de fusibles	85
5.3.5 Controlador	87
5.3.6 Actuadores	88
5.4. Implementación de hardware	91
5.5. Diseño e implementación de software	95
CAPÍTULO VI	97
PRUEBAS Y REFINAMIENTO	97
6.1. Desarrollo del protocolo de pruebas	97
6.2 Pruebas del sistema	98
6.3. Análisis de resultados del sistema	100
CAPÍTULO VII	105
ANÁLISIS DE COSTOS	105
7.1. Análisis de costos de fabricación	105
CAPÍTULO VIII	111
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
8.1. Conclusiones	111
8.2. Recomendaciones	112
BIBLIOGRAFÍA	113
ANEXOS	1136
ANEXO A	117
ANEXO B	123

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Características de un proceso controlado</i>	7
Tabla 2 <i>Etapas del proceso genérico para el desarrollo de un producto</i>	8
Tabla 3 <i>Tareas específicas del equipo de diseño</i>	9
Tabla 4 <i>Proceso frontal para el desarrollo del concepto</i>	10
Tabla 5 <i>Exportaciones de brócoli</i>	12
Tabla 6 <i>Materiales aprobados por la FDA</i>	14
Tabla 7 <i>Clasificación de las bandas transportadoras según su material</i>	15
Tabla 8 <i>Características del PVC</i>	17
Tabla 9 <i>Clasificación de los actuadores</i>	18
Tabla 10 <i>Tipos de presiones</i>	20
Tabla 11 <i>Ventajas y desventajas de un sistema de aire comprimido</i>	21
Tabla 12 <i>Métodos para punzonado y sembrado en bandejas</i>	24
Tabla 13 <i>Especificaciones técnicas Urbinati</i>	25
Tabla 14 <i>Especificaciones técnicas Visser</i>	26
Tabla 15 <i>Especificaciones técnicas Arnabat</i>	27
Tabla 16 <i>Listado de métricas</i>	30
Tabla 17 <i>Comparativa de métricas entre máquinas de la competencia</i>	31
Tabla 18 <i>Valores objetivo y marginalmente aceptables</i>	32
Tabla 19 <i>Combinación de conceptos</i>	35
Tabla 20 <i>Propuesta de concepto uno</i>	36
Tabla 21 <i>Propuesta de concepto dos</i>	37
Tabla 22 <i>Propuesta de concepto tres</i>	38
Tabla 23 <i>Ponderación</i>	39
Tabla 24 <i>Matriz de selección</i>	40
Tabla 25 <i>Especificaciones finales</i>	46
Tabla 26 <i>Planificación de la construcción del producto</i>	47
Tabla 27 <i>Lista de materiales y componentes</i>	52
Tabla 28 <i>Diagramas del rodillo matriz de la banda con carga</i>	61
Tabla 29 <i>Diagramas del rodillo matriz de la banda sin carga</i>	62
Tabla 30 <i>Diagramas del cilindro de punzonado</i>	71
Tabla 31 <i>Diagramas del cilindro de siembra</i>	75
Tabla 32 <i>Componentes neumáticos</i>	81
Tabla 33 <i>Sensores de proximidad</i>	83
Tabla 34 <i>Señalética</i>	84
Tabla 35 <i>Amperaje que soportan los conductores de cobre</i>	85
Tabla 36 <i>Función de las fuentes de alimentación</i>	86
Tabla 37 <i>Controladores</i>	87
Tabla 38 <i>Características de los actuadores</i>	88
Tabla 39 <i>Porcentajes de eficiencia de sembrado</i>	101
Tabla 40 <i>Especificaciones finales de la máquina</i>	104

Tabla 41 <i>Costos de diseño</i>	105
Tabla 42 <i>Costos de manufactura</i>	106
Tabla 43 <i>Costo de materiales</i>	107
Tabla 44 <i>Costo total de desarrollo</i>	108
Tabla 45 <i>Costo de operación mensual</i>	109
Tabla 46 <i>Comparación de costos de procesamiento</i>	109
Tabla 47 <i>Ahorro generado basado en una producción de 28.000 bandejas mensuales</i>	110
Tabla 48 <i>Tiempo de recuperacion de la inversión</i>	110

Índice de Figuras

Figura 1 Plántulas en bandejas.....	1
Figura 2 Proceso manual para sembrado de semillas	2
Figura 3 Diagrama de flujo del proceso de sembrado	2
Figura 4 Bandejas de germinación de EPS	3
Figura 5 Industria 4.0.....	6
Figura 6 Mapa sectorial de producción de brócoli	11
Figura 7 Banda transportadora.....	15
Figura 8 Materiales para bandas trasportadoras	16
Figura 9 Actuador lineal y actuador rotacional	18
Figura 10 Partes de un motor eléctrico	19
Figura 11 Cuadro de presiones	21
Figura 12 Sistema de aire comprimido tratado.....	22
Figura 13 Corte transversal de un generador de vacío.....	23
Figura 14 Punzonado por fila.....	24
Figura 15 Punzonado en placa	24
Figura 16 Punzonado con cilindro	24
Figura 17 Sembrado por filas.....	24
Figura 18 Sembrado por placa	24
Figura 19 Sembrado con cilindro.....	24
Figura 20 Punzadora y sembradora Urbinati	25
Figura 21 Punzadora y sembradora Visser	26
Figura 22 Punzadora y sembradora Arnabat.....	27
Figura 23 Caja negra de la sembradora	33
Figura 24 División en subfunciones	33
Figura 25 Bosquejo tridimensional de concepto uno.....	36
Figura 26 Bosquejo tridimensional de concepto dos.....	37
Figura 27 Bosquejo tridimensional de concepto tres.....	38
Figura 28 Semillas agrupadas en el cilindro.....	41
Figura 29 “Concepto A” para eliminación de grupo de semillas	42
Figura 30 Resultados del concepto A	42
Figura 31 “Concepto B” para eliminación de grupo de semillas.....	43
Figura 32 Resultados del concepto B	43
Figura 33 Modelo técnico para el sembrado en bandejas.....	44
Figura 34 Modelo técnico para la regulación de profundidad de punzonado.....	44
Figura 35 Mapa competitivo.....	45
Figura 36 Esquema del producto	49
Figura 37 Esquema del producto – agrupación de sistemas	50
Figura 38 Disposición geométrica aproximada	51
Figura 39 Muestra de la banda corrugada.....	54
Figura 40 Resultados del ensayo	55

Figura 41 Diseño de la celda de la bandeja de 338.....	66
Figura 42 Posición de entrada y salida de los punzones en la bandeja.....	68
Figura 43 Conceptos para el diseño del punzón	68
Figura 44 Diámetro de semilla de brócoli	77
Figura 45 Diagrama de cuerpo libre de la semilla adherida al cilindro	77
Figura 46 Filtro regulador.....	81
Figura 47 Generador de vacío.....	81
Figura 48 Diagrama neumático.....	81
Figura 49 Fuente de alimentación DC	82
Figura 50 Sensor inductivo	83
Figura 51 Sensor capacitivo.....	83
Figura 52 Sensor infrarrojo E18	83
Figura 53 Posición de los sensores	84
Figura 54 Componentes de señalización	84
Figura 55 PLC logo 8.....	87
Figura 56 Arduino.....	87
Figura 57 Tarjeta FPGA	87
Figura 58 Motorreductor dc.....	88
Figura 59 Motorreductor ac	88
Figura 60 Motor a pasos	88
Figura 61 Laso de control del proceso de punzonado	89
Figura 62 Laso de control del proceso de sembrado	89
Figura 63 Diagrama electrónico	90
Figura 64 Implementación del sistema de control	91
Figura 65 Construcción del sistema de transporte	92
Figura 66 Construcción de cilindro de punzonado	93
Figura 67 Construcción de cilindro de siembra.....	93
Figura 68 Sistema de dosificación y liberación	94
Figura 69 Ensamble general de máquina sembradora	94
Figura 70 Ensamble de subsistemas	95
Figura 71 Diagrama de flujo de los procesos de punzonado y sembrado.....	96
Figura 72 Pruebas del cilindro de punzonado.....	98
Figura 73 Prueba de la sincronización del cilindro.....	99
Figura 74 Prueba de sincronización de sembrado	99
Figura 75 Prueba de dosificación de semilla	100
Figura 76 Porcentajes de error de semillas sembradas	101

RESUMEN

Actualmente la mayoría de los agricultores y pequeñas empresas ecuatorianas dedicadas a la producción de plántulas, utilizan para el proceso de sembrado el método de semilleros o de bandejas de germinación. El presente proyecto trata del diseño e implementación de una máquina sembradora semiautomática para semillas de brócoli, empleando bandejas de germinación. El proceso de sembrado en bandejas consta de seis etapas de las cuales se identificó que dos presentan gran cantidad de movimientos repetitivos por los operadores, estas etapas del proceso son el punzonado y el sembrado, para dar solución a este problema se propuso varias alternativas que minimicen la carga laboral en estas tareas. En base a los resultados de una matriz de selección y de un análisis de las características de las máquinas existentes se seleccionó la alternativa que cumplía con las especificaciones requeridas. Se procedió a dimensionar, diseñar, fabricar y adquirir los componentes mecánicos, neumáticos y de control de la máquina. El proceso de punzonado se realiza mediante un cilindro con una matriz de punzones y en el sembrado las semillas son succionadas y transportadas mediante un cilindro perforado hacia las bandejas. La succión empleada para el sembrado es producida por un generador de vacío y aire comprimido. Para el control de la máquina se empleó una tarjeta Arduino mega la cual fue programada para accionar actuadores y recibir señales de los sensores del sistema. La máquina sembradora fue sometida a una serie de pruebas para verificar su correcto funcionamiento y el cumplimiento de las especificaciones requeridas.

Palabras clave:

- **SEMBRADORA SEMIAUTOMÁTICA**
- **SEMILLAS**
- **PLÁNTULAS**
- **BANDEJA DE GERMINACIÓN**

ABSTRACT

Currently most Ecuadorian farmers and small businesses engaged in the production of seedlings, use the method of seedlings and germination trays for the seeding process. This project proposes the design and implementation of a semiautomatic seeding machine for broccoli seeds, using the method of germination trays. The process of sowing seeds in trays consists of six stages of which in two it was identified that the work carried out by the operators represents a large number of repetitive movements, these stages of the process are punching and seeding. To solve this problem several alternatives were proposed to reduce the workload in these tasks, based on the results of a selection matrix and the analysis of the existing machinery characteristics, the alternative that met the required specifications was selected. The mechanical, pneumatic and control components were sized, designed, manufactured and acquired. The punching is done with a cylinder with a matrix of punches and the seeds are sucked and transported to the trays, a vacuum and a compressed air generator produce the suction. For the control, a mega arduino card was used, which will be programmed to drive actuators and receive signals from the sensors of the system. The machine was subjected to a series of tests to verify its correct operation and compliance with the required specifications.

Keywords:

- **SEMI-AUTOMATIC SEEDER**
- **SEEDS**
- **SEEDLING**
- **GERMINATION TRAYS**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES Y OBJETIVOS

1.1. Antecedentes.

La automatización de procesos industriales en la actualidad es de vital importancia para la subsistencia de una empresa, debido a las exigencias en calidad, y la gran competencia existente en el mercado; además de la optimización de recursos humanos para utilizar su mano de obra en tareas no repetitivas que puedan ocasionar errores o retrasos en la producción.

Actualmente la mayoría de los agricultores y pequeñas empresas ecuatorianas dedicadas al área agrícola utilizan el proceso de sembrado manual, utilizando semilleros para la germinación. Este proceso consiste en depositar las semillas directamente en el campo y mediante el sistema de riego proveer la humedad necesaria para la germinación. Otro método es la utilización de bandejas de germinación como en la figura 1, de igual manera la mayoría de los agricultores que hacen uso de este método lo ejecutan de manera manual como se observa la figura 2. Las bandejas son fabricadas en plástico o en poliestireno expandido (EPS). A continuación, se describe el proceso manual en bandejas. (Plastro, 2017)



Figura 1 Plántulas en bandejas

Fuente: (LITEC, 2012)

El proceso inicia con la bandeja vacía que pasa al llenado de la misma con sustrato (1), luego se pone el sustrato al mismo nivel de la bandeja y se retira el excedente (2), a continuación, se realiza el punzonado, el operario lo puede hacer directamente con la mano o usar una herramienta con una matriz para acelerar esta etapa (3), continúa con la etapa de sembrado, donde se deposita

las semillas en cada celda de la bandeja (4), pasando así a la etapa de recubrimiento de la bandeja generalmente con sustrato (5), y finalizar con el riego (6). (Gómez, 2011)

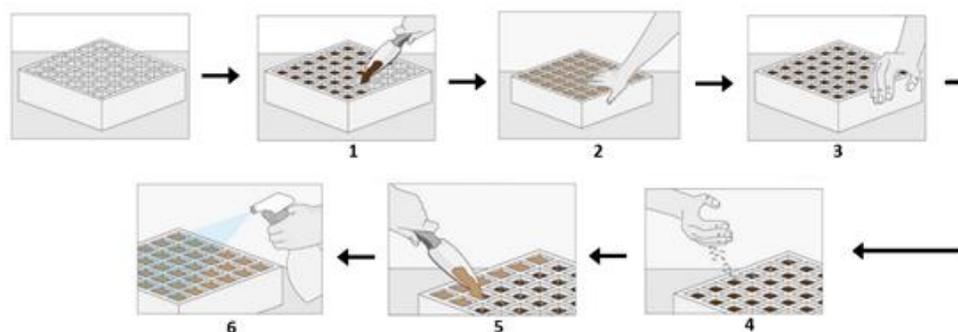


Figura 2 Proceso manual para sembrado de semillas

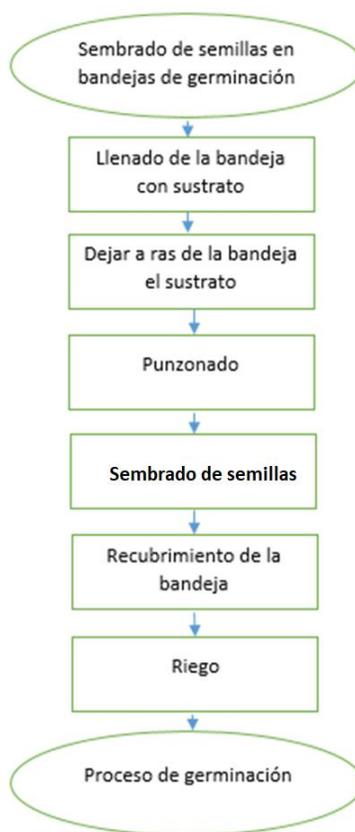


Figura 3 Diagrama de flujo del proceso de sembrado

1.2. Definición del problema.

Basados en los procesos anteriormente descritos podemos identificar que en el método de semilleros existe un desperdicio de materia prima, ya que al depositar la semilla directamente en

el campo esta se encuentra expuesta a las condiciones climáticas del entorno y esto disminuye las probabilidades de que la semilla germine.

En el método de bandejas de germinación se identificó una alta tasa de tareas repetitivas en el proceso, lo cual representa un riesgo para la salud. (UPV, 1999)

Por esta razón se requiere implementar una máquina semiautomática sembradora de semillas en bandejas, la máquina será diseñada para iniciar con el proceso de punzonado en cada una de las secciones de sembrado (celdas) de la bandeja como se indica en la figura 4, luego pasa a la etapa de sembrado donde se dosifica la semilla y es depositada en cada una de las celdas de la bandeja de germinación. Se busca desarrollar un prototipo de máquina que cumpla con dicho proceso.



Figura 4 Bandejas de germinación de EPS
Fuente: (Plastro, 2017)

1.2. Justificación e Importancia.

Los retos y desafíos que enfrentan los ingenieros actualmente incluyen el desarrollo de productos con valor agregado, que consuman la mínima energía posible y tengan un mínimo impacto ambiental como lo dice el objetivo 10 del plan del buen vivir que hace referencia a impulsar la transformación de la matriz productiva (SENPLADES, 2013). Todos estos retos y desafíos deben ir acompañados de la innovación, que implica desarrollar ideas y propuestas novedosas para un mercado cada vez más exigente, pero que no solo se limite a la rentabilidad sino también a la sostenibilidad.

El objetivo de utilizar bandejas de germinación para el proceso de sembrado es depositar una semilla por celda, esto nos ayuda a reducir el porcentaje de semillas no germinadas y a optimizar el uso de materia prima.

Las tareas repetitivas son aquellas en las que una acción se repite de la misma manera numerosas veces a lo largo de la jornada laboral. Las tareas repetitivas son un factor de riesgo musculoesquelético cuando se da una conjunción de algunos aspectos. El instituto de biomecánica de Valencia plantea algunas características del trabajo repetitivo (UPV, 1999):

- La tarea se realiza siempre de la misma forma con los mismos grupos musculares.
- La tasa de repetición es elevada.
- La tarea se realiza adoptando posturas forzadas.

El proceso manual figura 2, requiere que el agricultor se encuentre todo el tiempo realizando la tarea de punzonado (3) y dosificación de la semilla (4), estas dos etapas tienen una mayor tasa de tareas repetitivas por lo que se decidió que este proyecto se enfoque en optimizar estas dos etapas del proceso de sembrado de semillas.

Por esta razón se necesita buscar una solución tecnológica e innovadora que se desarrolle para reducir el trabajo manual, tiempos y el porcentaje de semillas sin germinar. Optimizando así el proceso de sembrado y disminuyendo el costo de este.

1.3. Área de Influencia.

El desarrollo de este proyecto está enfocado al diseño e implementación de una línea semiautomática sembradora de semillas para el proceso de germinación de plántulas, acción por la cual se beneficiarán directa e indirectamente de los siguientes estamentos:

Directamente:

- Pequeñas y medianas empresas dedicadas a la producción de plántulas.

Indirectamente:

- Pequeñas y medianas empresas dedicadas a la producción de cultivos herbáceos.
- Los proveedores de bandejas de germinación, sustrato y semilla ya que tendrán una mayor demanda de sus productos para satisfacer las necesidades de ampliación de mercado y aumento de producción.
- Los comerciantes debido a que tendrán mayor aceptación en el mercado resultado del aumento de la cantidad de producto, disminución de costo y mejoramiento de la calidad.

- El consumidor del producto debido a que llegará a su mesa un alimento de calidad a menor costo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General.

- Diseñar e implementar una línea semiautomática sembradora de semillas para el proceso de germinación de plántulas.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Definir mediante material bibliográfico, el método más eficiente entre las técnicas y procesos utilizados en maquinaria para sembrado de semillas existentes en el mercado.
- Diseñar una máquina modular y compacta para en un futuro adicionar nuevos módulos al proceso de sembrado, hasta lograr su total automatización.
- Desarrollar un sistema capaz de sembrar semillas con exactitud, analizando detalladamente cada etapa del proceso, para lograr minimizar tiempos y pérdidas de materia prima en el mismo.
- Realizar pruebas para verificar la disminución de tiempos y pérdidas de materia prima en el proceso.

1.5. Alcance.

El prototipo inicial de la máquina será capaz de incrementar el número de bandejas sembradas por hora en comparación con el proceso manual. Además, será fabricada con materiales que permitan una larga duración del mismo acorde a las condiciones climáticas del entorno donde se encuentre funcionando. Contará con un sistema para regular la profundidad del punzonado acorde al tamaño de la semilla la sembrar y un sistema para garantizar la dosificación y liberación adecuada de la semilla en la bandeja, optimizando la materia prima. Poseerá un sistema de transporte continuo entre etapas de trabajo, esto permitirá obtener total beneficio de la máquina.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción a la automatización industrial

A lo largo de la historia el hombre ha buscado mejorar su calidad de vida, volviendo sus tareas cotidianas más sencillas, a través de la mejora de procesos, con el fin de mejorar sus producciones y obtener mayores beneficios.

En el entorno industrial la automatización se refiere a la mejora de los índices de productividad, esto se logra mediante la automatización de maquinaria y el uso de herramientas informáticas y de control. Con el fin de que los procesos industriales sean más rápidos y eficientes. Como resultado de la automatización de los procesos industriales se obtiene un producto de la igual o mayor calidad a menor costo y en menor tiempo.

Según Carlos Ruedas “Dentro del campo de la producción industrial, la automatización ha pasado de ser una herramienta de trabajo deseable a una herramienta indispensable para competir en el mercado globalizado.” (Ruedas, 2008)

Actualmente estamos viviendo la cuarta revolución industrial donde se busca la digitalización en todos los procesos y maquinarias. La consultora McKinsey define la Industria 4.0 como “una nueva fase en la digitalización del sector manufacturero, impulsada por cuatro motores: aumento de los volúmenes de datos que manejan las empresas industriales; ordenadores cada vez más potentes y baratos; capacidad de analizar los datos de los procesos; y continua mejora en la interacción de personas con máquinas, robots e impresoras 3D. Reduce costes, mejora las cadenas de producción y aprovecha las nuevas bases de datos.” (Pablos, 2016)



Figura 5 Industria 4.0
Fuente: (Pablos, 2016)

2.2. Proceso genérico para el desarrollo de un producto

La descripción de los procesos que ocurren en una empresa es de vital importancia para distintos aspectos, uno de los más importantes es para identificación de posibles problemas en la generación de un producto. Es por eso por lo que detallar minuciosamente nos lleva a tener control sobre el desarrollo del producto final. Los procesos muchas veces no son solo descripciones de situaciones físicas sino también de protocolos y tareas administrativas por los que un producto debe pasar hasta llegar a su final. (Ulrich, 2013)

2.2.1 Características de un proceso controlado:

Las características de un proceso controlado tienen algunas etapas que podemos ver en la tabla 1.

Tabla 1

Características de un proceso controlado

<i>Características</i>	<i>Descripción</i>
<i>Aseguramiento de la calidad</i>	Identificación de los puntos clave del producto por una inspección, asegurando que su calidad sea óptima. Saber identificar los puntos clave es importante para garantizar que se puede actuar sobre el producto a tiempo si es necesario y aplicar los correctivos correspondientes.
<i>Coordinación</i>	Al contar con un proceso de desarrollo definido se facilita la interacción entre los integrantes del grupo de trabajo y cada uno tiene su labor definida y es de conocimiento preciso a quienes se debe acudir en caso de que algunas de las partes del proceso se vean afectadas o quien puede dar soporte en las secciones específicas.
<i>Planeación</i>	Con el proceso de desarrollo detallado se conocerá específicamente cuales son los puntos de finalización de cada etapa previa a obtener el producto terminado. Con esto se puede conocer los tiempos de cada una de estas etapas y planificar su ejecución de manera ordenada y precisa.
<i>Administración</i>	El desarrollo del proceso ayuda a los administradores a mantener un control fijo de cada una de las etapas. Es así como ellos pueden realizar comparaciones de los procesos escritos que son los ideales y los pueden comparar con los procesos reales e identificar posibles falencias y mejoras que se pueden ir adaptando.
<i>Mejoría</i>	Al tener el proceso descrito de manera ordenada como se mencionó en el punto anterior nos da la oportunidad de ir adaptando las mejoras necesarias para cada fase del desarrollo.

2.2.2 Etapas del proceso genérico para el desarrollo de un producto

En la tabla 2 podemos apreciar la descripción de las etapas del proceso genérico para el desarrollo de un producto.

Tabla 2

Etapas del proceso genérico para el desarrollo de un producto

<i>Etapas</i>	<i>Descripción</i>
<i>Planeación</i>	Esta fase es conocida como fase cero ya que ocurre antes de iniciar con el desarrollo en sí. Es aquí donde los agentes de ejecución del proyecto pueden establecer los objetivos del proyecto.
<i>Desarrollo del concepto</i>	Es necesario que realizar una descripción, donde se puede detallar la forma y características físicas para luego hacer comparaciones con los productos ya existentes, con el fin de lograr innovaciones.
<i>Diseño en el nivel sistema</i>	En esta fase del proyecto se divide al producto final en sus subsistemas y se describe cada uno de ellos. También aquí es posible describir cómo deben ser ensamblados los subsistemas para que el sistema completo sea efectivo. Los diagramas de flujo son una herramienta útil para describir los subsistemas y su forma de ensamble final.
<i>Diseño de detalle</i>	Aquí podemos describir específicamente los detalles de cada pieza del sistema. En esta etapa se justifica el diseño y porque se ha seleccionado cada uno de los materiales. También se realiza comparaciones entre materiales para llegar a la elección del mejor.
<i>Pruebas y refinamiento</i>	El desarrollo de prototipos ayuda a verificar si el funcionamiento es correcto, la conformidad de los usuarios y analizar posibles cambios en el diseño del producto.
<i>Inicio de la producción</i>	En esta etapa inicia la producción. La primera producción suele ser entregada a ciertos clientes preferenciales. Luego suele haber una fase de revisión de los procesos para realizar cualquier cambio que sea necesario.

Se puede dividir al equipo de diseño en cuatro departamentos, cada uno con objetivos y tareas específicas ver tabla 3.

Tabla 3
Tareas específicas del equipo de diseño

	<i>Planeación</i>	<i>Desarrollo del concepto</i>	<i>Diseño en el nivel sistema</i>	<i>Diseño de detalle</i>	<i>Pruebas y refinamiento</i>	<i>Inicio de la producción</i>
<i>Mercadotecnia</i>	Definir segmentos de Mercado.	Recabar necesidades de clientes e identificar productos competitivos	Desarrollar plan para opciones de producto y familia de productos.	Desarrollar plan de mercadotecnia	Desarrollar promoción y lanzar materiales. Facilitar pruebas de campo.	Poner la primera producción a disposición de clientes clave.
<i>Diseño</i>	Considerar plataforma y arquitectura del producto.	Investigar factibilidad de conceptos y desarrollar conceptos de diseño industrial.	Generar arquitecturas de producto. Definir subsistemas e interfaces.	Definir geometría de piezas. Seleccionar materiales.	Probar desempeño, confiabilidad y durabilidad. Implementar cambios de diseño.	Evaluar los resultados de la primera producción.
<i>Manufactura</i>	Identificar restricciones de producción.	Estimar costo de manufactura .	Identificar proveedores para componentes clave.	Definir procesos de producción de piezas.	Refinar procesos de fabricación y ensamble.	Iniciar operación de todo el sistema de producción.
<i>Otras funciones</i>	Investigación: demostrar tecnologías disponibles.	Finanzas: facilitar análisis económico.	Finanzas: facilitar análisis de fabricar contra comprar.		Ventas: desarrollar plan de ventas.	Administración general: efectuar revisión posterior al proyecto.

Fuente: (Ulrich, 2013)

2.3 Desarrollo del concepto: Proceso frontal

Esta parte del desarrollo del proceso actúa de manera relacional, es decir que existen algunas actividades afines, cada una de estas actividades puede volver a la anterior para resolver algo que se ha identificado en la etapa presente, esto se conoce como iteración de desarrollo. Para este proceso se determinan la tabla 4 (Ulrich, 2013):

Tabla 4*Proceso frontal para el desarrollo del concepto*

N.º	Característica	Descripción
1	Identificar las necesidades	Aquí deben identificarse y describirse las necesidades del cliente de forma jerárquica.
2	Establecer especificaciones objetivo	Es describir de manera técnica las necesidades que fueron mencionadas por el cliente en la etapa anterior para trabajar en ellas de manera específica.
3	Generación de conceptos	Crear en el grupo de desarrollo la mayor cantidad de conceptos para el producto, mediante gráficas y descripciones textuales.
4	Selección de concepto	Seleccionar el concepto que mejor salida puede tener y el que cumple con las expectativas de los futuros clientes.
5	Prueba del concepto	Se realizan varias pruebas para determinar si el concepto elegido funciona respondiendo a las necesidades de los clientes. En estas pruebas el desarrollo del producto puede quedar en esa fase y terminarse al recibir mala aceptación de los clientes.
6	Establecer especificaciones finales	Definir metas con valores que puedan ser medidos y comprobados para asegurar que el producto es lo que el cliente va a aceptar y que cumple con sus expectativas.
7	Planeación del proyecto	Se logra identificar tiempos mínimos para la producción de determinado producto que cumpla con el concepto aceptado previamente y los valores límite definidos.

En la ejecución de proceso frontal para el desarrollo del concepto, se realizar tres actividades que se encuentran conectadas durante todo el proceso, estas son:

1. Análisis económico

Usualmente el equipo de trabajo va a requerir un analista financiero que acompañe en las decisiones a tomarse para el nuevo producto. Puede haber un análisis económico previo antes de iniciar con la fase de desarrollo para a grandes rasgos conocer datos sobre los costos del producto a ser manufacturado.

2. Comparación de productos de la competencia

Se debe recaudar la mayor cantidad de información necesaria para conocer a la competencia ya existente en el mercado y así iniciar el lanzamiento del producto con un posicionamiento competitivo.

3. Modelado y construcción de prototipos

Durante todo el proceso de desarrollo se va realizando distintos tipos de pruebas tanto en materiales, funcionamiento o cálculos para verificar valores establecidos para el producto. Con estos prototipos se pueden establecer los parámetros finales para la construcción del modelo final.

2.4. Cultivos de semillas en Ecuador

Dentro de la constitución del Ecuador se encuentra el artículo 281 que habla sobre la soberanía alimentaria. El artículo estipula que “Art 281. La soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiado de forma permanente.” (Asamblea Constituyente, 2008)

Dentro de la amplia gama de productos agrícolas que se producen en el país, se decidió optar por las semillas hortícolas ya que su tiempo de cultivo es menor que en otros productos, por lo tanto, el tiempo de retorno sobre el capital invertido es menor.

En el caso del Ecuador, los suelos permiten tener variedad de alimentos, pero como menciona Álvarez “Las dos principales hortalizas que se siembran en el Ecuador son el brócoli y el tomate, en términos de área cultivada. En el primer caso se trata de un cultivo principalmente para la exportación y en el segundo caso su destino final es la agroindustria.” (Álvarez, Bravo, & Armendaris, 2014)

Con la investigación realizada sobre semillas y cultivos se determinó cuáles son los principales productos hortícolas en Ecuador. Debido a que la semilla de brócoli tiene una disposición geométrica más regular en comparación a las semillas de tomate se escoge las semillas de brócoli para establecer los parámetros de diseño de la máquina.

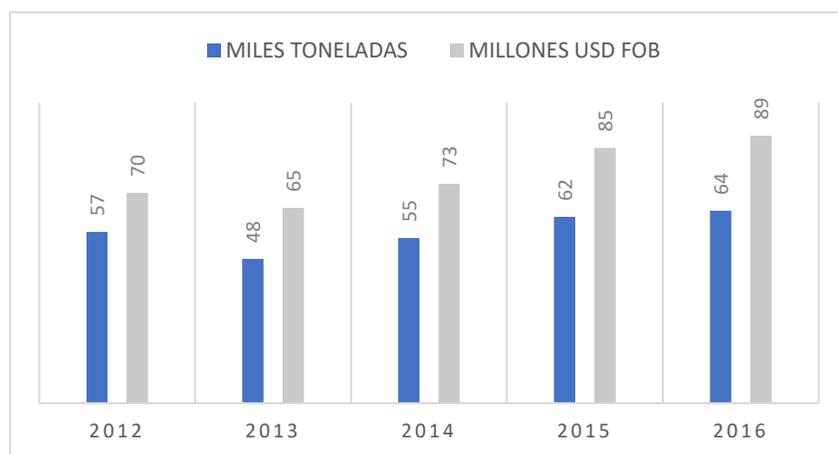
Estas semillas se desarrollan mayormente en las zonas frías del país así nos indica Pro-Ecuador “El brócoli de Ecuador se produce principalmente en tres provincias de la Sierra: Cotopaxi, Pichincha e Imbabura (ver en la figura 6); así mismo se cultiva en Tungurahua y Chimborazo a una altura entre los 2,600 y 3,300metros sobre el nivel del mar.” (PRO-ECUADOR, 2017)



Figura 6 Mapa sectorial de producción de brócoli
Fuente: (PRO-ECUADOR, 2017)

En la tabla 5 podemos observar la evolución de las exportaciones de brócoli de Ecuador. Según PRO ECUADOR las exportaciones de brócoli han presentado un incremento en volumen comparando desde el año 2013 al 2016.

Tabla 5
Exportaciones de brócoli



Fuente: (PRO-ECUADOR, 2017)

2.5 Manejo de productos alimenticios y semillas

Al tratar sobre el manejo de productos alimenticios estamos involucrando directamente a la inocuidad alimentaria, esto hace referencia a las condiciones y procesos que ayudan a cuidar la calidad de los alimentos con el fin de prevenir la contaminación y las enfermedades transmitidas por su consumo. La organización internacional encargada de regular estos procesos es la Food and Drug Administration con sus siglas FDA.

La norma NTE INEN-EN 1672-2 define a un alimento como “todo producto, ingrediente o material destinado a ser consumido oralmente por personas o animales.” (INEN, 2017). La FDA establece que “Un producto agrícola crudo es cualquier alimento en su estado crudo o natural.” (FDA, 2016) La FDA también estipula excepciones en la normativa para la seguridad de productos. Dentro de estas excepciones se contemplan los productos que no son de carácter agrícola crudo.

A pesar de que las semillas hortícolas en este caso el brócoli, no son consideradas un producto de consumo directo, se usará materiales aprobados por la FDA en el diseño de la máquina, con el fin de asegurar un mejor manejo en las semillas y evitar las contaminaciones biológicas por hongos y bacterias en el producto desde el principio de la cadena de producción. Con ello buscamos reducir el consumo de pesticidas de tal manera obtenemos un producto amigable con el ambiente.

2.5.1 Materiales para la industria alimenticia

“Durante la producción, y para proteger el alimento, los componentes de la máquina no deben desprender ni absorber sustancias nocivas ni que alteren negativamente el sabor ni el olor de los alimentos, tanto por contacto directo como indirecto. Para garantizar la seguridad durante la limpieza, los materiales de los componentes de la máquina no deben reaccionar al producto de limpieza ni a los productos químicos antimicrobianos (desinfectantes). Por lo tanto, deben ser resistentes a la corrosión, estables mecánicamente y diseñados de manera que la superficie del material no sufra alteraciones” (FESTO, 2013)

Los materiales más usados en la manipulación de alimentos son el acero inoxidable y materiales sintéticos que cumplan con la normativa de regulación como la NTE INEN-EN 1672 referente a la maquinaria para procesado de comestibles. Los aceros inoxidables son aleaciones de hierro, cromo y carbono, que en ocasiones se complementan con otros elementos, fundamentalmente el níquel. Es la adición de cromo la que le confiere a estos aceros el carácter de inoxidable. En medios oxidantes, por ejemplo, el aire, el cromo forma una capa de óxido muy fina y compacta que aísla al material de los ataques corrosivos. (Cedinox, 2014)

El acero inoxidable es utilizado en la industria alimentaria por presentar las siguientes características (Inoxcenter, 2016):

- Elevada resistencia a la corrosión.
- Superficie totalmente compactada.
- Elevada resistencia a choques y tensiones mecánicas.
- Elevada resistencia a variaciones térmicas.
- Ausencia de recubrimientos de fácil deterioro.

- No aporta partículas por desprendimiento.
- Óptima capacidad de limpieza y, en consecuencia, elevado grado de eliminación de bacterias.

Requerimientos que deben cumplir los materiales en contacto con alimentos según la FDA

- La maquinaria resistente a la oxidación como el AISI 304, 316.
- En fabricación y preparación de productos comestibles no es permitido el uso de recipientes o maquinaria de hierro esmaltado o vitrificado.

Los materiales sintéticos deben tener buenas propiedades mecánicas sobre todo resistentes a la abrasión y al calor, no deben ser tóxicos. En la tabla 6 se puede observar algunos materiales sintéticos permitidos por FDA

Tabla 6

Materiales aprobados por la FDA

<i>DENOMINACIÓN</i>	<i>ABREVIATURA</i>
Polipropileno	PP
Poliamida	PA
Cloruro de polivinilo	PVC
Polifluoruro de vinilideno	PVDF
Polioximetileno	POM
Polimetilmetacrilato	PMMA
Policarbonato	PC
Polietileno hd	PE-HD
Tereftalato de polietileno	PET
Polieteretercetona	PEEK
Politetrafluoroetileno	PTFE

Fuente: (Profesional plastics, 2018)

2.6 Bandas transportadoras

“Los elementos de máquinas elásticos o flexibles como bandas, cables, cadenas y otros similares se emplean en los sistemas de transporte y para transmitir potencia a distancias comparativamente largas.” (Shigley, 2008)

Las bandas transportadoras son sistemas empleados para desplazar objetos desde un punto a otro de manera continua, emplean un mecanismo de transmisión de movimiento circular, es semejante a

un sistema de poleas con correa como se ve en la figura 7, donde la polea viene a ser el tambor motriz y la correa la banda.



Figura 7 Banda transportadora
Fuente: (EMI Corporation, 2018)

La banda transportadora debe reunir los siguientes requisitos:

- Alta resistencia mecánica a la tracción
- Flexibilidad en dirección longitudinal y transversal
- Elevada resistencia al desgaste y a reiterados dobleces.
- Poca plasticidad y alta resistencia a la humedad.

Una de las principales ventajas de las bandas transportadoras es su reducido peso y posibilidad de desplazar la carga a grandes velocidades.

Antonio Miravete plantea una clasificación de las bandas transportadoras según su material de fabricación, dividiéndolas en 4 grupos, ver en la tabla 7.

Tabla 7

Clasificación de las bandas transportadoras según su material

<i>Bandas transportadoras en la industria</i>	Tela de caucho con tejido de algodón.
	Sintéticas (de fibra).
	De acero, totalmente laminadas o fabricadas de alambre.
	Tela de caucho con cuerdas de acero vulcanizadas en su interior.

Fuente: (Miravete, 2002)

Dentro de las bandas de caucho es posible encontrar una amplia gama de texturas, colores y espesores, entre ellas se encuentran las bandas de textura lisa que son utilizadas para transporte horizontal o de poca inclinación y las bandas de textura rugosa que son empleadas generalmente en instalaciones con ángulos elevados de transporte o donde se requiera que la carga se mantenga segura y tenga un movimiento mínimo durante su traslado.

“Una banda de transporte se compone de una o más fibras y capas plásticas como se puede ver en la figura 8. Las fibras pueden ser naturales (como el algodón) o artificiales (como el poliéster) y las capas plásticas pueden ser de PVC (policloruro de vinilo), PU (poliuretano), PE (polietileno), poliolefina, Hytrel o silicona.” (Nitta Corporation, 2018)

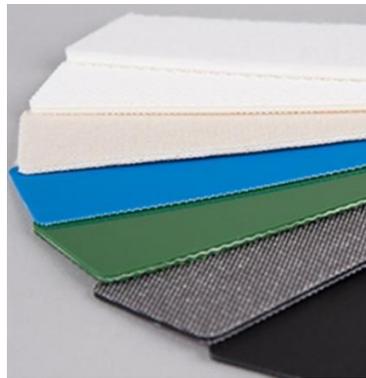


Figura 8 Materiales para bandas transportadoras
Fuente: (Nitta Corporation, 2018)

Las bandas utilizadas en la industria alimenticia deben cumplir características para todo tipo de procesamiento de alimentos: propiedades antiadherentes incluso para productos alimentarios muy pegajosos, revestimientos resistentes al desgaste y a la abrasión, y una sofisticada resistencia química ante los productos de limpieza habituales y los ingredientes alimentarios. (Habasit, 2018) Algunos materiales sintéticos utilizados en bandas para el transporte de alimentos y aprobados por la FDA son:

- Tereftalato de polietileno (PET)
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Goma de silicona
- Copoliéster termoplástico (TPPE)
- Poliuretano termoplástico (TPU)

Al momento de elegir el material para una banda de transporte de alimentos es necesario tomar en cuenta las siguientes características (Habasit, 2018):

- Resistencia de carga
- Rango de temperatura de trabajo
- Coeficiente de fricción
- Fácil limpieza
- Rendimiento fiable y larga vida útil
- Resistencia a los aceites vegetales y a los agentes químicos
- Resistente a agente biológicos como hongos y bacterias
- Grado alimenticio

Según Habasit fabricante líder a nivel mundial en bandas, el uso del PVC es ideal para transportar Agro alimentos. También basados en las características anteriormente descritas y la disponibilidad de materiales en el mercado se selecciona la banda de Policloruro de vinilo (PVC) y fibras de algodón ya que esta satisface las especificaciones requeridas para el desarrollo de este proyecto ver tabla 8.

Tabla 8

Características del PVC

Características del PVC	Resistencia, rigidez y dureza mecánicas elevadas
	Buen aislante eléctrico
	Elevada resistencia a sustancias químicas
	Autoextinguible
	Impermeable a gases y líquidos
	Mínima absorción de agua
	Resistente a la acción de hongos, bacterias, insectos y roedores

Fuente: (Industrias JQ, 2016)

2.7 Actuadores

Según Eugenio Vildósola un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz

eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo de el origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”. (Vildósola, 2013) Entonces un actuador es un elemento que permite transformar energía eléctrica, hidráulica o neumática en energía mecánica es decir convierte una forma de energía en otra.



Figura 9 Actuador lineal y actuador rotacional
Fuente (Mastermac, 2016)

Los actuadores se clasifican según el tipo de movimiento que genera y a su vez por el tipo de energía empleada para su accionamiento. Según su movimiento se puede clasificar en lineales y rotativos ver figura 9. En la tabla 9 podemos observar una comparación entre los tipos de actuadores existentes.

Tabla 9
Clasificación de los actuadores

	<i>Neumáticos</i>	<i>Hidráulicos</i>	<i>Eléctricos</i>
Energía	Aire comprimido	Aceite mineral	Corriente eléctrica
Opciones	Cilindros Motor de paletas Motor de pistón	Cilindros Motor de paletas Motor de pistón Axiales	Corriente continua Corriente alterna Motor paso a paso Servomotor
Ventajas	Rápidos Sencillos Robustos	Rápidos Alta capacidad de carga Estabilidad frente a cargas estaticas	Menor costo Fiables Fácil control Sencilla instalación Silencioso
Desventajas	Dificultad de control continuo Instalación especial (compresor, filtros) Ruidoso	Difícil mantenimiento Instalación especial (filtros, eliminación aire) Frecuentes fugas	Potencia limitada

Fuente (Vildósola, 2013)

Los motores eléctricos constan principalmente de dos partes: una fija llamada estator y una móvil llamada rotor, como se muestra en la Figura 10. Se clasifican en 3 grupos motores de corriente continua, corriente alterna y motores paso a paso. Los actuadores eléctricos son en general son muy precisos y fiables, silenciosos, de fácil control e instalación. Su mayor inconveniente es que son de potencia limitada. (Mosquera, 2015) Nos enfocaremos en los actuadores eléctricos rotativos de corriente continua ya que estos serán empleados para el desarrollo de este proyecto.

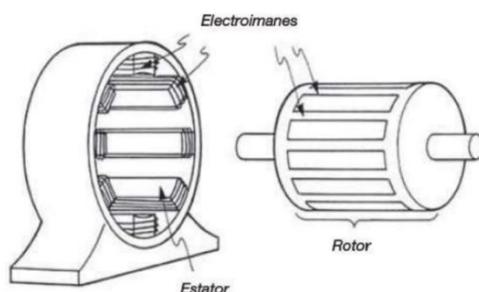


Figura 10 Partes de un motor eléctrico
Fuente: (Mosquera, 2015)

En motores de corriente continua la interacción entre dos campos magnéticos provoca el movimiento rotatorio, son los más usados debido a su facilidad de control. Son usados en aplicaciones de control de velocidad en general y donde se requiere precisión en el posicionamiento.

2.8 Sistemas de aire comprimido

El término neumática es derivado del griego Pneumos o Pneuma (respiración, soplo) y es definido como la parte de la Física que se ocupa de la dinámica y de los fenómenos físicos relacionados con los gases. (Parker Hannifin Corporation, 2003) Los sistemas neumáticos son sistemas que emplean aire u otro gas comprimido como medio para la transmisión de potencia. El estado de un gas está definido por la presión, volumen y temperatura que se encuentre.

El aire comprimido es una masa de aire compactado por medios mecánicos, hasta llevarlo a una presión superior a la atmosférica, esto se logra generalmente con el uso de un compresor. El objetivo es aprovechar la capacidad de compresión que tiene el aire atmosférico, con el fin de ser utilizado directamente como energía o almacenarlo para darle un uso posterior.

Propiedades físicas del aire

- **Compresibilidad:** Es posible reducir el volumen de una masa de aire cuando está sometida a la acción de fuerza exterior.
- **Difusibilidad:** Esta propiedad permite al aire mezclarse de forma homogénea con cualquier medio gaseoso que no se encuentre previamente saturado.
- **Expansibilidad:** El aire puede ocupar totalmente el volumen de cualquier recipiente y adquirir su forma.
- **Elasticidad:** Propiedad que permite al aire volver a su volumen inicial después de haber estado comprimido.

Los sistemas neumáticos están directamente relacionados con cuatro tipos de presión (ver tabla 10), la unidad de medida del SI (Sistema internacional) es el Pascal [$\frac{N}{m^2}$] (Majumdar, 1997):

Tabla 10

Tipos de Presiones

Presión Atmosférica	Es el peso que ejerce el aire de la atmósfera por efecto de la gravedad sobre la superficie terrestre. Es posible medirla con barómetro. La presión atmosférica varía acorde a la altitud, es decir si a nivel del mar la presión es de 1,013 bar en un lugar de mayor altura la presión será menor. Por ejemplo, la ciudad de Quito se encuentra a 2800 msnm y su presión atmosférica es de 0,726 bar.
Presión Relativa	Es la presión que resulta de tomar como referencia la presión atmosférica. Se mide con un manómetro y por ello es también conocida como presión manométrica, esta presión es la utilizada generalmente para realizar mediciones en los sistemas neumáticos.
Presión absoluta	Es la presión resultante de la sumatoria entre la presión atmosférica y la presión manométrica.
Presión de vacío	Es la presión que se encuentran por debajo de la presión atmosférica. La presión de vacío se mide por medio de un vacuómetro. Como esta presión depende de la atmósfera y esta a su vez depende de la altitud, la presión de vacío también dependerá de la altura de la superficie terrestre.

En la figura 11 se puede apreciar una representación gráfica de las presiones descritas anteriormente.

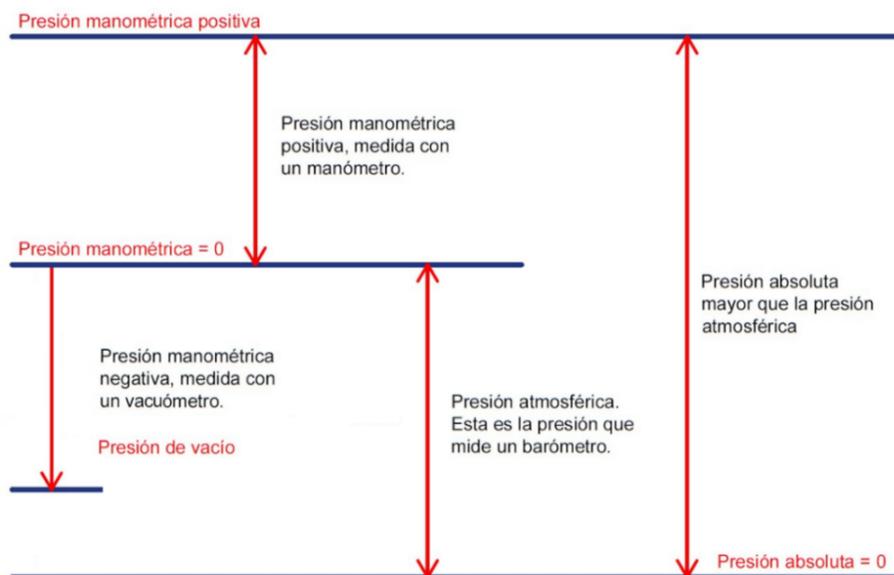


Figura 11 Cuadro de presiones

Los sistemas de aire comprimido y herramientas neumáticas se utilizan ampliamente en la industria, en la tabla 11 podemos observar un análisis de las ventajas y desventajas de su uso.

Tabla 11

Ventajas y desventajas de un sistema de aire comprimido

<i>Sistemas de aire comprimido en la industria</i>	
<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Generación del aire comprimido sin limitaciones ya que la materia prima abunda y no tiene costo.	El aire es un fluido altamente compresible, por lo tanto, es imposible conseguir paradas intermedias y velocidades uniformes
Incremento de la producción.	
Reducción de costos operacionales.	Difícil obtener velocidades de trabajo muy bajas
Robustez de los componentes neumáticos.	
Admite altas velocidades de trabajo	
Fácil de acumular en tanques o depósitos.	El aire comprimido necesita ser tratado (filtrado y lubricado) para efectuar una operación.
Resistencia a ambientes hostiles.	
Simplicidad de manipulación.	
Fácil distribución, no precisa recuperación.	

Fuente: (Parker Hannifin Corporation, 2003)

2.8.1 Partes de un sistema de aire comprimido.

El componente principal de la producción de aire es el compresor, este elemento se encarga de captar el aire atmosférico y elevar la presión de este. El aire generalmente está contaminado con partículas e impurezas de la atmosfera y a una temperatura elevada, es por esto que para preservar la vida útil de las herramientas neumáticas es necesario tratar el aire que sale del compresor. El acondicionamiento del aire comprimido empieza en el tanque acumulador que tiene como principal objetivo mantener el abastecimiento de aire y eliminar la fluctuación de presión, seguido por la unidad de mantenimiento, donde se filtra, regula y lubrica de ser necesario. El aire ya tratado se canaliza mediante tubería y pasa por un sistema de control para finalmente llegar al actuador ver figura 12.



Figura 12 Sistema de aire comprimido tratado

“Las tendencias modernas evolucionan hacia la posibilidad de funcionar los elementos neumáticos con aire no lubricado. Cada vez se fabrican más componentes capaces de funcionar en estas condiciones que evitan la contaminación del aire, sobre todo en industrias agroalimentarias, farmacéuticas, de cosméticos.” (Serrano, 2009)

2.8.2 Eyector o generador de vacío

“Los generadores de vacío son elementos que, como su nombre indica, se encargan de producir vacío o depresión de aire. A diferencia de las bombas de vacío que funcionan con la energía de un motor eléctrico, los generadores funcionan sin partes móviles y el aprovechamiento del efecto Venturi”. (Serrano, 2009) Para su funcionamiento se requiere de aire comprimido, por lo tanto, de una red neumática.

El efecto Venturi se explica por medio del principio de Bernoulli, este dice que “si un fluido pasar por un punto a una mayor velocidad la presión disminuye, y si pasa a menor velocidad la presión aumenta”. (Romero, 2014) En una tubería que transporta un fluido, es posible lograr

disminución de la presión en un punto, aumentado la velocidad del fluido, esto se logra mediante la reducción la sección de la tubería en el punto que se requiera la caída de presión.

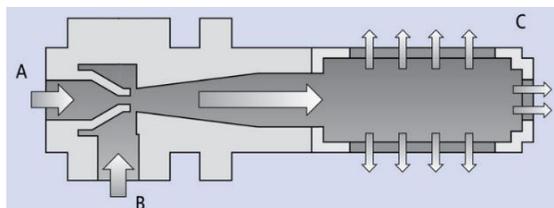


Figura 13 Corte transversal de un generador de vacío
Fuente: (SCHMALZ, 2015)

En la figura 13 podemos observar el corte transversal de un generador de vacío, en el punto A se encuentra la entrada de aire a presión positiva, en el punto B está la entrada de vacío o presión negativa y en el punto C la salida de aire, generalmente se emplean silenciadores en este punto.

Ventajas de los generadores de vacío (SCHMALZ, 2015):

- Diseño compacto.
- Peso reducido.
- Establecimiento del vacío rápido.
- Se pueden montar en cualquier posición.

2.9 Máquinas y métodos existentes

A nivel mundial existen varias empresas que ofrecen maquinaria para desarrollo de procesos agrícolas como es la germinación de semillas, entre ellas se menciona las 3 más representativas.

- Urbinati (Italia)
- Arnabat (España)
- Visser (Países bajos)

2.9.1 Métodos para punzonado y sembrado

Dentro de la línea productos para siembra que ofrecen estas empresas encontramos los siguientes tres tipos de sistemas o mecanismos diferentes, tanto para el proceso de punzonado como para el de siembra. Ver tabla 12.

Tabla 12*Métodos para punzonado y sembrado en bandejas*

	<i>FILA</i>	<i>PLACA</i>	<i>CILINDRO</i>
<i>Métodos para punzonado en bandejas</i>	<p>Se punzona una fila de la bandeja a la vez.</p>  <p>Figura 14 Punzonado por fila Fuente: (Printerest, 2017)</p>	<p>Se utiliza una matriz de punzones, que se desplaza verticalmente para punzonar toda la bandeja.</p>  <p>Figura 15 Punzonado en placa Fuente: (ARNABAT, 2009)</p>	<p>Los punzones se encuentran adheridos a un cilindro en forma matricial, el cilindro gira y se punzona una fila a la vez, el proceso es continuo.</p>  <p>Figura 16 Punzonado con cilindro Fuente: (Blackmore, 2017)</p>
	<i>Métodos para sembrado de semillas en bandejas</i>	<p>El sembrado se realiza mediante una fila de pequeñas agujas que tienen succión interna, las semillas se deposita en las bandejas una fila a la vez.</p> <p>Empleado volúmenes de producción pequeños.</p>  <p>Figura 17 Sembrado por filas Fuente: (Farmshow, 2018)</p>	<p>Mediante una placa perforada, y succión en su interior las semillas son absorbidas y depositadas en las celdas de toda la bandeja.</p> <p>Para volúmenes de producción medianos y altos, según el grado de automatización.</p>  <p>Figura 18 Sembrado por placa Fuente: (Johnnyseeds, 2018)</p>

Los métodos mencionados anteriormente se describen el capítulo tres de este documento. Dentro de la gama de maquinaria existente para el proceso de punzonado y sembrado se presenta como principal característica el número de bandejas sembradas por hora. Basados en ese parámetro y el grado de automatización que tenga la máquina es posible clasificarlas por el volumen de producción en pequeño, medio y alto.

2.9.2 Maquinas existentes

Máquina Urbinati (Italia)

La máquina de Urbinati emplea el método de cilindro para el punzonado y para la siembra de semillas, entre sus principales características están:

- El sistema de banda transportadora permite insertar esta máquina en una línea completa de producción.
- Vibrador instalado en bandeja de siembra para optimizar la colección de semillas.
- Siembra de rodillos controlados electrónicamente y ajustables eléctricamente en altura

Tabla 13

Especificaciones técnicas Urbinati



Figura 20 Punzadora y sembradora Urbinati
Fuente: (URBINATI, 2014)

<i>Especificaciones técnicas</i>	
Bandejas de producción / hora	600
Dimensiones del recipiente de siembra [mm]	Ajustable hasta 580 × 400
Peso [Kg]	280
Dimensiones [m]	2,27 x1,13x 1,10
Consumo de aire [l/min]	100
La potencia instalada [kW]	3,5
Precio aprox.	24.000 USD

Fuente: (URBINATI, 2014)

Máquina Visser (Países Bajos)

La máquina de Visser emplea el método de cilindro para el punzonado y para la siembra de semillas, entre sus principales características están:

- Dosificador de semilla automático, evita que el operario rellene la bandeja de manera manual.
- Alta velocidad de sembrado y gran precisión.
- Las semillas pasan a través de una barra de soplado que elimina posibles semillas dobles lejos de las boquillas de siembra.

Tabla 14

Especificaciones técnicas Visser



Figura 21 Punzadora y sembradora Visser

<i>Especificaciones técnicas</i>	
Bandejas de producción / hora	700
Dimensiones del recipiente de siembra [mm]	600 × 400
Peso [Kg]	320
Dimensiones [m]	3,50 x1,85x 2,20
Consumo de aire [l/min]	450
La potencia instalada [kW]	2,5
Precio aprox.	22.000 USD

Fuente: (Visser, 2015)

Máquina Arnabat (España)

La máquina de Arnabat es un híbrido que combina dos sistemas, emplea tipo placa para el punzonado y el método se cilindro para el sembrado, entre sus principales características están:

- Trabaja con cualquier tipo de bandeja y semillas.
- Tambor de siembra con vibrador en el cajón de semillas y sistema de eliminación de dobles.
- Limpieza automática de los agujeros del tambor de siembra.

Tabla 15

Especificaciones técnicas Arnabat



Figura 22 Punzadora y sembradora Arnabat
Fuente: (ARNABAT, 2009)

<i>Especificaciones técnicas</i>	
Bandejas de producción / hora	300
Dimensiones del recipiente de siembra [mm]	Ajustable
Dimensiones [m]	3,1 x1,1x 1,65
Consumo de aire [l/min]	400
La potencia instalada [kW]	5,5
Precio aprox.	22.000 USD

Fuente: (ARNABAT, 2009)

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL CONCEPTO

3.1. Identificar necesidades

La implementación de este proyecto empieza con la idea de mejorar los procesos agroindustriales y hortícolas que se utilizan en el país, por esta razón no se tiene un cliente específico y por ello se utilizará la información de maquinaria ya existente a nivel mundial y la visualización del proceso manual con el fin de identificar algunos requerimientos que debe tener la máquina.

En este caso el cliente vendría a ser las empresas dedicadas a la producción de plántulas o conocidas como piloneras. Luego de realizar un análisis del proceso manual y el funcionamiento de maquinaria ya existente para el sembrado de semillas en bandejas de germinación se identificó las siguientes necesidades:

- Depositar una semilla en cada celda de la bandeja
- Sembrar una gran variedad de semillas
- Sembrar a diferentes profundidades
- Poder usar cualquier tipo de bandejas (Proveedor local de bandejas)
- Eliminar el posicionamiento de las semillas de manera manual
- Sembrar muchas bandejas de manera rápida
- Cualquier persona puede operar la máquina
- Poco consumo de aire
- Debe ser pequeña y poder adaptarse al proceso de sembrado faltante
- El mantenimiento de la máquina debe ser sencillo y económico
- Durante el proceso la semilla no debe ser lastimada
- El sustrato no debe contaminarse
- Debe verse estéticamente bien
- Presupuesto limitado para la fabricación

3.2 Especificaciones objetivo

Teniendo claro cuáles son las necesidades establecemos las especificaciones objetivo de la máquina, es decir interpretamos las necesidades del cliente y las traducimos a un lenguaje técnico. Estas están relacionadas con los resultados que se pretende llegar a tener en el producto final.

- Gran velocidad de siembra
- Sembrado con gran precisión
- Regular la profundidad de sembrado
- Reducir la intervención humana en el proceso
- Mantener las características físicas de las semillas
- Adaptabilidad a variedad de tamaños de bandejas y semillas
- Fácil de operar por cualquier persona
- Diseño modular y que permita la integración de otros procesos
- Diseño robusto y estéticamente agradable
- Bajo costo de manufactura y mantenimiento
- Bajo consumo de energía
- Mínimo consumo de aire
- Diseño ergonómico

3.3.1 Lista de métricas

Basados en las especificaciones objetivo establecemos una lista de métricas, esto implica transformar las especificaciones objetivo a variables cuantificables. En esta etapa del proceso es necesario establecer una jerarquía entre las métricas, para este caso lo haremos con el grado de prioridad, puede ser esta baja, media y alta.

Tabla 16
Listado de métricas

N.º	Métrica	Unidad	Prioridad
1	Bandejas sembradas	[B/h]	Alta
2	Porcentaje de semillas sembradas	[%]	Alta
3	Profundidad de sembrado	[mm]	Alta
4	Tamaño de semillas	[mm]	Medio
5	Dimensiones de la bandeja	[mm]	Medio
6	Número de operaciones a realizar por el operario	[Cant]	Bajo
7	Porcentaje de daños causados a la semilla	[%]	Alto
8	Costo de manufactura	[\$]	Medio
9	Costo de mantenimiento	[\$]	Medio
10	Potencia de la máquina	[kW]	Bajo
11	Consumo de aire	[l/min]	Alto
12	Peso de la máquina	[Kg]	Bajo
13	Adaptabilidad con otros procesos	[subj]	Medio
14	Diseño ergonómico	[subj]	Alto
15	Cumple con la normativa para manejo de alimentos	[subj]	Medio

*Las bandejas sembradas se miden en Bandejas/hora [B/h]

*Subjetivo [subj]

3.2.2 Información de la competencia

Dentro del mercado local no se ha encontrado maquinaria que presente las características anteriormente descritas. Por esta razón acudimos a un mercado internacional con el fin de encontrar mecanismos que realicen el proceso de sembrado en bandejas. En el ítem 2.9 Máquinas y métodos existentes de este documento se presenta algunas máquinas y sus características. Con el fin de tener una idea general de las capacidades y características que deben el diseño de la máquina, se realizó una tabla comparativa entre las máquinas existentes. Tomando en cuenta que

la información es limitada en la tabla de métricas propuesta no todos los parámetros serán comparados.

Tabla 17
Comparativa de métricas entre máquinas de la competencia

N.º	Métrica	Urbinati	Arnabat	Visser	Unidad
1	Bandejas sembradas	600	300	700	[B/h]
2	Porcentaje de semillas sembradas	95	90	98	[%]
3	Profundidad de sembrado	Ajustable	Ajustable	Ajustable	[mm]
4	Tamaño de semillas	Varias	Varias	Varias	[mm]
5	Dimensiones de la bandeja	Ajustable hasta 580 × 400	Ajustable	Ajustable hasta 600 × 400	[mm]
6	Número de operaciones a realizar	3	3	3	[Cant]
7	Porcentaje de daños en la semilla	-	-	-	[%]
8	Costo de manufactura	-	-	-	[\$]
9	Costo de mantenimiento	-	-	-	[\$]
10	Potencia de la máquina	3.5	5.5	2.5	[kW]
11	Peso de la máquina	280	-	320	[Kg]
12	Adaptabilidad con otros procesos	Si	Si	Si	[subj]
13	Diseño ergonómico	Si	Si	Si	[subj]
14	Cumplimiento de normativa	Si	Si	Si	[subj]
15	Consumo de aire	100	400	450	[l/min]

3.2.3 Valores objetivo y marginalmente aceptables

Establecer los valores objetivo y marginalmente aceptables consiste en puntualizar un valor mínimo y máximo para cada métrica propuesta, el valor objetivo indica valor ideal para la métrica mientras que el valor marginal es el valor que podría ser aceptado, pero con un grado de conformidad muy pequeño. En la tabla 18 se presenta los rangos de valores para cada métrica.

Tabla 18
Valores objetivo y marginalmente aceptable

N.º	Métrica	Valor mínimo	Valor máximo	Unidad
1	Bandejas sembradas	400	800	[B/h]
2	Porcentaje de semillas sembradas	90	100	[%]
3	Profundidad de sembrado	5	20	[mm]
4	Tamaño de semillas	1	4	[mm]
5	Dimensiones de la bandeja	300x200	600x400	[mm]
6	Número de operaciones a realizar	1	3	[Cant]
7	Porcentaje de daños en la semilla	10	0	[%]
8	Costo de manufactura	4000	5000	[\$]
9	Costo de mantenimiento	100	200	[\$]
10	Potencia de la máquina	< 5.5	5.5	[kW]
11	Peso de la máquina	< 300	300	[Kg]
12	Adaptabilidad con otros procesos	Si	Si	[subj]
13	Diseño ergonómico	Si	Si	[subj]
14	Cumplimiento de normativa	Si	Si	[subj]
15	Consumo de aire	< 250	250	[l/min]

3.3 Generación de conceptos del producto

3.3.1 Proceso de “Aclarar el problema”

Debido a que el proceso de sembrado y punzonado de manera manual involucra un trabajo intenso y con un número alto de tareas repetitivas es indispensable la implementación una máquina que reduzca la intervención humana en el proceso y aumente la producción de semillas sembradas. Con el fin de conseguir los mejores resultados en el diseño de la máquina se dividió subproblemas, estos son el punzonado y el sembrado. Para conseguir que la división funcional de los subproblemas se efectuó de la mejor manera se emplea el método de “caja negra” que opera en flujos de material, energía y señales. Como resultado de esto se obtiene una bandeja punzonada y sembrada como se muestra en la figura 23.

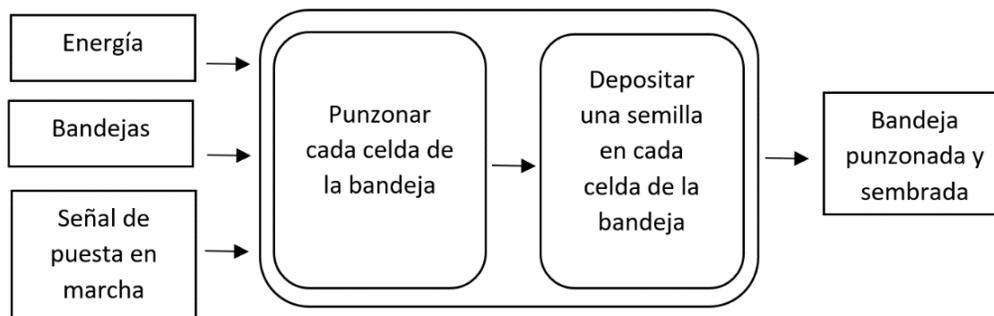


Figura 23 Caja negra de la sembradora

Ya implementado el método se procede a dividir el sistema de manera funcional, con el fin de conocer específicamente que función cumple cada componente de la máquina para la obtención de bandejas punzonada y sembradas.

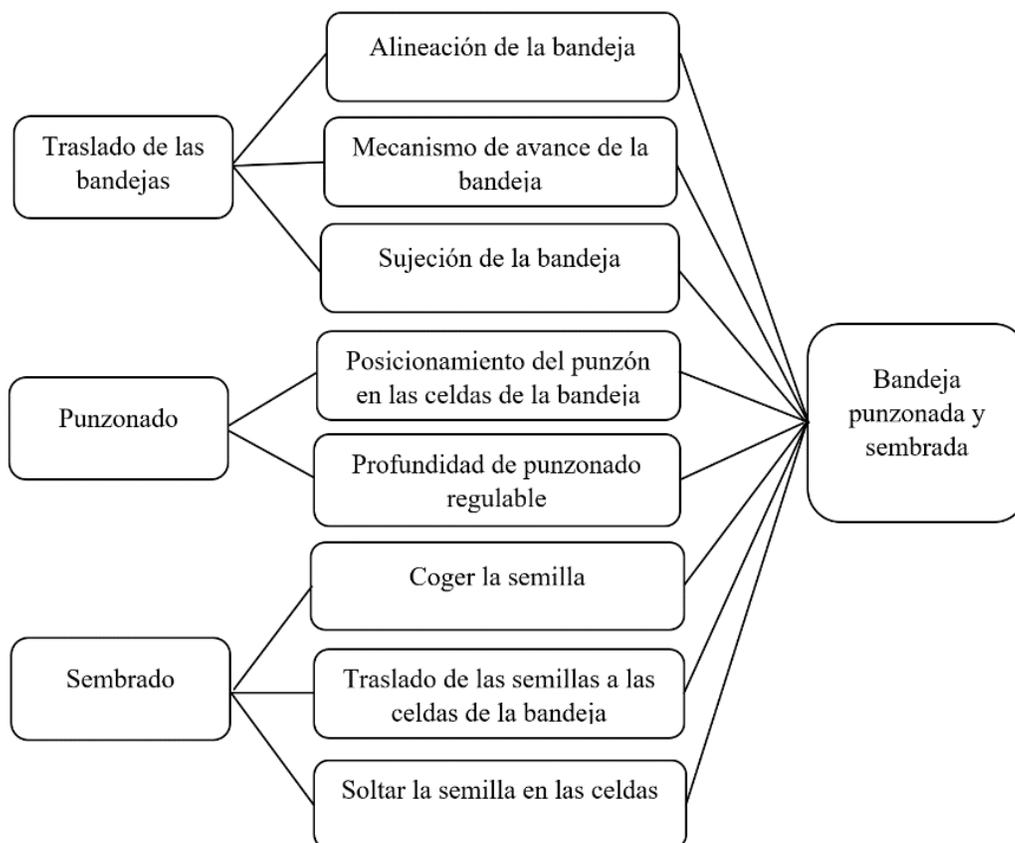


Figura 24 División en subfunciones

3.3.2 *Búsqueda externa*

La búsqueda externa es un método para conseguir soluciones propuestas por la competencia, con el fin de solucionar problemas o subproblemas del diseño de la máquina. Este paso en el desarrollo del concepto es de gran importancia ya que es más económico y rápido implementar una solución ya existente que desarrollar una nueva.

Al examinar el proceso de la máquina propuesta por Urbinati (Italia), encontramos que utiliza un sistema de traslado rotacional para el sembrado y para el punzonado, permitiendo que el sistema sea rápido y continuo. A diferencia de Arnabat (España) emplea una placa donde se encuentran sujetos los punzones y se desplazan verticalmente para realizar el punzonado, este proceso no es el más eficiente a pesar de que se utiliza para volúmenes de producción altos, ya que el sistema que transporta las bandejas debe detenerse para que la placa efectúe el punzonado. Visser (Países bajos) utiliza un sistema semejante a propuesto por Urbinati, con una variación en el sistema de transporte, Visser propone un mecanismo de separadores con el fin de mantener la bandeja adherida a la banda todo el tiempo y a demás ayuda a la sincronización de los punzones con la bandeja.

Las tres máquinas analizadas anteriormente proponen como solución al subproblemas de “coger la semilla” un sistema de succión, este resulta eficiente pero costoso ya que requiere un sistema neumático para funcionar.

3.3.3 *Búsqueda interna*

El equipo de diseño propone soluciones a los subproblemas basados en la experiencia y conocimientos propios de cada miembro del equipo. Por lo tanto, se está en la capacidad de diseñar y plantear soluciones efectivas a los problemas que se presenten en el desarrollo de este proyecto. Parte de la búsqueda interna es proponer mejoras a los sistemas ya existentes y así poder satisfacer las necesidades del cliente.

3.3.4 Actividades de exploración sistemática

Como resultado de la búsqueda externa e interna se plantean los conceptos que probablemente den solución a los subproblemas, se analizan las potenciales soluciones y la posibilidad de combinarlas. En la tabla 19 se propone algunas de estas soluciones.

Tabla 19
Combinación de conceptos

		<i>Posibles soluciones</i>		
Transporte	<i>Alineación de la bandeja</i>	Rieles guía	-	-
	<i>Mecanismo de avance de la bandeja</i>	Mesa con mecanismo piñón cremallera	Banda con rodillo motriz	-
	<i>Sujeción de la bandeja</i>	Separadores	Alto coeficiente de fricción	-
Punzonado	<i>Posicionamiento del punzón en las celdas de la bandeja</i>	Por fila	Matriz de igual dimensión que la bandeja	Rotacional
	<i>Profundidad de punzonado regulable</i>	Actuador Lineal eléctrico	Actuador Lineal neumático	Actuador Lineal Hidráulico
Sembrado	<i>Coger la semilla</i>	Succión	Pinza mecánica	-
	<i>Traslado de las semillas a las celdas</i>	Por fila	Matriz de igual dimensión que la bandeja	Rotacional
	<i>Soltar la semilla en las celdas</i>	Caída por gravedad	Soplado	Suspensión de succión

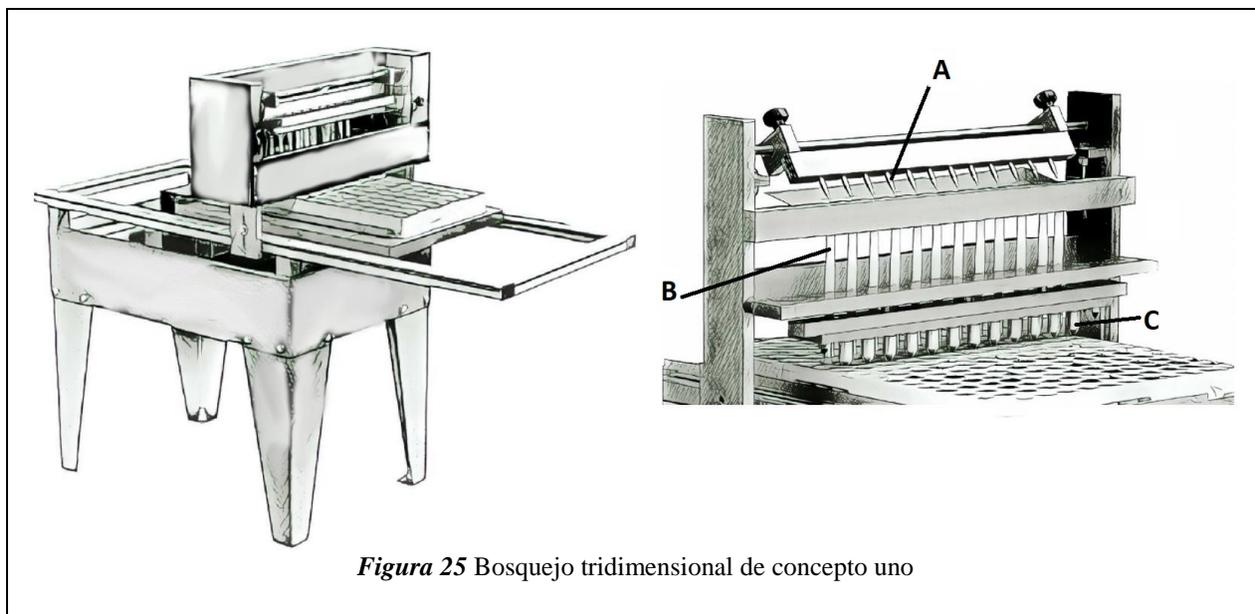
Mediante la combinación de las soluciones propuestas en la tabla anterior, se pueden generar algunos conceptos, buscando que estos sean funcionales y factibles de realizar. Estos conceptos serán representados mediante esquemas con su respectiva descripción para posteriormente seleccionar y desarrollar el mejor concepto.

3.3.5 Concepto uno

El concepto uno se encuentra desarrollado en la tabla 20, este está basado en la combinación de soluciones propuestas anteriormente.

Tabla 20

Propuesta del concepto uno



<i>Combinación de conceptos</i>			<i>Descripción</i>
<i>Trasporte</i>	Alineación de la bandeja	Rieles guía	<p>En este concepto el operario ubica la bandeja sobre la mesa, un mecanismo de piñón cremallera nos permite dar el avance que necesitamos para que las celdas de la bandeja se alineen con los punzones (C) ver figura 26. Cuando la bandeja está posicionada debajo de los punzones estos se desplazan verticalmente para realizar el punzonado.</p> <p>Las boquillas (A) succionan las semillas y las trasladan a la parte superior de los tubos (B), se suspende la succión, y las semillas caen por acción de la gravedad a través de los tubos que las canalizan hasta las celdas. Este proceso se repite el número de filas que tenga la bandeja hasta que se haya sembrado toda.</p>
	Mecanismo de avance de la bandeja	Mesa con mecanismo piñón cremallera	
	Sujeción de la bandeja	Alto coeficiente de fricción	
<i>Punzonado</i>	Posicionamiento del punzón en las celdas de la bandeja	Por fila	
	Profundidad de punzonado regulable	Actuador Lineal eléctrico	
<i>Sembrado</i>	Coger la semilla	Succión	
	Traslado de las semillas a las celdas	Por fila	
	Soltar la semilla en las celdas	Caída por gravedad	

3.3.6 Concepto dos

El concepto dos se encuentra desarrollado en la tabla 21, este está basado en la combinación de soluciones propuestas anteriormente.

Tabla 21

Propuesta del concepto dos

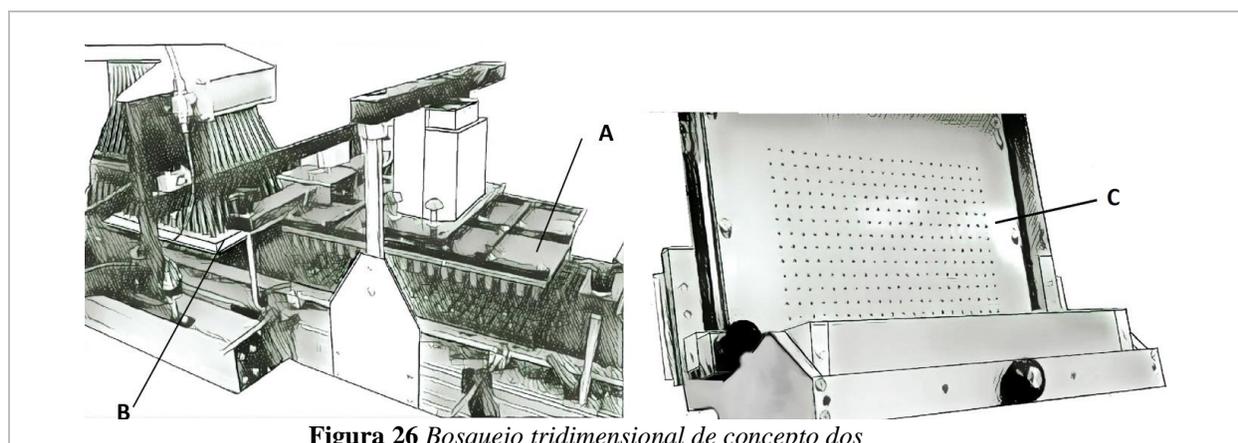


Figura 26 Bosquejo tridimensional de concepto dos

Combinación de conceptos		Descripción
<i>Trasporte</i>	Alineación de la bandeja	Rieles guía
	Mecanismo de avance de la bandeja	Banda con rodillo motriz
	Sujeción de la bandeja	Separadores
<i>Punzonado</i>	Posicionamiento del punzón en las celdas de la bandeja	Matriz de igual dimensión que la bandeja
	Profundidad de punzonado regulable	Actuador Lineal eléctrico
<i>Sembrado</i>	Coger la semilla	Succión
	Traslado de las semillas a las celdas	Matriz de igual dimensión que la bandeja
	Soltar la semilla en las celdas	Suspensión de succión

El operador posiciona la bandeja sobre la banda transportadora, mediante separadores la bandeja se mantiene adherida a la banda en todo momento. Para el punzonado la banda avanza hasta posicionarse en la parte inferior de una placa que tiene un matriz de punzones (A) ver figura 27, la placa se desplaza verticalmente realizando el punzonado de toda la bandeja al mismo tiempo.

La bandeja continúa sobre la banda hasta llegar a la etapa de sembrado donde se detiene nuevamente quedando alineada con las mangueras (B), una placa hueca con perforaciones y succión en su interior aspira las semillas que son colocadas mediante un sistema de barrido a través de toda la placa (C), luego esta se posiciona de manera que las semillas se encuentren en la parte inferior de la placa, se suspende la succión y por acción de la gravedad las semillas son canalizadas a través de mangueras hasta llegar a las celdas de la bandeja. El operario debe retirar la bandeja después de este paso.

3.3.7 Concepto tres

El concepto tres se encuentra desarrollado en la tabla 22, este está basado en la combinación de soluciones propuestas anteriormente.

Tabla 22

Propuesta del concepto tres

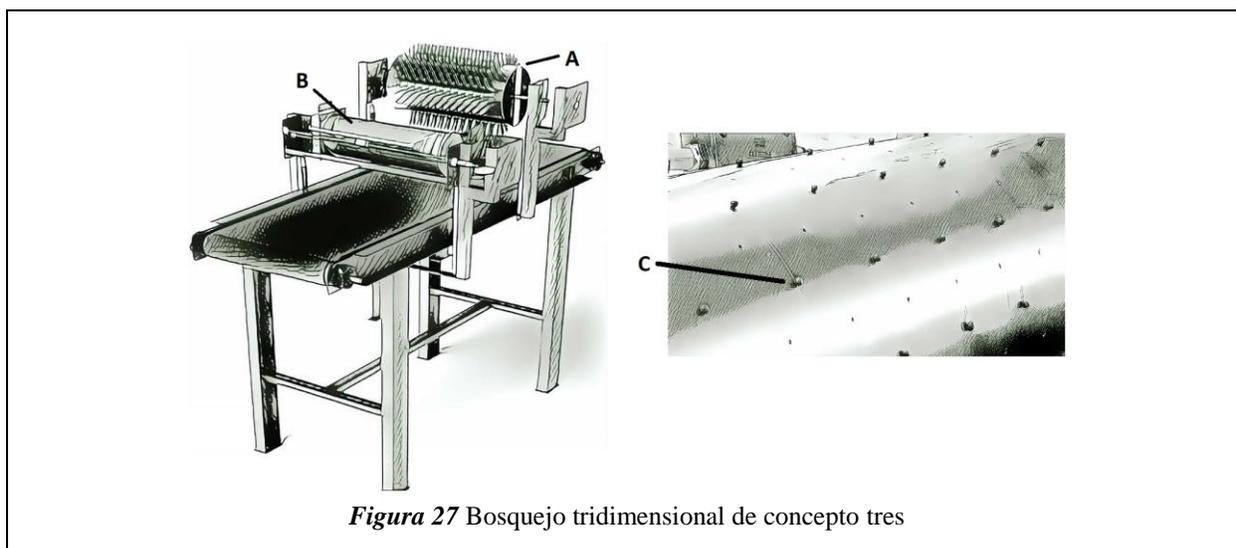


Figura 27 Bosquejo tridimensional de concepto tres

<i>Combinación de conceptos</i>			<i>Descripción</i>
<i>Trasporte</i>	Alineación de la bandeja	Rieles guía	<p>El operario ubica la bandeja sobre la banda transportadora, la banda de alto coeficiente de fricción y las rieles guía mantienen la bandeja alineada y segura durante todo el proceso.</p> <p>La bandeja avanza hacia el cilindro de punzonado ver figura 28 (A), donde los punzones pasan por encima quedando la forma del punzón en cada celda, la bandeja continua hacia el cilindro de siembra (B).</p> <p>Este cilindro se encuentra perforado en toda la superficie exterior con la misma distribución que la bandeja a sembrar como una matriz, de tal manera que al rotar coincida cada perforación con las celdas de la bandeja, dentro del cilindro existe un sistema de succión con el fin de generar una diferencia de presión entre el ambiente y el interior, de esta manera la semilla queda adherida al cilindro (C).</p> <p>En la parte inferior del cilindro se suspende la succión y por acción de la gravedad la semilla cae en las celdas. La bandeja sale del proceso y un operario la retira.</p>
	Mecanismo de avance de la bandeja	Banda con rodillo motriz	
	Sujeción de la bandeja	Alto coeficiente de fricción	
<i>Punzonado</i>	Posicionamiento del punzón en las celdas de la bandeja	Rotacional	
	Profundidad de punzonado regulable	Actuador Lineal Hidráulico	
	Coger la semilla	Succión	
<i>Sembrado</i>	Traslado de las semillas a las celdas	Rotacional	
	Soltar la semilla en las celdas	Caída por gravedad	

3.4 Selección del concepto

Como resultado de la generación de conceptos, se consiguió tres ideas viables, estas fueron desarrolladas y se plasmaron mediante bosquejos para tener una idea más amplia de cada diseño.

En esta etapa del proceso se selecciona la mejor idea que se ajuste a las necesidades del cliente para posteriormente desarrollarla. Se aplicará el método de matriz de selección para evaluar algunos parámetros y características del funcionamiento, así poder cuantificar la viabilidad del concepto. Dentro de los parámetros para la selección se tomará con mayor prioridad a la capacidad de producción, costo de manufactura y eficiencia del proceso.

3.4.1 Evaluación del concepto

Para la evaluación se establece la siguiente escala cuantificable, donde cinco es el grado de conformidad más alto.

Tabla 23
Ponderación

<i>Conformidad</i>	<i>Calificación</i>
Muy bueno	5
Bueno	4
Regular	3
Malo	2
Muy malo	1

Tabla 24
Matriz de Selección

<i>Criterios de selección</i>	<i>Peso [%]</i>	<i>Concepto 1</i>		<i>Concepto 2</i>		<i>Concepto 3</i>	
		<i>Calificación</i>	<i>Evaluación ponderada</i>	<i>Calificación</i>	<i>Evaluación ponderada</i>	<i>Calificación</i>	<i>Evaluación ponderada</i>
<i>Capacidad de producción</i>	30						
<i>Número de bandejas punzonadas</i>	15	3	0,45	4	0,75	5	0,75
<i>Número de bandejas sembradas</i>	15	3	0,45	4	0,6	5	0,75
<i>Eficiencia del proceso</i>	20						
<i>Eficiencia de punzonado</i>	10	3	0,3	5	0,4	5	0,5
<i>Eficiencia de sembrado</i>	10	2	0,2	3	0,3	5	0,5
<i>Mantenimiento</i>	5						
<i>Facilidad de limpieza</i>	2.5	3	0,08	3	0,08	3	0,08
<i>Baja frecuencia de mantenimiento correctivo</i>	2.5	3	0,08	3	0,08	3	0,08
<i>Costo de manufactura</i>	15						
<i>Piezas de fácil fabricación</i>	7.5	3	0,23	4	0,3	3	0,23
<i>Número reducido de piezas para ensamble</i>	7.5	4	0,3	3	0,23	3	0,23
<i>Sistema de control</i>	5						
<i>Facilidad de control</i>	5	4	0,2	4	0,2	3	0,15
<i>Facilidad de uso</i>	10						
<i>Sencillo de colocar las bandejas</i>	5	4	0,2	5	0,25	5	0,25
<i>Sistema fiable</i>	5	5	0,25	5	0,25	5	0,25
<i>Compatibilidad con otros sistemas</i>	10						
<i>Fácil de acoplar a las fases manuales del proceso</i>	10	3	0,3	5	0,5	5	0,5
<i>Apariencia</i>	5						
<i>Visualmente llamativo</i>	5	3	0,15	5	0,25	5	0,25
	<i>Evaluación Total</i>		3,18		4,18		4,5
	<i>Nivel Jerárquico</i>		3		2		1

3.4.2 Análisis de resultados en el proceso de selección

Como resultado de la matriz de selección (Tabla 24) se determinó que el sistema más eficiente que cumple con las necesidades requeridas es el concepto número tres, éste emplea el método de cilindro, tanto para el punzonado como para el sembrado. El sistema de transporte que se plantea en este concepto combinado con el movimiento rotacional de los cilindros nos permite obtener un sistema continuo eliminando los tiempos muertos del proceso y volviendo al sistema el más eficiente. Generalmente este método se emplea para volúmenes de producción altos.

3.5 Pruebas del concepto

3.5.1 Subsistema de dosificación de semilla

Luego de efectuar las pruebas del concepto en el cilindro de siembra, se presentó un factor que no se había anticipado, el problema fue la acumulación de varias de semilla en cada orificio de succión del cilindro ver figura 28, se consideró como un problema porque el objetivo principal es que cada orificio succione una sola semilla de esta manera se aprovecha correctamente la materia prima.



Figura 28 Semillas agrupadas en el cilindro

3.5.1.1 Coger la semilla

El problema se presentó al momento de succionar las semillas porque estas se acumulaban formando grupos en las tomas de succión, para su solución se desarrolló un accesorio con el

objetivo de separar el grupo de semillas por medio de unos separadores ubicados a lo largo del cilindro. ver figura 29. Se denominó a este accesorio como “Concepto A”.



Figura 29 “Concepto A” para eliminación de grupo de semillas

Los resultados que se obtuvieron con el concepto A no fueron los esperados, los grupos de semillas disminuyeron, pero seguía siendo un problema por el alto número de semillas desperdiciadas. ver figura 30. El accesorio requería un mecanizado con tolerancias muy pequeñas para su correcto funcionamiento y resultaba muy costo reconstruirlo con esas características es por eso por lo que se decidió optar por otro concepto para solucionar el problema.

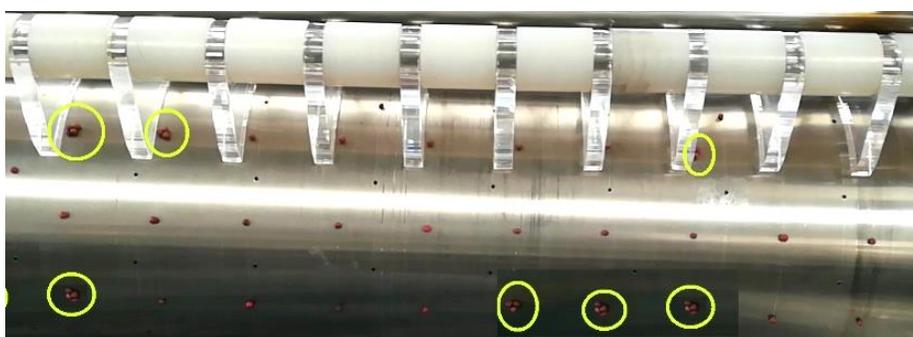


Figura 30 Resultados del concepto A

Se desarrolló un segundo accesorio que pretendía que el grupo de semillas se desagrupen mediante una corriente de aire a presión, en este sistema la corriente de aire está alineada con los orificios formando una especie de cortina de aire a lo largo del cilindro, este sistema se conoce como flauta de aire comprimido. Estará alimentada en los ambos extremos con el fin de homogenizar la

presión de salida en los orificios de la flauta. Se denominó a este accesorio como “Concepto B” ver figura 31.

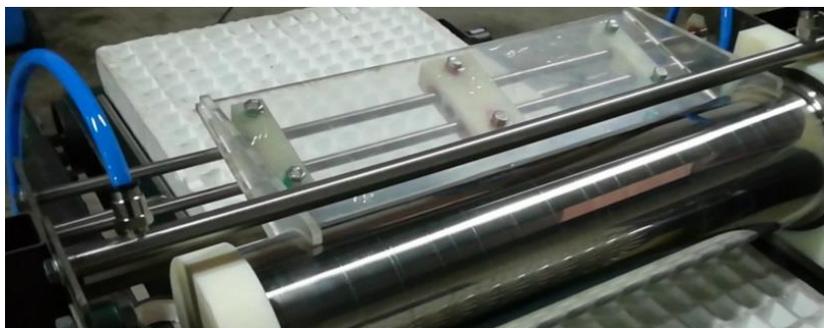


Figura 31 “Concepto B” para eliminación de grupo de semillas

Luego de realizar las pruebas del concepto B, se observó que las semillas agrupadas al pasar por la corriente de aire se separaban quedando una sola semilla por orificio. Por esta razón se puede afirmar que el concepto B cumplió con lo propuesto obteniendo excelentes resultados como se ve en la figura 32.

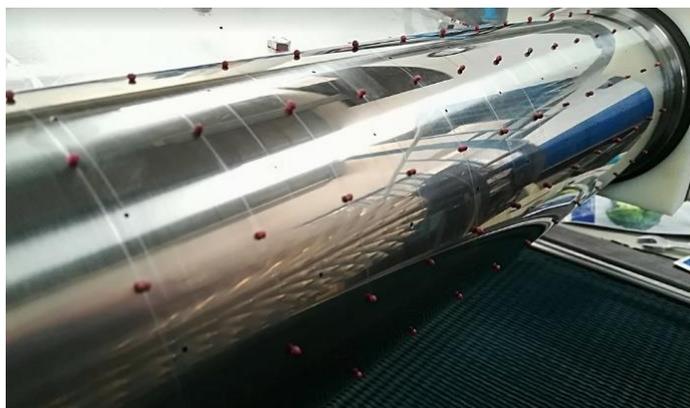


Figura 32 Resultados del concepto B

3.6 Establecer especificaciones finales

Al establecer las especificaciones finales tratamos de asignar un valor fijo a las métricas propuestas en la tabla 18, ya que estas métricas están cuantificadas con valores que se encuentran comprendidos dentro de un rango.

3.6.1 Modelo técnico de la máquina

Un modelo técnico nos ayuda predecir los valores que tendrán las métricas y ver la viabilidad del modelo. Este proceso consiste en establecer entradas y salidas, donde las entradas son variables independientes al proceso y las salidas las métricas. Las métricas que requiera de un análisis más profundo necesitan un modelo técnico.

- *Sembrado en bandejas*

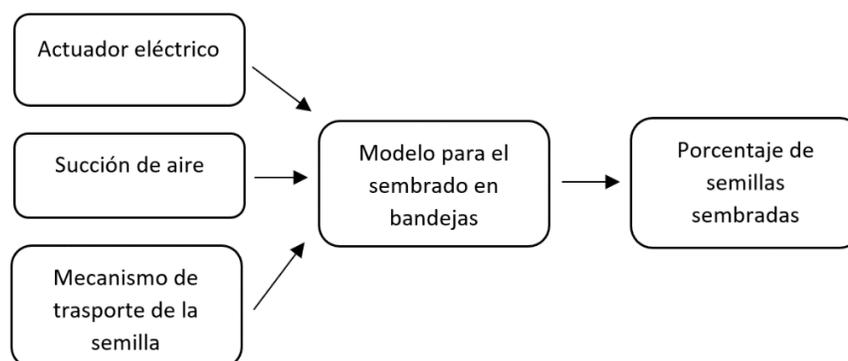


Figura 33 Modelo técnico para el sembrado en bandejas

El modelo técnico para el sembrado nos permite tener una idea más amplia de las variables que influyen en el porcentaje de semillas sembradas como: la velocidad del actuador eléctrico, la fuerza de succión y la forma de transportar la semillas. Por ejemplo, al aumentar la velocidad del actuador se requiere aumentar la fuerza de succión. Al momento de asignar un valor a la métrica se debe tomar en cuenta que existen otras variables que van a incidir en el resultado y así asignar un valor ideal que se adapte a las especificaciones para obtener un alto porcentaje de semillas sembradas.

- *Regulación de profundidad de punzonado*

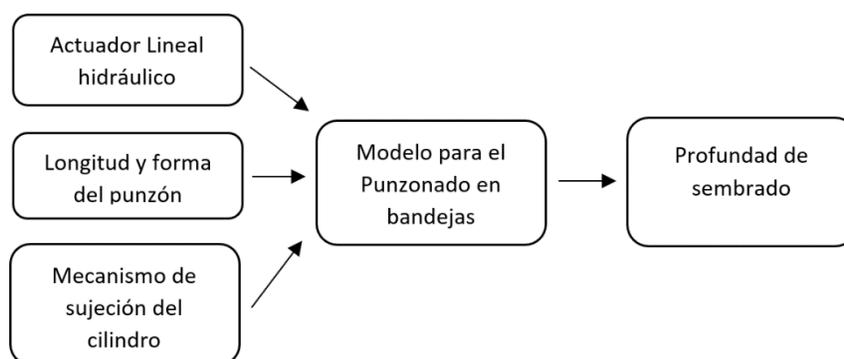


Figura 34 Modelo técnico para la regulación de profundidad de punzonado

Las variables que influyen en la regulación de profundidad de punzonado son: la carrera del actuador hidráulico, la geometría del punzón y la forma de sujeción del cilindro. Por ejemplo, al variar la longitud del punzón, la carrera del actuador hidráulico también será modificada para mantener una profundidad constante.

3.6.2 Mapa competitivo

El mapa está basado en el listado de métricas propuestas anteriormente. Se realiza una comparación de los valores asignados a las métricas del concepto propuesto y las máquinas desarrolladas por Urbinati, Visser y Arnabat. Al realizar esta comparación es posible tener una idea de si el producto al entrar mercado va a ser competitivo ver la figura 35. La disponibilidad de información de las máquinas existentes es limitada por esta razón se comparará solo las métricas de mayor relevancia. Se pretende entrar al mercado con un producto con características similares y a un costo menor que la competencia, algunas de estas características se han mejorado como es el consumo de aire y la potencia instalada.

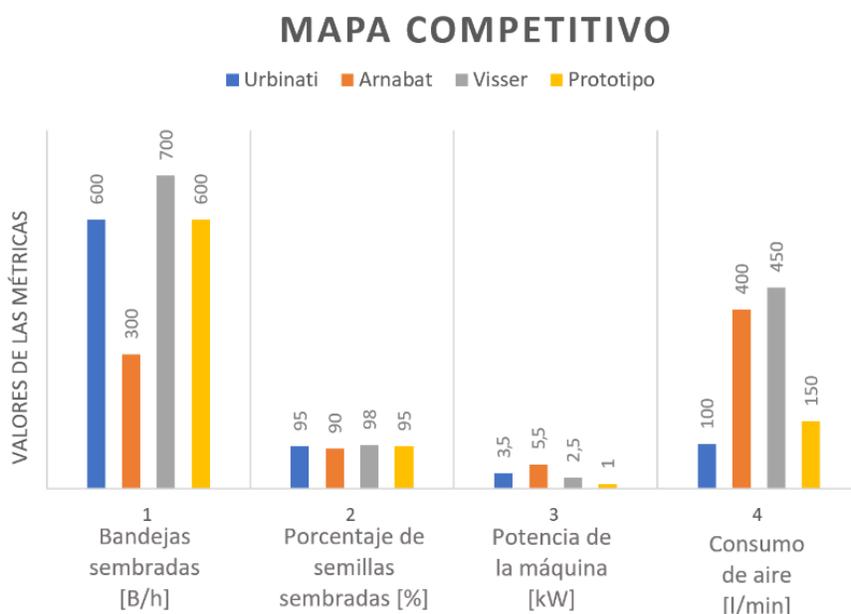


Figura 35 Mapa competitivo

Luego de realizar un análisis del concepto a desarrollar y asegurando la viabilidad del proyecto, se establecieron las especificaciones finales del producto en desarrollo, pasando por una etapa de refinamiento y ajuste de los valores. La percepción del equipo de diseño sobre el concepto es que satisface las necesidades requeridas. En la tabla 25 se prestan las especificaciones finales de la máquina.

Tabla 25
Especificaciones finales

N.º	Métrica	Valor	Unidad
1	Bandejas sembradas	600	[B/h]
2	Porcentaje de semillas sembradas	>90	[%]
3	Profundidad de sembrado	Ajustable hasta 15	[mm]
4	Tamaño de semillas	<3	[mm]
5	Dimensiones de la bandeja	Ajustable hasta 600x400	[mm]
6	Número de operaciones a realizar	3	[Cant]
7	Porcentaje de daños en la semilla	5	[%]
8	Costo de manufactura	5500	[\$]
9	Costo de mantenimiento	200	[\$]
10	Potencia de la máquina	<1	[kW]
11	Peso de la máquina	<150	[Kg]
12	Adaptabilidad con otros procesos	Si	[subj]
13	Diseño ergonómico	Si	[subj]
14	Cumplimiento de normativa	Si	[subj]
15	Consumo de aire	<150	[l/min]

3.7 Planeación del producto

Con el objetivo de obtener un tiempo estimado de construcción de la máquina, se realizó una tabla de planeación de las actividades a realizar, indicando las fechas de inicio, duración y finalización de la tarea.

Tabla 26
Planificación de la construcción del producto

<i>N.º</i>	<i>Nombre de la Tarea</i>	<i>Duración (Días)</i>	<i>Inicio</i>	<i>Fin</i>
1	Dimensionamiento de la máquina (Investigación de métodos y técnicas utilizados en procesos de sembrado automático. Máquinas existentes para punzonado y sembrado semillas)	45	03/01/2017	06/03/2017
2	Diseño mecánico de la máquina	35	07/03/2017	24/04/2017
3	Diseño del sistema neumático	14	25/04/2017	12/05/2017
4	Diseño del sistema electrónico y de control	10	15/05/2017	26/05/2017
5	Selección de la instrumentación y actuadores	8	29/05/2017	07/06/2017
6	Búsqueda y selección de proveedores	10	08/06/2017	21/06/2017
7	Adquisición de componentes y materia prima	7	22/06/2017	30/06/2017
8	Construcción de la estructura base de la máquina	7	03/07/2017	11/07/2017
9	Construcción del sistema de transporte de las bandejas	8	12/07/2017	21/07/2017
10	Construcción del sistema de punzonado	20	24/07/2017	18/08/2017
11	Construcción del sistema de siembra	22	21/08/2017	19/09/2017
12	Construcción del sistema dosificador de semilla	6	20/09/2017	27/09/2017
13	Ensamble de todos los sistemas mecánicos	5	28/09/2017	04/10/2017
14	Incorporación de la instrumentación y actuadores	8	05/10/2017	16/10/2017
15	Incorporación del sistema neumático a la máquina	5	17/10/2017	23/10/2017
16	Implementación del sistema de control	8	24/10/2017	02/11/2017
17	Integración de todos los sistemas	5	03/11/2017	09/11/2017
18	Pruebas y refinamiento	18	10/11/2017	05/12/2017
19	Acabados y detalles finales	5	06/12/2017	12/12/2017

Como se observa en la tabla 26 la construcción total de la máquina tiene una duración de 12 meses a partir de la fecha de inicio.

CAPÍTULO IV

DISEÑO A NIVEL SISTEMA

4.1. Arquitectura del producto

Se establece la arquitectura del producto con el fin de identificar la interacción que existe entre los componentes físicos y los componentes funcionales de la máquina, esto se representa a través de esquemas donde se visualiza la correlación que existe entre los elementos constitutivos del producto. Los elementos funcionales son las operaciones que debe realizar el producto y por lo general se describen en forma esquemática antes de ser transformados a componentes físicos.

Los elementos físicos son los componentes y subsistemas del producto, también son el medio por el cual los componentes funcionales se ejecutan. La característica más importante de la arquitectura de un producto es que sea modular, esto consiste en poder realizar cambios de componentes sin afectar el funcionamiento general de la máquina.

4.1.1 Crear un esquema del producto.

Una forma de plasmar la idea general que tiene el equipo de diseño sobre la relación que hay entre los elementos físicos y los componentes funcionales de la máquina es mediante un esquema. El esquema debe reflejar la idea global y específica del concepto a desarrollar. Se debe incluir todas las relaciones entre elementos ya sean estas mecánicas, electrónicas o grupos de datos con información para ser ejecutada. Ver figura 36.

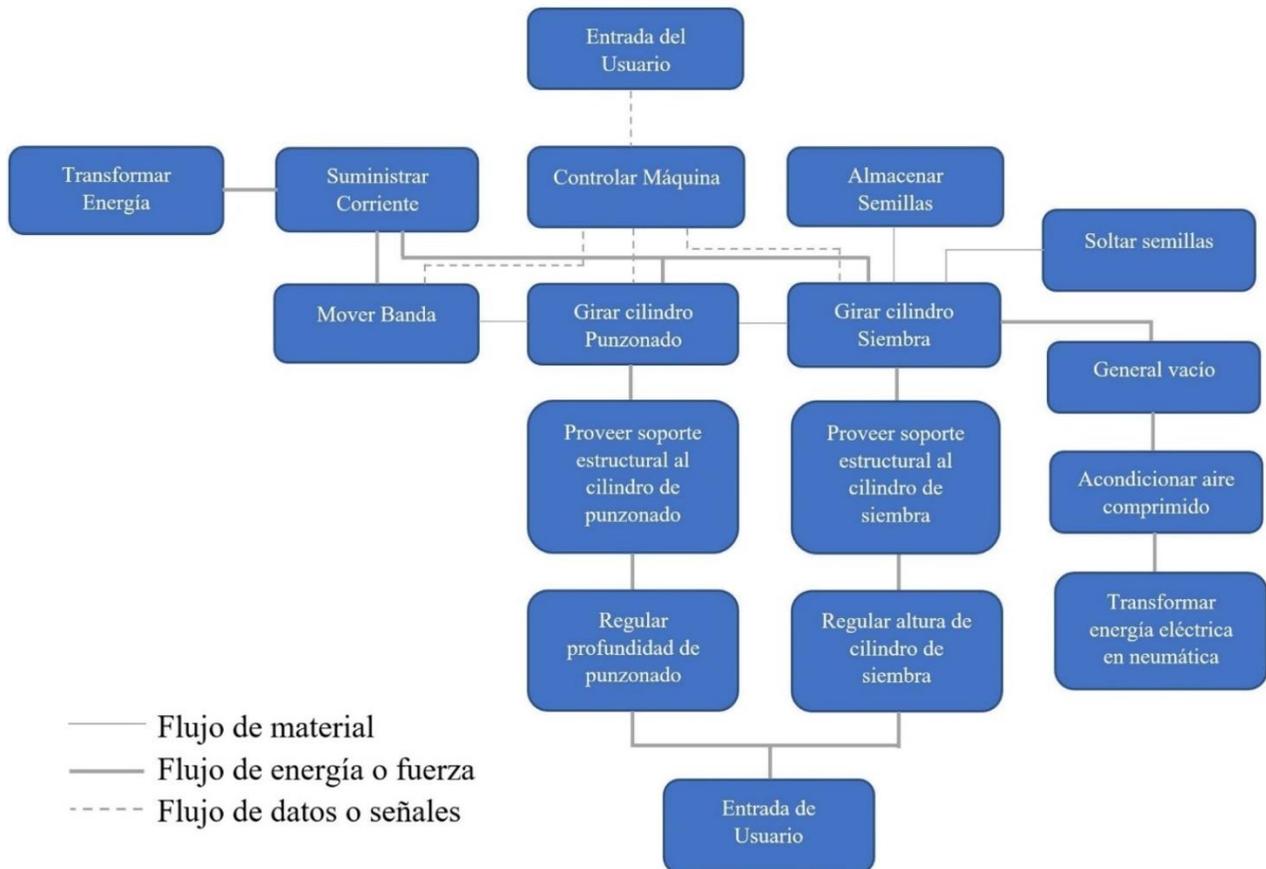


Figura 36 Esquema del producto

4.1.2 Agrupar los elementos del esquema.

La agrupación se realiza según el criterio del equipo de diseño, intentando dividir al esquema general en subsistemas que compartan funciones semejantes, para conseguir esto se asigna a los elementos del esquema dentro de conjuntos de componentes físicos. La agrupación se basa en el diagrama planteado anteriormente en la figura 36.

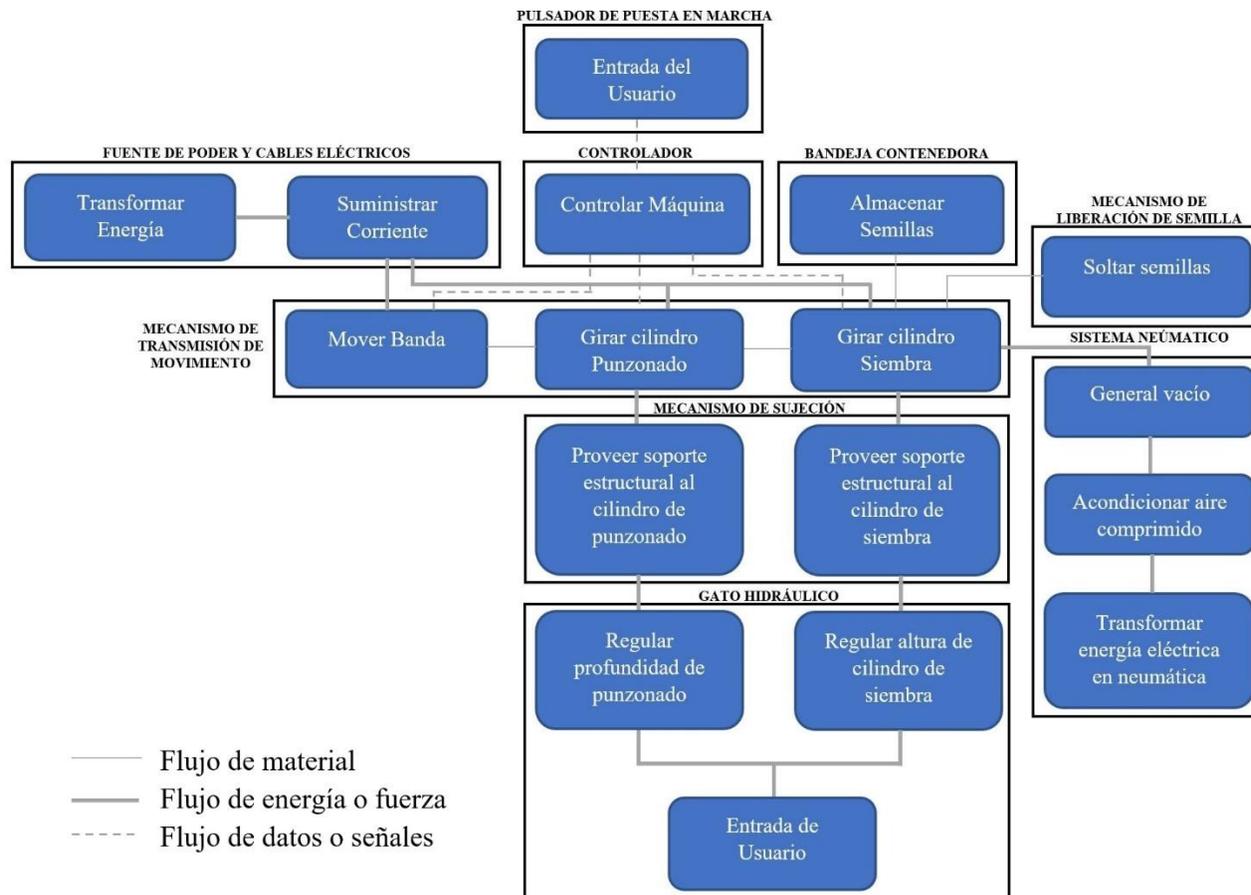


Figura 37 Esquema del producto – agrupación de sistemas

En la figura 37 se presenta un esquema de la agrupación de los elementos constitutivos de la máquina. El resultado obtenido nos permitirá tener un mayor entendimiento de la interacción que hay entre los sistemas.

4.1.2 Disposición geométrica aproximada

Implementar un bosquejo de la distribución geométrica de los subsistemas de la máquina nos ayuda clarificar las dimensiones generales, esto nos lleva a considerar la factibilidad de la disposición propuesta.

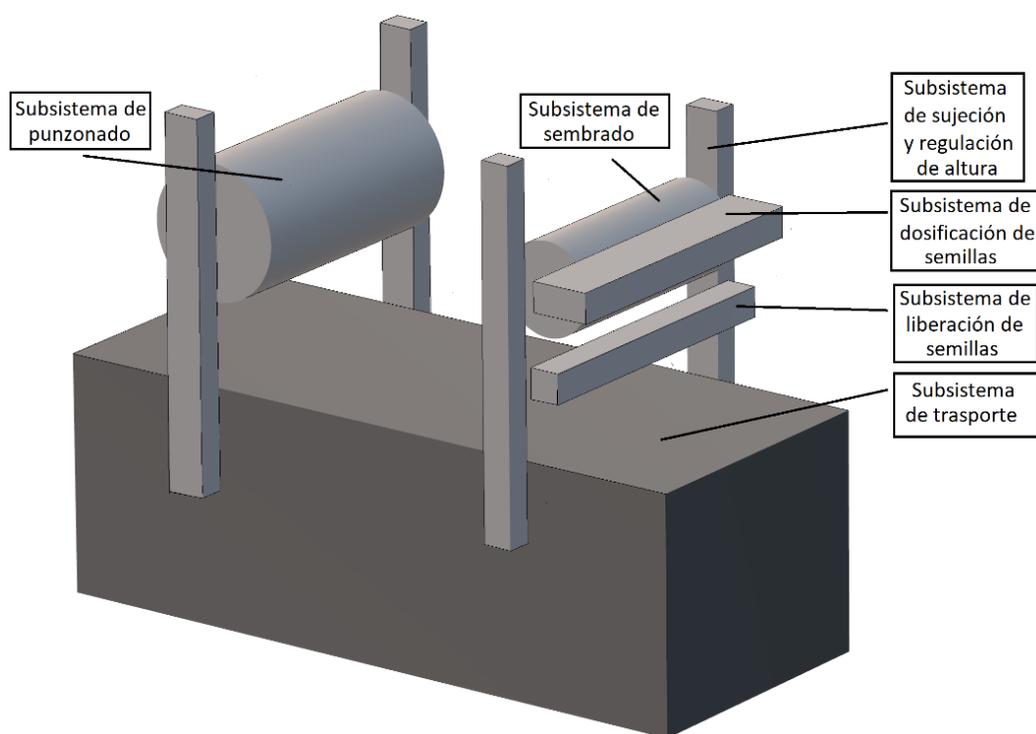


Figura 38 Disposición geométrica aproximada

Analizando la figura 38 donde se puede visualizar la disposición geométrica de cada uno de los componentes, se pudo identificar un parámetro que no fue considerado anteriormente, este es la distancia entre los subsistemas de punzonado y sembrado. Para fijar el valor de este parámetro hay que tomar en cuenta la dimensión la bandeja a sembrar y dejar el suficiente espacio para realizar un control de calidad entre las dos etapas.

Modelo de aproximación del producto

La figura 38 nos muestra un bosquejo muy general de los subsistemas de la máquina, con el fin de obtener más detalle de los componentes, se establece un listado de todas las piezas de la máquina. En la tabla 27 se propone una división de nueve subsistemas con sus respectivos componentes.

Tabla 27
Lista de materiales y componentes

Subsistema	Componente	Cantidad
Subsistema de transporte	Riel guía	
	Rodillos	2
	Banda	1
	Platina tensora	2
	Estructura de soporte	1
	Chumaceras	4
	Acople de mandíbula	1
	Motor DC	1
	Platina fija	2
	Niveladores	4
Subsistema de sujeción y regulación de altura	Pernos y tuercas	24
	Estructura de soporte	2
	Gato hidráulico	2
	Rodamientos lineales	4
Subsistema de punzonado	Pernos y tuercas	8
	Chumaceras	2
	Punzones	340
	Cilindro	1
	Acople de mandíbula	1
	Eje	1
	Platinas	2
	Motor DC	1
	Soporte estructural	1
	Soporte para sensores	1
Subsistema de siembra	Pernos y tuercas	12
	Chumaceras	1
	Rodamiento	1
	Acople de mandíbula	1
	Eje	1
	Motor DC	1
	Cilindro perforado	1
	Soporte estructural	1
	Soporte para sensores	1
	Pernos y tuercas	10
Subsistema dosificador de semilla	Bandeja contenedora	1
	Soporte estructural	1
	Pernos y tuercas	7
Subsistema liberador de semilla	Espátula	1
	Soporte de espátula	1
	Pernos y tuercas	5
Subsistema de control	Controlador	1
	Drives motores DC	3
	Cables x metro	5
Subsistema neumático	Manguera flexible x metro	5
	Unidad de mantenimiento RF	1
	Generador de vacío	1
	Válvula reguladora de caudal	1
	Válvula de paso	2
	Racores rápidos	6
	Uniones tipo T	2
	Flauta	1
	Cámara de vacío	1
	Sensor óptico	4
Sistema electrónico e Instrumentación	Manómetro de presión	1
	Módulo de relés	1
	Cables x metro	15
	Gabinete industrial	1
	Fuente (12V - 5 A)	1
	Fuente (24V - 10 A)	1

CAPÍTULO V

DISEÑO DE DETALLE

5.1. Diseño mecánico

El tamaño de bandeja recomendada para el cultivo de brócoli es la de 338 celdas, el tamaño de la bandeja se escoge de acuerdo al tipo de semilla que se va a sembrar (Plastro S.A.). Las dimensiones de la máquina estarán basadas en las medidas de la bandeja para brócoli.

5.1.1 Subsistema de transporte

Datos requeridos para el cálculo:

- Carga a ser transportada: Bandeja de 338 celdas
- Densidad de la tierra húmeda $\delta_{TH} = 1600 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$
- Dimensiones de la bandeja $B_{338} = 0,67 \times 0,343 \times 0,065 \text{ cm}$
- Volumen de las celdas $v_{338} = 0,0044 \text{ m}^3$
- Masa de la bandeja vacía $m_{B338} = 400 \text{ g}$
- Ancho de la banda $l_1 = 40 \text{ cm}$
- Espesor de la banda $b = 5 \text{ mm}$
- Coeficiente de fricción del rodillo $\mu_R = 0,033$
- Radio del tambor motriz $r_{Tm} = 31,75 \text{ mm}$
- Distancia entre centros $c = 1,354 \text{ m}$

Determinación de la masa de la bandeja

$$m_{338} = \delta_{TH} \times v_{338} \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$m_{338} = 1600 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \times 0,00441 \text{ [m}^3\text{]} = 7,06 \text{ kg}$$

La humedad en la tierra no siempre es la misma y varía dependiendo del proveedor por esta razón se duplica el peso de la bandeja, como factor de seguridad para el diseño. También se adiciona el peso de la bandeja vacía.

$$m_{T338} = (m_{338} + m_{B338}) \times 2$$

$$m_{T338} = (7,06 + 0,4) \times 2$$

$$m_{T338} = 14,92 \text{ kg}$$

Determinamos la masa por unidad de longitud para obtener la masa total a transportar

$$m' = \frac{14,92 \text{ kg}}{0,67 \text{ m}} = 22,27 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$m_T = c \times m'$$

$$m_T = 1,354 \times 22,27 = 30,154 \text{ kg}$$

Determinación del diámetro del tambor motriz

Se utilizará una banda una estriada con alto coeficiente de fricción para mantener fija la bandeja durante su traslado en el proceso. Se realizó un ensayo utilizando una muestra de la banda como se ve en la figura 39, el ensayo que consistía en doblar la muestra y medir la longitud de arco entre las estrías como se ve en la figura 40.

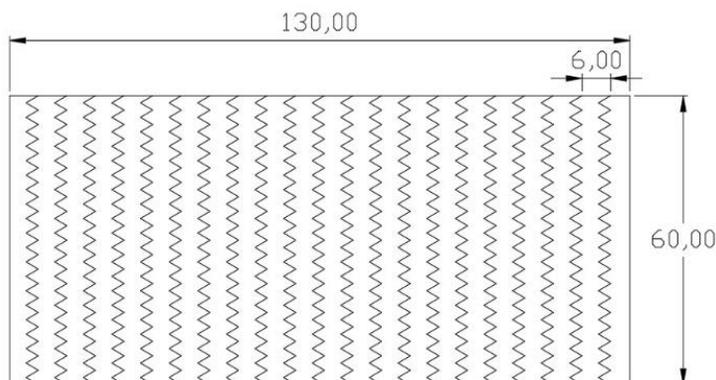


Figura 39 Muestra de la banda corrugada

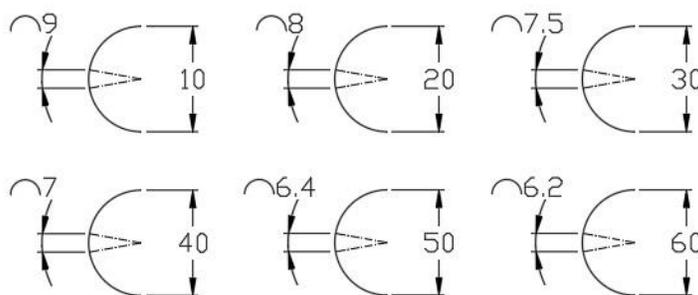


Figura 40 Resultados del ensayo

Con motivo de preservar la vida útil de la banda se selecciona el diámetro de 6 cm para el tambor motriz. Ya que pasada esta medida no varía la longitud de arco entre estrías. El diámetro de tubería más cercano comercialmente es de 76,2 mm es decir $r_{Tm} = 38,1 \text{ mm}$, se utilizará este valor para el diseño.

Determinación de longitud de la banda

Utilizando las ecuaciones del libro Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley 8va edición. Pág. 863 calculamos la longitud de la banda.

- Diámetro del cilindro motriz $D = 76,2 \text{ mm}$
- Diámetro del cilindro secundario $d_t = 76,2 \text{ mm}$
- Ángulo de contacto $\beta = \pi$

$$L_T = \sqrt{[4 c^2 - (D - d_t)^2]} + \left[\frac{1}{2} (D \times \theta_D + d_t \times \theta_d) \right] \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$L_T = \sqrt{[4 c^2 - (D - d_t)^2]} + \left[\frac{D}{2} \left(\pi + 2 \sin^{-1} \left(\frac{D - d_t}{2 c} \right) \right) \right] + \left[\frac{d}{2} \left(\pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{D - d_t}{2 c} \right) \right) \right]$$

$$L_T = \sqrt{[4 \times 1,349^2 - (0,0762 - 0,0762)^2]} + \left[\frac{0,0762}{2} (\pi) \right] + \left[\frac{0,0762}{2} (\pi) \right]$$

$$L_T = 2.937 \sim 2.94 \text{ m}$$

Determinación de masa de la banda

La masa se determinó a partir de la densidad proporcionada por Bandas y Bandas proveedor local de insumos para transporte industrial.

- $\delta_B = 0,001183 \left[\frac{kg}{cm^3} \right]$

$$m_B = \delta_B \times v_B$$

$$m_B = \delta_B \times (L_T \times l_1 \times b)$$

$$m_B = 0,001183 \times (293,7 \times 40 \times 0,5)$$

$$m_B = 6,88 \text{ kg}$$

Masa por unidad de longitud:

$$m' = \frac{m_B}{L_T}$$

$$m' = \frac{6,88}{2,907}$$

$$m' = 2,37 \frac{kg}{m}$$

Cálculo de la velocidad de siembra

En el capítulo anterior se estableció una producción de 600 bandejas/hora, pensado en un futuro crecimiento de la producción y mejoras en la automatización de la máquina se consideró duplicar la producción a 1200 bandejas/hora para los cálculos de la máquina.

$$1200 \frac{\text{bandejas}}{h} \times \frac{1 h}{60 \text{ min}} = 20 \frac{\text{bandejas}}{\text{min}}$$

$$\frac{20 \text{ bandejas}}{1 \text{ bandeja}} \rightarrow \frac{1 \text{ min}}{x}$$

$$x = 0,05 \text{ min} = 3 \text{ seg}$$

Determinamos la velocidad lineal de la banda.

$$v = \frac{c}{t_{siembra}}$$

$$v = \frac{1,354 \text{ m}}{3 \text{ s}}$$

$$v = 0,451 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Con este dato determinamos la velocidad angular del cilindro motriz, sumamos el espesor de la banda al radio del cilindro.

$$w = \frac{v \times 60}{2\pi \times (r_{Tm} + b)}$$

$$w = \frac{0,451 \times 60}{2\pi \times (0,038 + 0,005)}$$

$$w = 100,15 \text{ rpm}$$

Potencia requerida para mover la carga

Con la ecuación del libro “Eficiencia energética en motores” pág. 10 (Caicedo, 2009), se calculó la potencia que requiere el motor para mover la banda transportadora con una carga de 30 kg es:

$$P = \frac{W \times v}{1000} \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$P = \frac{290 \times 0,451}{1000}$$

$$P = 0,13 \text{ Hp} = 95 \text{ watt}$$

Donde:

P Potencia nominal

W Peso de la carga a trasportar en [N]

v Velocidad lineal en [m/s]

Cálculo de la fuerza tangencial en el rodillo motriz

Se estima la masa de los rodillos considerando la masa del eje y la tubería, $m_R = 8 \text{ kg}$

$$F_t = \mu_R \times g \times (m_T + m_B + m_R) \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$F_t = 0,033 \times 9,81 \times (30,154 + 6,88 + 8)$$

$$F_t = 14,58 \text{ N}$$

Donde:

F_t Fuerza tangencial [N]

μ_R Coeficiente de fricción del rodillo

m_T, m_B, m_R Masa de la carga a trasportar, masa de la banda, masa de los rodillos [Kg]

Cálculo del eje motriz

Debido al sentido de giro horario del tambor motriz el lado flojo de la banda se ubica en la parte superior de la misma. Con las ecuaciones obtenidas del libro de Diseño de máquinas de Juvinal, pág. 787, se realizó el cálculo de las fuerzas que ejercer sobre el eje del cilindro de punzonado.

- Ángulo de contacto con el rodillo $\alpha = \pi$
- Coeficiente de fricción $f = 0,214$
- Velocidad de siembra $v = 0,451 \frac{m}{s}$
- Masa por unidad de longitud $m' = 2,37 \frac{kg}{m}$
- Fuerza en el lado flojo de la banda $P_2' = F_t = 14,58 \text{ N}$

$$\frac{P_1' - m' \times v^2}{P_2' - m' \times v^2} = e^{f \times \alpha} \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$\frac{P_1' - 2,37 \times 0,451^2}{14,58 - 2,37 \times 0,451^2} = e^{0,214 \times \pi}$$

$$P_1' = 28,2 \text{ N}$$

Con los valores de p_1 y p_2 determinamos la fuerza de pretensión o tensión inicial de la banda

$$2 F_i + 2F_c = P_1' + P_2' \quad \text{Ecuación (6)}$$

La fuerza centrífuga es proporcional a la velocidad de la banda, en el cálculo de velocidad siembra determinamos que la máquina no trabajará a altas revoluciones, por lo cual despreciamos esta fuerza para el cálculo de la tensión inicial.

$$F_i = \frac{P_1' + P_2'}{2}$$

$$F_i = \frac{28,2 + 14,55}{2}$$

$$F_i = 21,38 \text{ N}$$

La fuerza total aplicada será la fuerza tangencial más la fuerza pre tensión de la banda.

$$P_1 = F_i + P_1' = 21,38 + 28,14 = 49,52 \text{ N}$$

$$P_2 = F_i + P_2' = 21,38 + 14,55 = 35,93 \text{ N}$$

En el proceso el operador debe colocar la bandeja sobre la banda transportadora, esto implica un tiempo que la banda se encuentre sin carga, el proceso se lo realiza de manera repetitiva y por esta razón se considera una carga variable y se utilizará el método de falla por fatiga resultante de carga variable para determinar el diámetro del eje. La carga sobre el eje motriz es considerada como a una carga distribuida a lo largo del rodillo.

$$q_{con\ carga} = \frac{P_1}{l_1} = \frac{49,52}{0,4}$$

$$q_{con\ carga} = 123,8 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Determinada la fuerza total que se aplica sobre el rodillo se calcula el torque máximo considerando el espesor de la banda en el cálculo.

$$T_{max} = (P1 - P2) \times r_{Tm} \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$T_{max} = (49,52 - 35,93) \times (0,038 + 0,005)$$

$$T_{max} = 0,58 \text{ Nm}$$

Para determinar los valores sin carga, se calcula despreciando el peso de la bandeja obteniendo los siguientes valores:

$$P_1' = 9,06 \text{ N} \quad P_2' = 4,81 \text{ N} \quad F_i = 6,94 \text{ N}$$

$$q_{\text{sin carga}} = \frac{P_1}{l_1} = \frac{9,06 + 6,94}{0,4}$$

$$q_{\text{sin carga}} = 40 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$T_{min} = (9,06 - 4,81) \times (0,038 + 0,005)$$

$$T_{min} = 0,18 \text{ Nm}$$

Diagramas de fuerza y momento

Tabla 28

Diagramas del rodillo motriz de la banda con carga

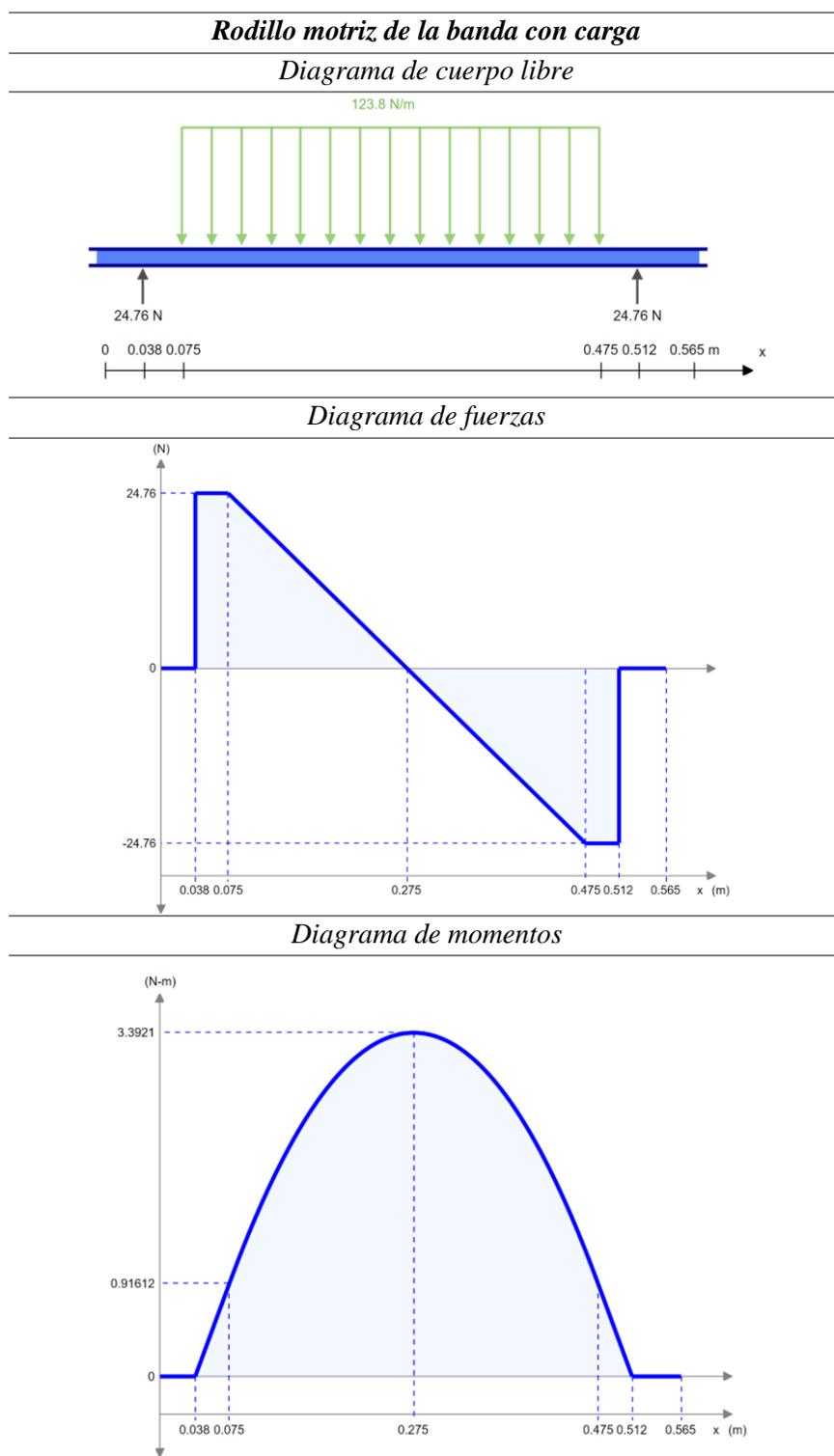
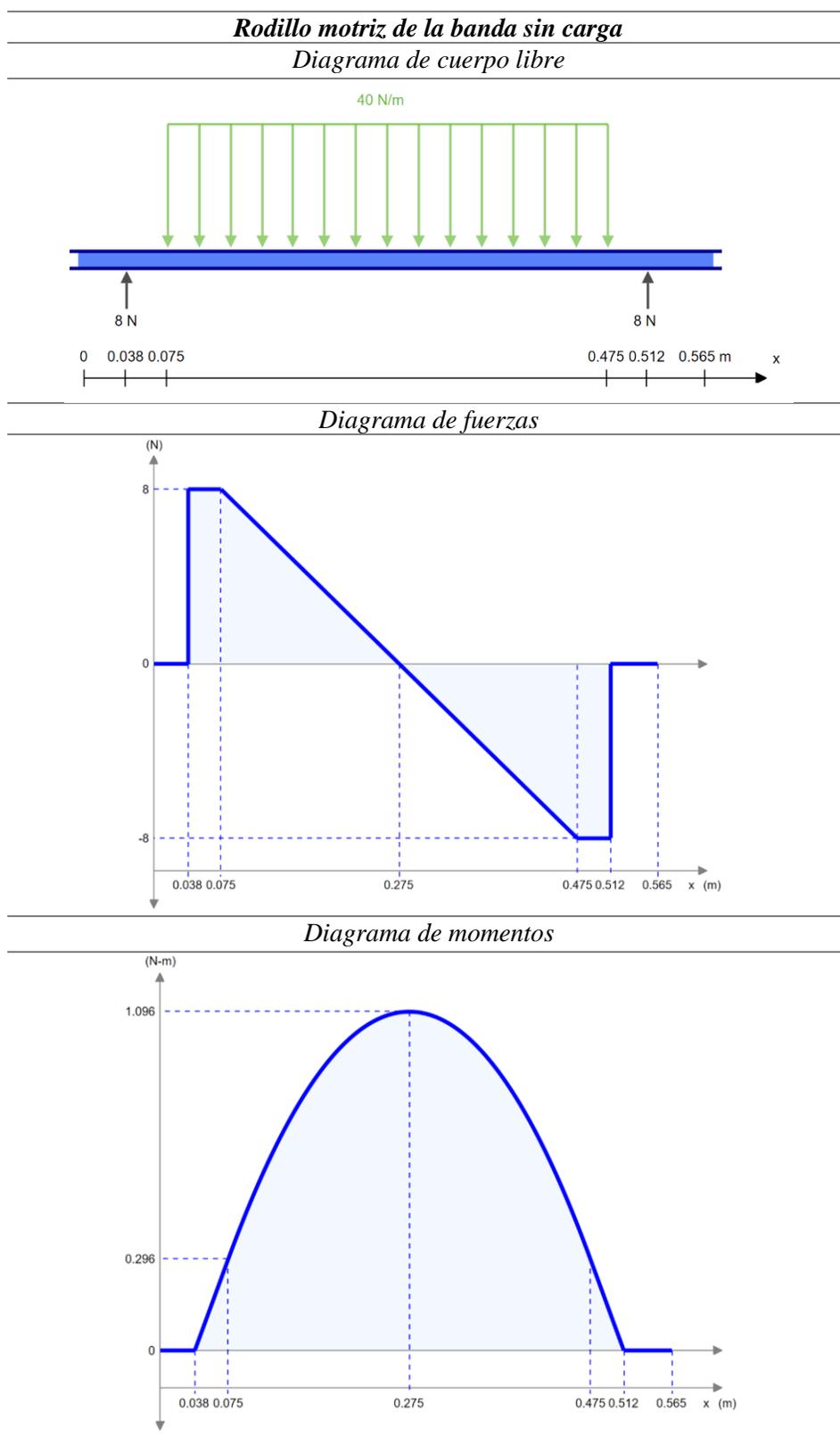


Tabla 29*Diagramas del rodillo motriz de la banda sin carga*

Los datos obtenidos de los diagramas son:

$$M_{b \max} = 3,3921 \text{ Nm}$$

$$M_{b \min} = 1,096 \text{ Nm}$$

Cálculo del número de ciclos

Para determinar el número de ciclos se asume una jornada de 8 horas diarias durante 5 años.

$$\# \text{ Ciclos} = \frac{\# \text{ horas} \times \text{velocidad} \times 60}{10^6} \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$\# \text{ Ciclos} = \frac{9600 \times 150 \times 60}{10^6}$$

$$\# \text{ Ciclos} = 8,64 \times 10^7$$

Shigley plantea que la fatiga de alto ciclaje se considera a partir de 10^3 ciclos (Shigley, 2008), ya que el número de ciclos calculados anteriormente sobrepasa este valor se diseñara el eje para vida infinita.

Para los cálculos del esfuerzo se necesitan las componentes media y alternante del momento y el torque, el cálculo se lo realiza utilizando las ecuaciones obtenidas del libro Diseño en ingeniería mecánica de Norton pág. 472, Ecuaciones (9,10,11,12).

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad \text{Ecuación (9)}$$

$$\sigma_a = \frac{\frac{32 (3,3921)}{\pi d^3} - \frac{32 (1,096)}{\pi d^3}}{2}$$

$$\sigma_a = \frac{11,694}{d^3}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad \text{Ecuación (10)}$$

$$\sigma_m = \frac{\frac{32 (3,3921)}{\pi d^3} + \frac{32 (1,096)}{\pi d^3}}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{22.858}{d^3}$$

$$\tau_a = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{2}$$

$$\tau_a = \frac{\frac{16(0,499)}{\pi d^3} - \frac{16(0,156)}{\pi d^3}}{2}$$

$$\tau_a = \frac{1,018}{d^3}$$

Ecuación (11)

$$\tau_m = \frac{\tau_{max} + \tau_{min}}{2}$$

$$\tau_m = \frac{\frac{16(0,499)}{\pi d^3} + \frac{16(0,156)}{\pi d^3}}{2}$$

$$\tau_m = \frac{1,93}{d^3}$$

Ecuación (12)

$$\sigma_a' = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}$$

$$\sigma_a' = \sqrt{\left(\frac{11,694}{d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{0,873}{d^3}\right)^2}$$

$$\sigma_a' = \frac{11,82}{d^3}$$

$$\sigma_m' = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2}$$

$$\sigma_m' = \sqrt{\left(\frac{22,858}{d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{1,668}{d^3}\right)^2}$$

$$\sigma_m' = \frac{23,1}{d^3}$$

Aplicamos el criterio de falla de GOODMAN para determinar el diámetro del eje.

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_m'}{S_{ut}} + \frac{\sigma_a'}{S_e}$$

Ecuación (13)

El material a utilizarse es acero NTE Grado 185 con una resistencia a la tensión $S_{ut} = 300 \text{ MPa}$ y un factor de seguridad de 2.

$$S_e' = 0,5 \times S_{ut} \quad \text{Ecuación (14)}$$

$$S_e' = 0,5 \times 300$$

$$S_e' = 150$$

A continuación, determinamos el límite de resistencia a la fatiga con las ecuaciones obtenidas del libro Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley 8va edición. Pág. 279

$$K_a = a S_{ut}^b \quad \text{Ecuación (15)}$$

$$K_a = 4,51 \ 300^{-0,265}$$

$$K_a = 0,995$$

$$K_b = 1$$

$$K_c = 1$$

$$K_d = 1$$

$$K_e = 0,753$$

$$K_f = 0,8$$

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S_e' \quad \text{Ecuación (16)}$$

$$S_e = 0,995 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,753 \times 0,8 \times 150$$

$$S_e = 119,143 \text{ MPa}$$

Donde:

K_a Coeficiente de modificación de la condición superficial

K_b Coeficiente de modificación del tamaño

K_c Coeficiente de modificación de la carga

K_d Coeficiente de modificación de la temperatura

K_e Coeficiente de confiabilidad

K_f Coeficiente de modificación de efectos varios

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_m'}{S_{ut}} + \frac{\sigma_a'}{S_e}$$

$$\frac{1}{2} = \frac{\frac{23,1}{d^3}}{300 \times 10^6} + \frac{\frac{11,82}{d^3}}{89,9082 \times 10^6}$$

$$d = 7,5 \text{ mm}$$

5.1.2 Subsistema de punzonado

Diseño del cilindro

Para diseñar el cilindro y la distribución de los punzones fue necesario medir las celdas de la bandeja de 338 celdas, con estos datos a demás obtendremos las dimensiones de los punzones. En la figura 41 se observa las dimensiones de la celda, la forma de cono truncado ayuda sacar la plántula de celda cuando ya está germinada.

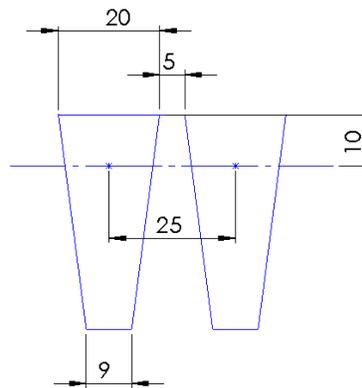


Figura 41 Diseño de la celda de la bandeja de 338

La bandeja contiene 26 filas de celdas distanciadas 25 mm una de otra, tomando en cuenta los bordes de la bandeja tenemos un total de 670 mm. A continuación, se determina el diámetro del cilindro respecto a la longitud de la bandeja.

$$l_2 = 2 \times \pi \times r_p$$

Ecuación (17)

$$r_p = \frac{l_2}{2 \times \pi}$$

$$r_p = \frac{670}{2 \times \pi}$$

$$r_p = 106.6 \text{ mm}$$

Donde:

l_2 Es el perímetro del cilindro.

r_p Radio del cilindro de punzonado

Calculamos la longitud de arco para obtener el ángulo entre los punzones, basados en el radio calculado anteriormente.

$$l_{arc} = \theta \times r_p \quad \text{Ecuación (18)}$$

$$\theta_1 = \frac{l_{arc}}{r}$$

$$\theta_1 = \frac{25}{106.6}$$

$$\theta_1 = 13.43^\circ$$

Donde:

l_{arc} longitud de arco entre punzones.

θ ángulo en radianes entre punzones.

El θ_2 corresponde al espacio de los bordes de la bandeja.

$$\theta_2 = \frac{l_{arc}}{r}$$

$$\theta_2 = \frac{45}{106.6}$$

$$\theta_2 = 24.18^\circ$$

Luego de un análisis se descarta la distribución planteada anteriormente ya que afecta a la entrada y salida de la bandeja al cilindro como se ve en la figura 42. Por esta razón se recalcula considerando un mayor espacio entre las bandejas.

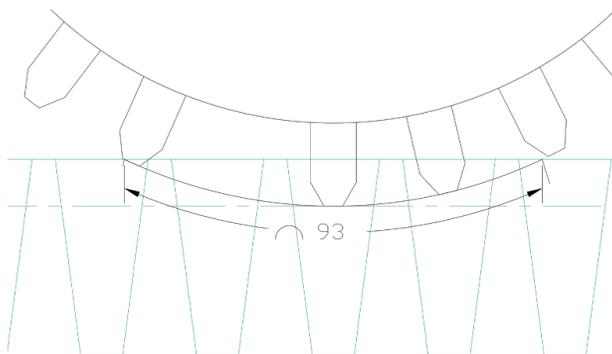


Figura 42 Posición de entrada y salida de los punzones en la bandeja

La distancia mínima para que las bandejas salgan de la etapa de punzonado e ingrese una nueva bandeja es de 93 mm, consideramos una distancia mayor por motivos de seguridad, obteniendo así un nuevo radio.

$$r = \frac{l_3}{2 \times \pi}$$

$$r = \frac{755}{2 \times \pi}$$

$$r = 119.36 \text{ mm}$$

Donde:

l_3 Distancia entre bandejas

Diseño del punzón

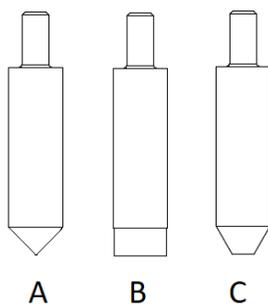


Figura 43 Conceptos para el diseño del punzón

Para el diseño del punzón se planteo tres opciones como se ve en la figura 43 , uno de los propositos del punzón es ayudar a ubicar la semilla en el centro de la celdas de la bandeja. La opción A fue descartada ya la punta del punzón resulta un riesgo por que que el cilindro es un accesorio y debe ser manipulado por un operador, la opción B tambien fue descartada debido a que la punta plana del punzón no ayudar a centrar la semilla en la celda, por lo tanto una combinación de las anteriores opciones es la C , este diseño tendrá un mejor desempeño, las semilla se posicionara en el centro de la celda y el operador no estará expuesto a un elemento peligroso.

Cálculo de la velocidad del cilindro de punzonado

Sabemos que la velocidad lineal de la banda es:

$$v = 0.451 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Con este dato determinamos la velocidad angular del cilindro de punzonado.

$$w = \frac{v \times 60}{2\pi \times r}$$

$$w = \frac{0.451 \times 60}{2\pi \times 0.119}$$

$$w = 36.19 \text{ rpm} = 3.78 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Cálculo del eje motriz

La carga sobre el eje es puntual, a través de dos platinas que tramiten el movimiento al cilindro, se aplicará el método de falla ante una carga estática, para determinar el diámetro de este.

La fuerza sobre el eje es el peso del cilindro por efecto de la gravedad y la aceleración tangencial del cilindro al momento de arranque del motor.

$$F_1 = m_{Tpunzonado} \times g$$

$$F_1 = 20 \text{ kg} \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_1 = 196,2 \text{ N}$$

Donde:

F_1 Fuerza de la masa del cilindro por acción de la gravedad (Peso del cilindro)

$m_{Tpunzonado}$ Masa del cilindro de punzonado

Calculamos la aceleración normal y la fuerza que esta produce al mover el cilindro.

$$a_{normal} = \omega^2 \times r \quad \text{Ecuación (19)}$$

$$a_{normal} = 3.82^2 \times 0.118$$

$$a_{normal} = 1.72 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{normal} = m_{Tpunzonado} \times a_{normal} \quad \text{Ecuación (20)}$$

$$F_{normal} = 20 \times 1.72$$

$$F_{normal} = 34,4N$$

A continuación, calculamos la fuerza producida por la aceleración tangencial la que es producto del arranque del motor hasta que llegue a la velocidad deseada. Asumimos que el cilindro llega a la velocidad deseada en 1 segundo.

$$\omega_0 = t_0 = 0$$

$$a_{tangencial} = \frac{\omega_1 - \omega_0}{t_1 - t_0} \times r$$

$$a_{tangencial} = \frac{3.82}{1} \times 0.118$$

$$a_{tangencial} = 0.45 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{tangencial} = m \times a_{tangencial}$$

$$F_{tangencial} = 20 \times 0.45$$

$$F_{tangencial} = 9 N$$

$$\tau_{Tpunzonado} = F_{tangencial} \times r$$

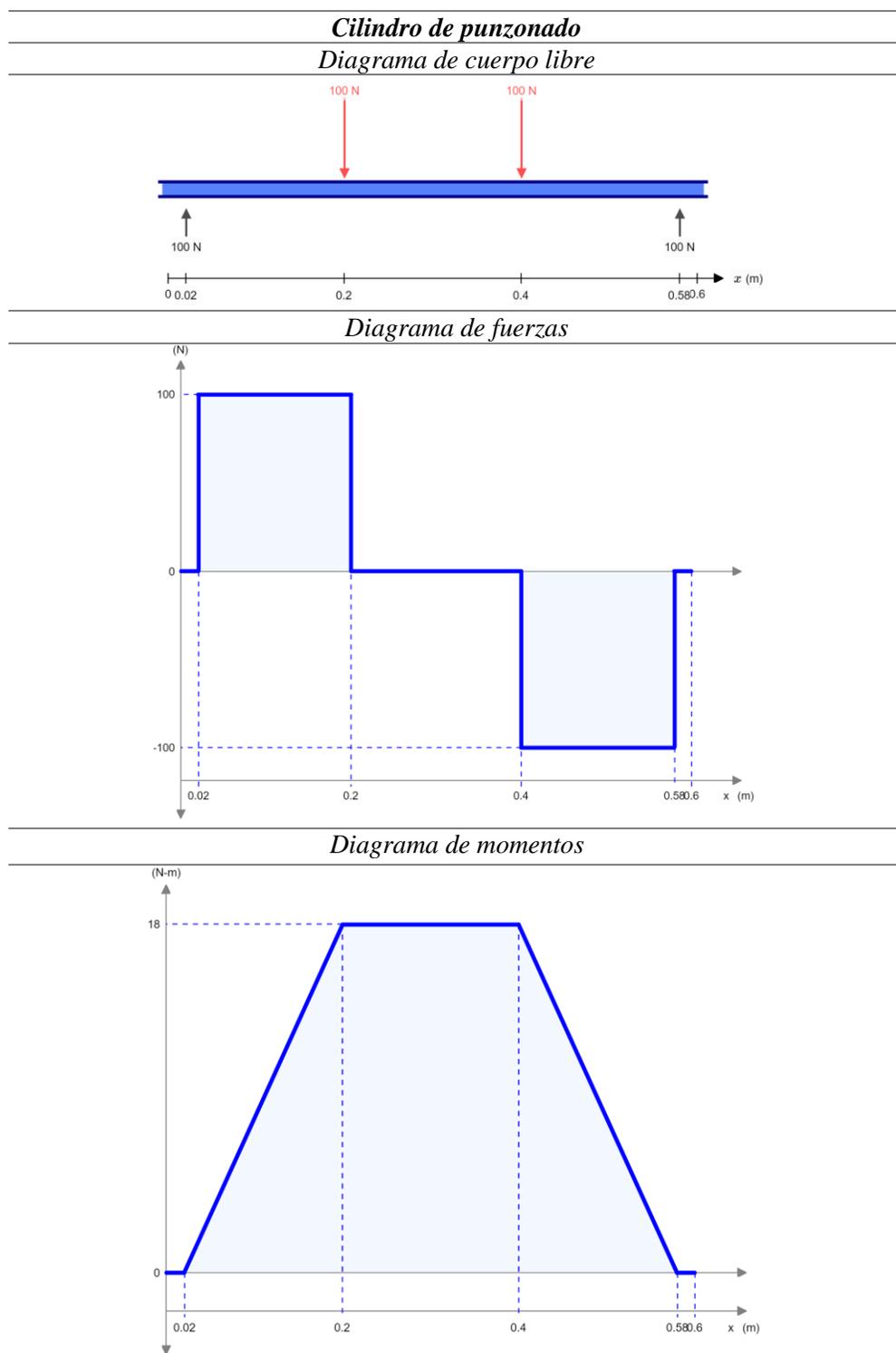
$$\tau_{Tpunzonado} = 9 \times 0.118$$

$$\tau_{Tpunzonado} = 1.06 Nm$$

- Diagramas de fuerza y momento

Tabla 30

Diagramas del cilindro de punzonado



El momento máximo obtenido de los diagramas es:

$$M_p = 18 Nm$$

Aplicamos la teoría del cortante máximo para determinar el diámetro del eje. El material a utilizarse es acero NTE grado 185 con una resistencia a la tensión $S_y = 185 MPa$ y un factor de seguridad de 2. Determinamos el diámetro del eje con las ecuaciones obtenidas del libro Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley 8va edición. Pág. 212

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{N} \times 0.5 \quad \text{Ecuación (21)}$$

$$\frac{16}{\pi \times d^3} \times \sqrt{M_p^2 + \tau_{T\text{punzonado}}^2} = \frac{S_y}{N} \times 0.5$$

$$\frac{16}{\pi \times d^3} \times \sqrt{18^2 + 1.06^2} = \frac{185 \times 10^6}{2} \times 0.5$$

$$d = 12.5 mm$$

Potencia requerida para mover cilindro

Para calcular la potencia nominal utilizaremos la **Ecuación 3**.

$$P = \frac{W \times v}{1000}$$

$$P = \frac{196 \times 0,451}{1000}$$

$$P = 0,09 Hp = 67 watt$$

5.1.3 Subsistema de siembra

Cálculo de la velocidad del cilindro de sembrado

Sabemos que la velocidad lineal de la banda es:

$$v = 0,451 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Con este dato determinamos la velocidad angular del cilindro de punzonado

$$w = \frac{v \times 60}{2\pi \times r}$$

$$w = \frac{0,451 \times 60}{2\pi \times 0.057}$$

$$w = 75,55 \text{ rpm} = 7,91 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Cálculo del eje motriz

La carga en el cilindro de siembra se asemeja a una carga distribuida a lo largo del eje, se aplicará el método de falla ante una carga estática, para determinar el diámetro del eje

$$F_1 = m_{T\text{punzonado}} \times g$$

$$F_3 = 10 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_3 = 98,1 \text{ N}$$

Calculamos la aceleración normal y la fuerza que esta produce al mover el cilindro.

$$a_{normal} = \omega^2 \times r$$

$$a_{normal} = 7,91^2 \times 0,057$$

$$a_{normal} = 3,56 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{normal} = m_{T\text{siembra}} \times a_{normal}$$

$$F_{normal} = 8 \times 3,56$$

$$F_{normal} = 28,48 \text{ N}$$

A continuación, calculamos la fuerza producida por la aceleración tangencial la que es producto del arranque del motor hasta que llegue a la velocidad deseada. Asumimos que el cilindro llega a la velocidad deseada en 1 segundo.

$$\omega_0 = t_0 = 0$$

$$a_{tangencial} = \frac{\omega_1 - \omega_0}{t_1 - t_0} \times r$$

$$a_{tangencial} = \frac{7,91}{1} \times 0,057$$

$$a_{tangencial} = 0,45 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{tangencial} = m \times a_{tangencial}$$

$$F_{tangencial} = 8 \times 0,45$$

$$F_{tangencial} = 3,6 N$$

Calculamos el torque producido en el arranque del cilindro.

$$\tau_{Tsiembra} = F_{tangencial} \times r$$

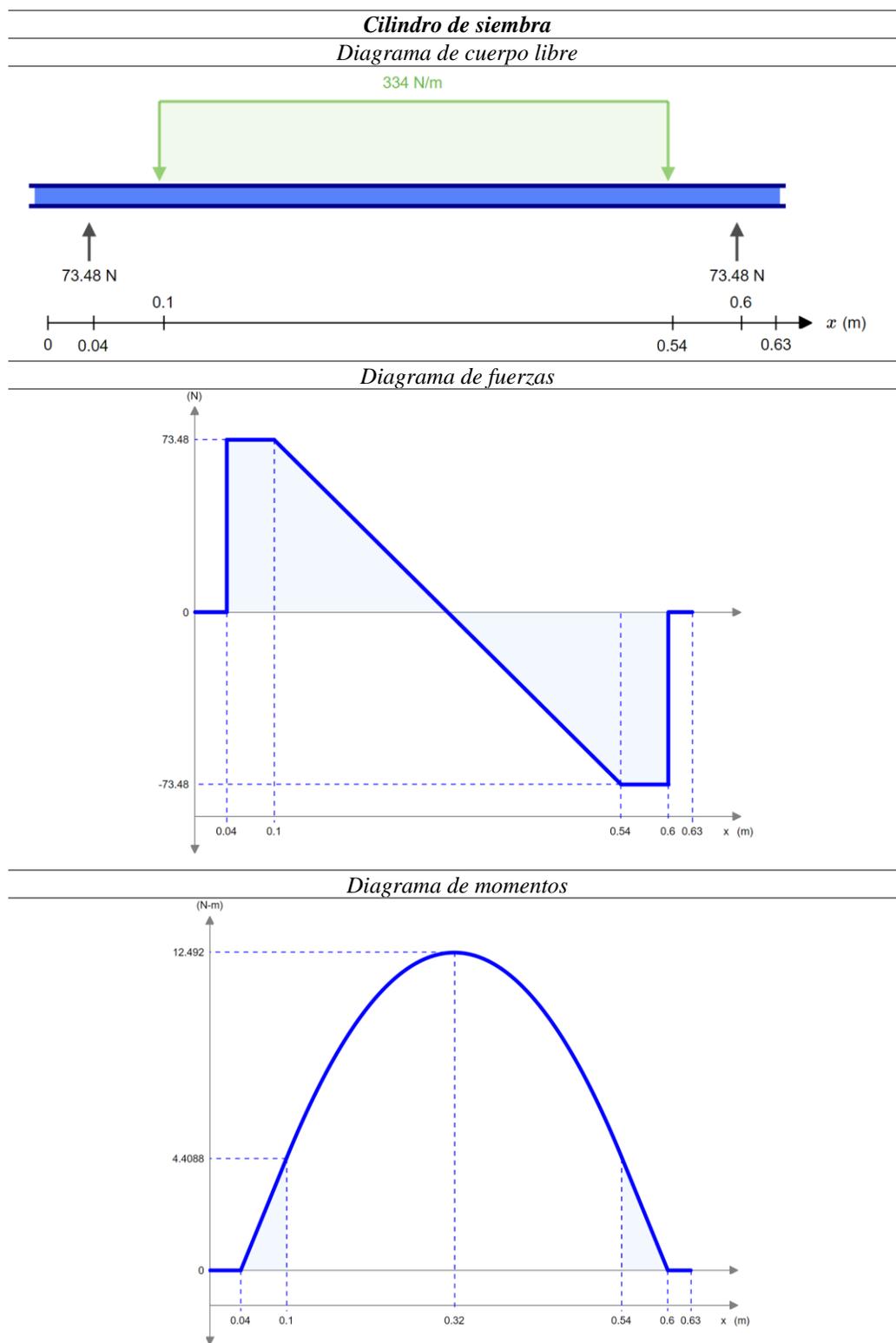
$$\tau_{Tsiembra} = 3,6 \times 0,057$$

$$\tau_{Tsiembra} = 0,21 Nm$$

- Diagramas de fuerza y momento

Tabla 31

Diagramas de cilindro de sembrado



El momento máximo obtenido de los diagramas es:

$$M_b = 12,4 Nm$$

Aplicamos la teoría del cortante máximo para determinar el diámetro del eje. El material a utilizarse es acero NTE grado 185 con una resistencia a la tensión $S_y = 185 MPa$ y un factor de seguridad de 2. Utilizamos la **Ecuación 21** para el cálculo.

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{N} \times 0.5$$

$$\frac{16}{\pi \times d^3} \times \sqrt{M_b^2 + \tau_{Tsiembra}^2} = \frac{S_y}{N} \times 0.5$$

$$\frac{16}{\pi \times d^3} \times \sqrt{12,4^2 + 0,21^2} = \frac{185 \times 10^6}{2} \times 0.5$$

$$d = 11 mm$$

Potencia requerida para mover cilindro

Para calcular la potencia nominal utilizaremos la **Ecuación 3**.

$$P = \frac{W \times v}{1000}$$

$$P = \frac{196 \times 0,451}{1000}$$

$$P = 0,09 Hp = 67 watt$$

5.2. Diseño neumático

5.2.1 Cálculo de la presión requerida

Con el uso de un calibrador digital se determinó que el diámetro de las semillas de brócoli es de 1,27 a 3 mm como se ve en la figura 44, las perforaciones en el cilindro deben ser más pequeña para evitar que las semillas entren en el cilindro, por esta razón se estableció que el diámetro de la perforación sea de 1 mm.



Figura 44 Diámetro de semilla de brócoli

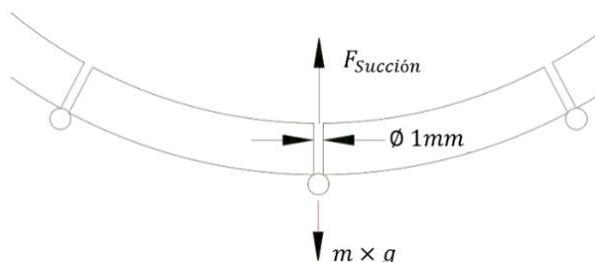


Figura 45 Diagrama de cuerpo libre de la semilla adherida al cilindro

La fuerza de gravedad producida por las semillas es igual a su masa por la gravedad, ver figura 45. Para asegurar la succión de la semilla al cilindro, en los cálculos se considerará 10 veces la masa de todas las semillas a transportar. Conocemos que la bandeja para sembrado de brócoli es de 338 celdas y el que cilindro está diseñado para sembrar solo la mitad de la bandeja, es por esto por lo que el cilindro tendrá que dar dos vueltas para sembrar la bandeja completa, se lo diseño de esta manera con el fin de reducir el consumo de aire en el sistema.

$$m_{semilla} = 6 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

$$m_{Tsemillas} = 169 \times 10 \times 6 \times 10^{-5} = 0.1 \text{ kg}$$

$$F_{semilla} = m_{Tsemillas} \times g$$

$$F_{semilla} = 0.1 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{semilla} = 0.981 \text{ N}$$

Se determina el área de la perforación y se multiplica por 169, que son el número de orificios en el cilindro.

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times 0.001^2}{4}$$

$$A = 7.85 \times 10^{-7} \times 169$$

$$A = 1.3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Según Worldmeteo la presión en la ciudad de Quito es de 0,73 atm (Worldmeteo, 2018). Con este dato procedemos a determinar la presión que tendrá el interior del cilindro considerando la fuerza y el área determinadas anteriormente.

$$P_{ext \text{ UIO}} = 0,73 \text{ atm} = 73 \text{ KPa}$$

$$F_{semilla} = (P_{ext} - P_{int}) \times A$$

Ecuación (22)

$$P_{int} = P_{ext} - \frac{F_{semilla}}{A}$$

$$P_{int} = 65.6 \text{ KPa}$$

Es importante aclarar que la presión externa e interna son absolutas. A este valor restamos la presión atmosférica para obtener la presión manométrica requerida en el interior del cilindro para succionar 169 semillas.

$$P_{int} = 65.6 - 73$$

$$P_{int} = -7.4 \text{ KPa} = -0.074 \text{ bar}$$

Es correcto que la presión interna sea negativa ya que debe generarse vacío para poder mantener la semilla pegada al cilindro.

5.2.2 Cálculo del caudal de succión

Para el cálculo del caudal consumido es necesario tomar en cuenta todos los componentes que forman la línea de succión, empezando por los orificios del tambor hasta llegar al generador de vacío. Para ello se debe calcular el volumen total de la línea de transporte.

$$V_{Perforaciones} = \pi \times r^2 \times l$$

$$V_{Perforaciones} = \pi \times 0,5^2 \times 2$$

$$V_{Perforaciones} = 1.57 \text{ mm}^3$$

Como el cilindro tiene 169 perforaciones se multiplica por ese valor al volumen calculado en el paso anterior para obtener el volumen total de las perforaciones.

$$V_{Tperforaciones} = 1.57 \times 169 = 265.5 \text{ mm}^3$$

Ahora determinamos el volumen del interior del cilindro tomando en cuenta el mecanismo interno del cilindro, dando un valor total de:

$$V_{T \text{ int cilindro}} = 13.8320 \text{ mm}^3$$

Calculamos el volumen de la cámara de distribución de vacío.

$$V_{dis.aire} = \pi \times (r_1 - r_2)^2 \times l$$

$$V_{dis.aire} = \pi \times (52 - 46)^2 \times 4$$

$$V_{dis.aire} = 452,38 \text{ mm}^3$$

Finalmente calculamos el volumen de una tubería flexible de 6 mm de diámetro interior con una longitud aproximada de 2 m.

$$V_{tuberia} = \pi \times r^2 \times l$$

$$V_{tuberia} = \pi \times 3^2 \times 2000$$

$$V_{tuberia} = 56.548 \text{ mm}^3$$

Ya calculado el volumen de la línea de transporte de vacío es posible determinar el volumen total.

$$V_T = V_{T\text{perforaciones}} + V_{T\text{ tambor int}} + V_{dis.\text{aire}} + V_{tuberia} \quad \text{Ecuación (23)}$$

$$V_T = 265.5 + 138320 + 452,38 + 56.548$$

$$V_T = 195.586 \text{ mm}^3 = 0,2 \text{ L}$$

Con este valor es posible determinar el caudal promedio de succión con la ecuación 24. (Smcotech, 2014), estableciendo que el tiempo para alcanzar la presión de vacío sea de 300 ms.

$$Q = \frac{(V \times 60)}{T} \quad \text{Ecuación (24)}$$

$$Q = \frac{(0,2 \times 60)}{0,3}$$

$$Q = 40 \text{ L/min}$$

Determinamos el caudal máximo con la ecuación 25 (Smcotech, 2014). Multiplicamos por un factor de seguridad con el fin de considerar cualquier fuga posible en el sistema.

$$Q_{max} = Q \times 3 \quad \text{Ecuación (25)}$$

$$Q_{max} = 40 \times 3$$

$$Q_{max} = 120 \text{ L/min}$$

Se utilizará un compresor y un generador de vacío ya que se requiere tener una salida de aire con presión positiva y negativa y el sistema estará funcionando varias horas seguidas. Usando los catálogos de algunos proveedores de elementos neumáticos escogió el generador de vacío y la unidad de mantenimiento adecuada, ver tabla 32.

Tabla 32
Componentes neumáticos

<i>Elemento neumático</i>	<i>Especificaciones</i>		<i>Gráfico</i>
Unidad de mantenimiento	Presión de trabajo	1~ 16 [bar]	
	Caudal máximo	1500 [l/min]	
	Grado de filtración	40 [μm] / 5 [μm]	
	Temperatura de trabajo	0 - 60 [°C]	
	Capacidad de condensación	22 ml	
Generador de vacío	Presión de trabajo	Max 6 [bar]	
	Caudal de succión	130 [l/min]	
	Vacío final	- 0,91[bar]	
	Temperatura de trabajo	0 - 60 [°C]	
	Lubricación	No requiere	

Figura 46 Filtro regulador



Figura 47 Generador de vacío

En la figura 48 se presenta el diagrama neumático a implementarse en el desarrollo del prototipo.

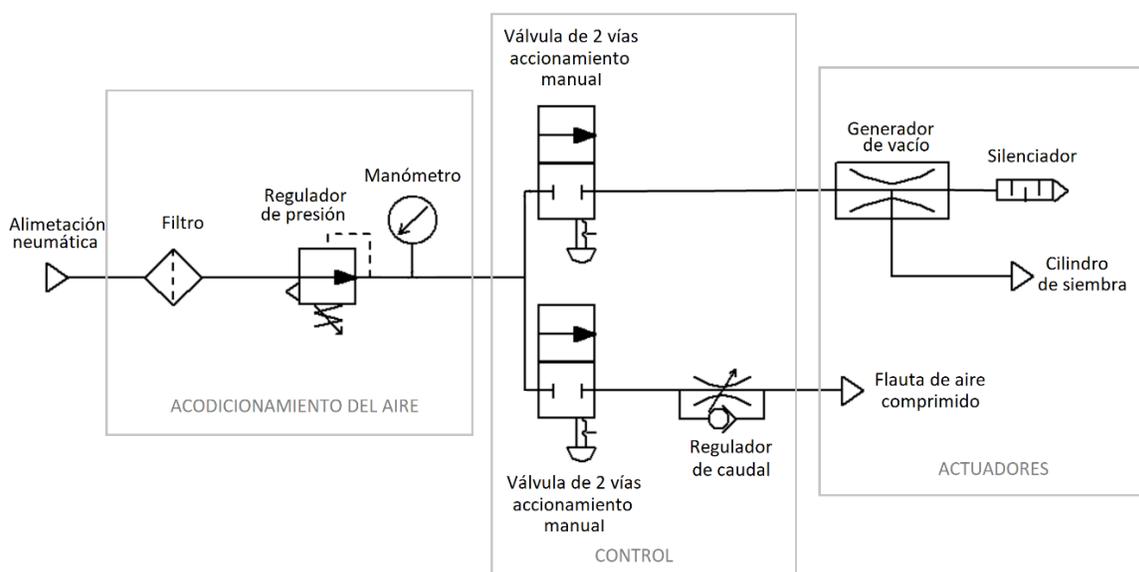


Figura 48 Diagrama neumático

5.3 Diseño electrónico y de control

Para el diseño electrónico y de control se tomó en cuenta los elementos fundamentales para el funcionamiento de la etapa de control y la parte de potencia.

5.3.1 Alimentación

La máquina sembradora necesita de una toma de 110 v AC para su funcionamiento, esta alimenta a dos fuentes de voltaje, una de 12 v – 5 A para la etapa de control y otra de 24 v - 10 A para la alimentación de los actuadores. Ver figura 49.



Figura 49 Fuente de alimentación DC

Ya que los algunos componentes de sistema de control requieran un voltaje de 5 V, se necesitó implementar de un circuito de regulación de voltaje.

5.3.2 Instrumentación

La instrumentación de la máquina abarca los componentes de señalización y de accionamiento necesario para su funcionamiento óptimo. Las variables que se deben controlar son: detectar la presencia de las bandejas cuando es transportada en la banda y detectar cuando los cilindros hayan girado una vuelta. En la tabla 33 se presentan tres opciones de sensor de proximidad.

Tabla 33
Sensores de Proximidad

<i>Inductivo</i>	<i>Capacitivo</i>	<i>Infrarrojo</i>			
 <p>Figura 50 Sensor inductivo Fuente: (Naylamp-Mechatronics, s.f.)</p>	 <p>Figura 51 Sensor capacitivo Fuente: (Elektromarket, s.f.)</p>	 <p>Figura 52 Sensor infrarrojo E18 Fuente: (Teslabem, 2017)</p>			
Especificaciones	Especificaciones	Especificaciones			
Rango de detección	8mm	Rango de detección	2 a 15 mm (ajustable)	Rango de detección	3 a 80cm (ajustable)
Voltaje de operación	6 – 36 VDC	Voltaje de operación	6 – 36 VDC	Voltaje de operación	5V DC
Corriente de salida máxima	300mA	Corriente de salida máxima	300mA	Corriente de salida máxima	100mA
Dimensiones	12x64mm	Dimensiones	18x70 mm	Dimensiones	18x45mm
Material	Metálico	Material	Metálico	Material	plástico
Temperatura de trabajo	-25 a 65°C	Temperatura de trabajo	-25 a 65°C	Temperatura de trabajo	-25 a 70°C
Materiales detectables	Hierro/aleaciones de acero	Materiales detectables	Varios	Materiales detectables	Varios

Luego de un análisis de las especificaciones de los sensores de la tabla anterior, se descarta el sensor tipo inductivo, ya que la bandeja es plástica y este sensor solo puede detectar objetos metálicos, el sensor capacitivo también fue descartado ya que el rango de detección no cumple con el requerido ya que el sensor será ubicado aproximadamente a 40 mm de la bandeja. El sensor seleccionado para detectar la presencia de la bandeja y el giro de los cilindros es un sensor óptico reflexivo, el sensor emite un haz de luz infrarroja, cuando la bandeja pasa este haz de luz es interrumpido y reflejado hacia un fototransistor, así se produce la señal de activación del movimiento del cilindro ver figura 53-2. En el caso del giro de los cilindros el posicionamiento del sensor es fundamental, el principio es el mismo pero el objeto a detectar es una ranura maquinada al extremo del cilindro ver figura 53-1.

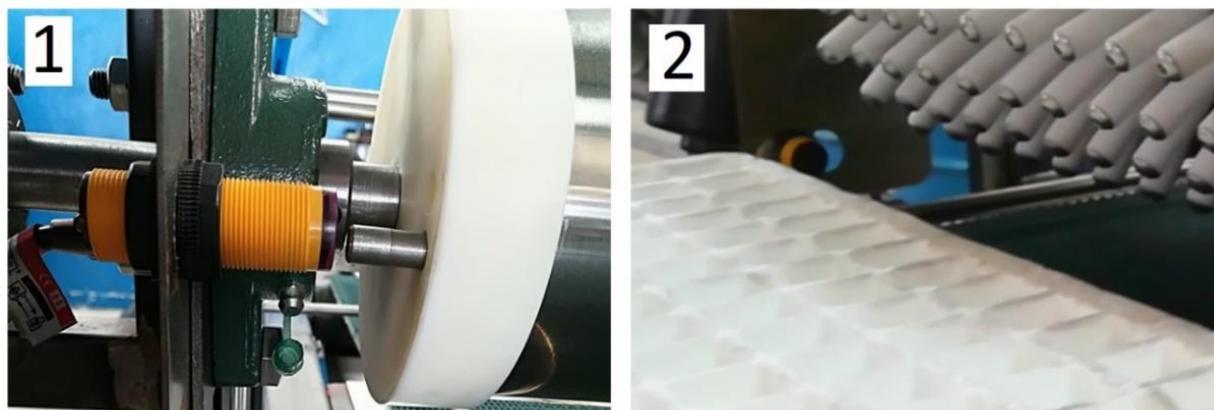


Figura 53 Posición de los sensores

Los componentes de señalización de la máquina se presentan en la tabla 34 y su implementación en la maquina se puede observar en la figura 54.

Tabla 34
Señalética

<i>Componente</i>	<i>Descripción</i>
<i>Indicador color verde</i>	El encendido de esta luz indica que la máquina esta lista para ingresar las bandejas para ser sembradas.
<i>Indicador color naranja</i>	El encendido de esta luz indica que la bandeja ingreso a la etapa de punzonado y el cilindro empezó a moverse.
<i>Indicador color rojo</i>	El encendido de esta luz indica que la máquina se detuvo por algún motivo y hay que revisar los sistemas.



Figura 54 Componentes de señalización

5.3.3 Conductores

Para la conexión de los componentes del sistema se utilizaron conductores aislados, el calibre de los conductores se determina de acuerdo con el amperaje que soportan. Basados en la corriente nominal de cada fuente de alimentación para la máquina sembradora se estima un paso de corriente de 10 A, con los datos de la tabla 35 se escogió el calibre 16 AWG para de conductores de la etapa de potencia.

Tabla 35

Amperaje que soportan los conductores de cobre

Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
20 AWG	2 A
18 AWG	10 A
16 AWG	13 A
14 AWG	18 A
12 AWG	25 A

Fuente: (Volteck, 2017)

5.3.4 Potencia del sistema y dimensionamiento de fusibles

Para determinar la potencia del sistema consideraremos las fuentes de alimentación utilizadas para alimentar los componentes eléctricos de la máquina ver tabla 36, no se tomó en cuenta el consumo del compresor ya que este no es parte de la máquina. El consumo de potencia está dado por:

$$P = V \times I \quad \text{Ecuación (26)}$$

Donde:

P Es la potencia eléctrica [w]

V Es el voltaje [V]

I Es la corriente [A]

La potencia para la fuente de 24 V es:

$$P = V \times I$$

$$P = 24 \times 10$$

$$P = 240 \text{ w}$$

La potencia para la fuente de 12 V es:

$$P = V \times I$$

$$P = 12 \times 5$$

$$P = 60 \text{ w}$$

Entonces la potencia total de la máquina será:

$$P_{total} = 240 + 60$$

$$P_{total} = 300 \text{ w}$$

Tabla 36

Función de las fuentes de alimentación

<i>Fuente de alimentación</i>	<i>Función</i>
24 v – 10 A	La fuente es utilizada para alimentar a etapa de potencia de sistema, está se conforma de tres motorreductores DC.
12 v – 5 A	La fuente es utilizada para alimentar a etapa de control e instrumentación de la máquina, la cual comprende cuatro sensores de proximidad infrarrojos, un regulador de voltaje, el controlador y un módulo de relés.

Para el dimensionamiento de fusible consideraremos la corriente nominal de las fuentes de alimentación de la máquina y un factor protección.

$$I_{fusible} = I_{nominal} \times n$$

$$I_{fusible} = 15 \times 2$$

$$I_{fusible} = 30 \text{ [A]}$$

Donde:

$I_{fusible}$ Corriente de protección de los fusibles

$I_{nominal}$ Corriente nominal o a plena carga

n Constante de protección entre 1,8 y 2,1

5.3.5 Controlador

En la tabla 37 se presenta tres opciones de controladores a ser empleados para el control de la máquina sembradora.

Tabla 37
Controladores

<i>PLC Logo 8</i>	<i>ATmega en una placa Arduino</i>	<i>FPGA ALTERA Cyclone IV</i>																				
 <p>Figura 55 PLC logo 8 Fuente: (Siemens, s.f.)</p>	 <p>Figura 56 Arduino Fuente: (Arduino, 2018)</p>	 <p>Figura 57 Tarjeta FPGA Fuente: (HumanData, 2015)</p>																				
<i>Especificaciones</i>	<i>Especificaciones</i>	<i>Especificaciones</i>																				
<table border="1"> <tr> <td>Voltaje de operación</td> <td>24 VDC</td> </tr> <tr> <td>Pines Digitales I/O</td> <td>8 entradas y 4 salidas</td> </tr> </table>	Voltaje de operación	24 VDC	Pines Digitales I/O	8 entradas y 4 salidas	<table border="1"> <tr> <td>Voltaje de operación</td> <td>5- 9 VDC</td> </tr> <tr> <td>Pines Digitales I/O</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td>RAM</td> <td>8 KB</td> </tr> <tr> <td>Velocidad del reloj</td> <td>16 MHz</td> </tr> </table>	Voltaje de operación	5- 9 VDC	Pines Digitales I/O	54	RAM	8 KB	Velocidad del reloj	16 MHz	<table border="1"> <tr> <td>Voltaje de operación</td> <td>1- 3.4 VDC</td> </tr> <tr> <td>Pines Digitales I/O</td> <td>164</td> </tr> <tr> <td>RAM</td> <td>414 KB</td> </tr> <tr> <td>Velocidad del reloj</td> <td>50 MHz</td> </tr> </table>	Voltaje de operación	1- 3.4 VDC	Pines Digitales I/O	164	RAM	414 KB	Velocidad del reloj	50 MHz
Voltaje de operación	24 VDC																					
Pines Digitales I/O	8 entradas y 4 salidas																					
Voltaje de operación	5- 9 VDC																					
Pines Digitales I/O	54																					
RAM	8 KB																					
Velocidad del reloj	16 MHz																					
Voltaje de operación	1- 3.4 VDC																					
Pines Digitales I/O	164																					
RAM	414 KB																					
Velocidad del reloj	50 MHz																					

Luego de un análisis a las características de los controladores propuestos anteriormente en la tabla 37 y tomando en cuenta que el control a implementar es limitado, se descartó el uso de una tarjeta FPGA, ya que este tipo de controlador es empleado en el manejo de gran cantidad de información y procesamiento de alta velocidad. Además, al tratarse de un primer prototipo en fase de experimentación la opción de utilizar un PLC también fue descartada ya que a pesar de ser un

sistema robusto y confiable implica un mayor costo comparado con el microcontrolador ATmega, asimismo para cumplir con las entradas y salidas de control requeridas se necesita implementar un módulo adicional elevando aún más el costo del controlador. Por las razones mencionadas anteriormente y considerando que el controlador cumpla el número de entradas y salidas de control necesarias se seleccionó el microcontrolador ATmega en la placa Arduino para realizar el control de la máquina sembradora.

5.3.6 Actuadores

En la tabla 38 se presenta tres opciones de actuadores rotativos, tomando en cuenta que se requiere variar la velocidad de giro de los actuadores y la potencia nominal, se descarta la opción de emplear motorreductores AC y motores a pasos, ya que estos no cumple con las características necesarias de potencia y en el caso de los motorreductores AC para controlar la velocidad de giro se requiere implementar un variador de frecuencia lo cual representa un mayor costo comparado con los drivers para el control de motores DC, basados en las especificaciones de potencia, torque y el análisis planteado anteriormente se seleccionó el motorreductor DC para ser implementado en la máquina sembradora.

Tabla 38

Características de los actuadores

Motorreductor DC	Motorreductor AC	Motor a pasos																								
 <p>Figura 58 Motorreductor dc Fuente: (Uxcell, 2009)</p>	 <p>Figura 59 Motorreductor ac Fuente: (Dayton, s.f.)</p>	 <p>Figura 60 Motor a pasos Fuente: (Stepperonline, 2005)</p>																								
<p>Especificaciones</p> <table border="1"> <tr> <td>Voltaje de operación</td> <td>24V DC</td> </tr> <tr> <td>Potencia nominal</td> <td>80 W</td> </tr> <tr> <td>Torque</td> <td>8 N.M</td> </tr> <tr> <td>Velocidad</td> <td>100 rpm</td> </tr> </table>	Voltaje de operación	24V DC	Potencia nominal	80 W	Torque	8 N.M	Velocidad	100 rpm	<p>Especificaciones</p> <table border="1"> <tr> <td>Voltaje de operación</td> <td>115V AC</td> </tr> <tr> <td>Potencia nominal</td> <td>185 W</td> </tr> <tr> <td>Torque</td> <td>8 N.M</td> </tr> <tr> <td>Velocidad</td> <td>120 rpm</td> </tr> </table>	Voltaje de operación	115V AC	Potencia nominal	185 W	Torque	8 N.M	Velocidad	120 rpm	<p>Especificaciones</p> <table border="1"> <tr> <td>Voltaje de operación</td> <td>24V DC</td> </tr> <tr> <td>Potencia nominal</td> <td>40 W</td> </tr> <tr> <td>Torque</td> <td>4 N.M</td> </tr> <tr> <td>Ángulo de paso</td> <td>0,039°</td> </tr> </table>	Voltaje de operación	24V DC	Potencia nominal	40 W	Torque	4 N.M	Ángulo de paso	0,039°
Voltaje de operación	24V DC																									
Potencia nominal	80 W																									
Torque	8 N.M																									
Velocidad	100 rpm																									
Voltaje de operación	115V AC																									
Potencia nominal	185 W																									
Torque	8 N.M																									
Velocidad	120 rpm																									
Voltaje de operación	24V DC																									
Potencia nominal	40 W																									
Torque	4 N.M																									
Ángulo de paso	0,039°																									

5.3.7 Lazos de control

Para el control de la máquina sembrado se implementó un control ON-OFF en lazo cerrado como se puede apreciar en la figura 61 y 62, donde la señal de control es la presencia de la bandeja, controlador es un ATmega 2560 en una placa Arduino, el practicador es un relé electromecánico, el actuador es el motorreductor DC, la planta es el cilindro de punzonado o sembrado, el sensor es uno de proximidad infrarrojo y finalmente la señal de salida es el movimiento giratorio del cilindro de punzonado o sembrado. En el lazo de control para la desactivación de los cilindros la señal de entrada es la presencia de la ranura en el extremo de los cilindros y la señal de salida es detener los cilindros.

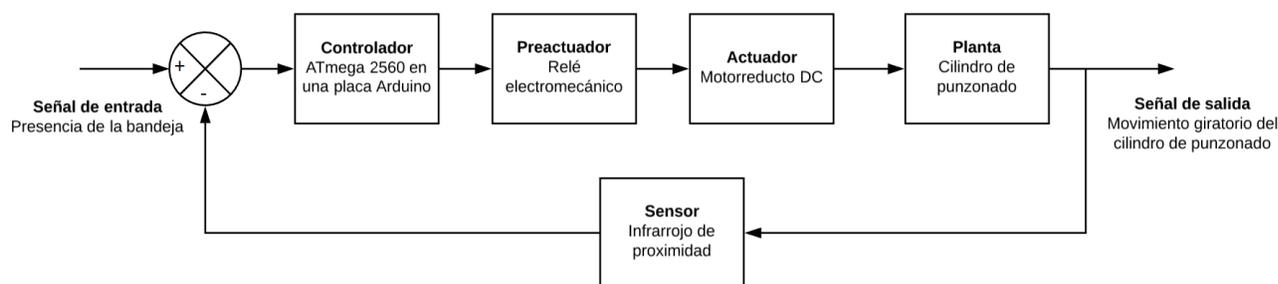


Figura 61 Lazo de control del proceso de punzonado

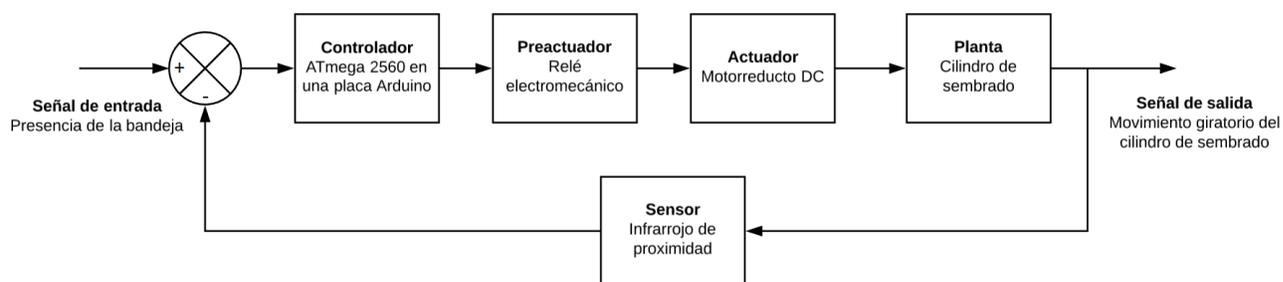


Figura 62 Lazo de control del proceso de sembrado

5.3.8 Implementación

Para acoplar el sistema de control con la etapa de potencia se utilizó un módulo de relés electromecánicos y opto acoplados para aislar el circuito de control y así evitar posibles interferencias en el controlador. En la figura 63 se observa el diagrama de conexiones de todos los elementos de control y potencia de la máquina sembradora.

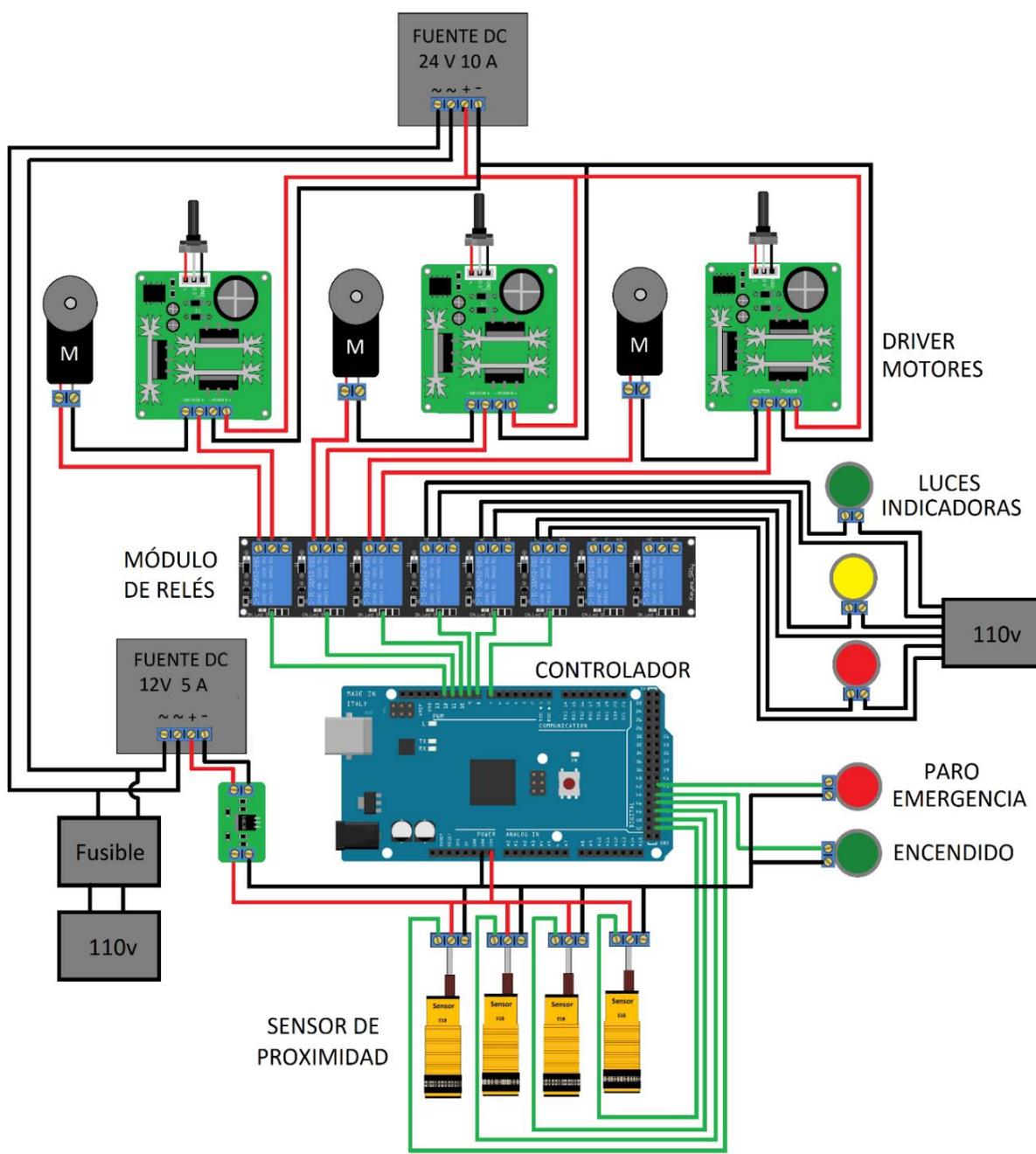


Figura 63 Diagrama electrónico

En la figura 64 se puede observar la implementación física del circuito de control y mando.



Figura 64 Implementación del sistema de control

5.4. Implementación de hardware

La construcción de la máquina se dividió en seis subsistemas, dentro de la planificación de la construcción se decidió empezar con el subsistema de transporte ya que este sería la estructura en la cual se montará el resto de los subsistemas.

Subsistema de transporte y soporte de regulación de altura

El subsistema de transporte se construyó con perfilera de acero negro de 2mm, como se ve en la figura 65 (1) a continuación se realizó el corte de la tubería para dejarla a la medida requerida y proceder a soldar la estructura, el siguiente paso fue la fabricación del subsistema de soporte de regulación de altura como se ve en la figura 65 (2), a continuación, se elaboró los rodillos que transmitirán movimiento a la banda como se ve en la figura 65 (3). Una vez fabricadas las piezas se procedió a ensamblar los subsistemas, adicional a esto se instalaron también las chumaceras, actuadores lineales y la banda de PVC como se ve en la figura 65 (4).

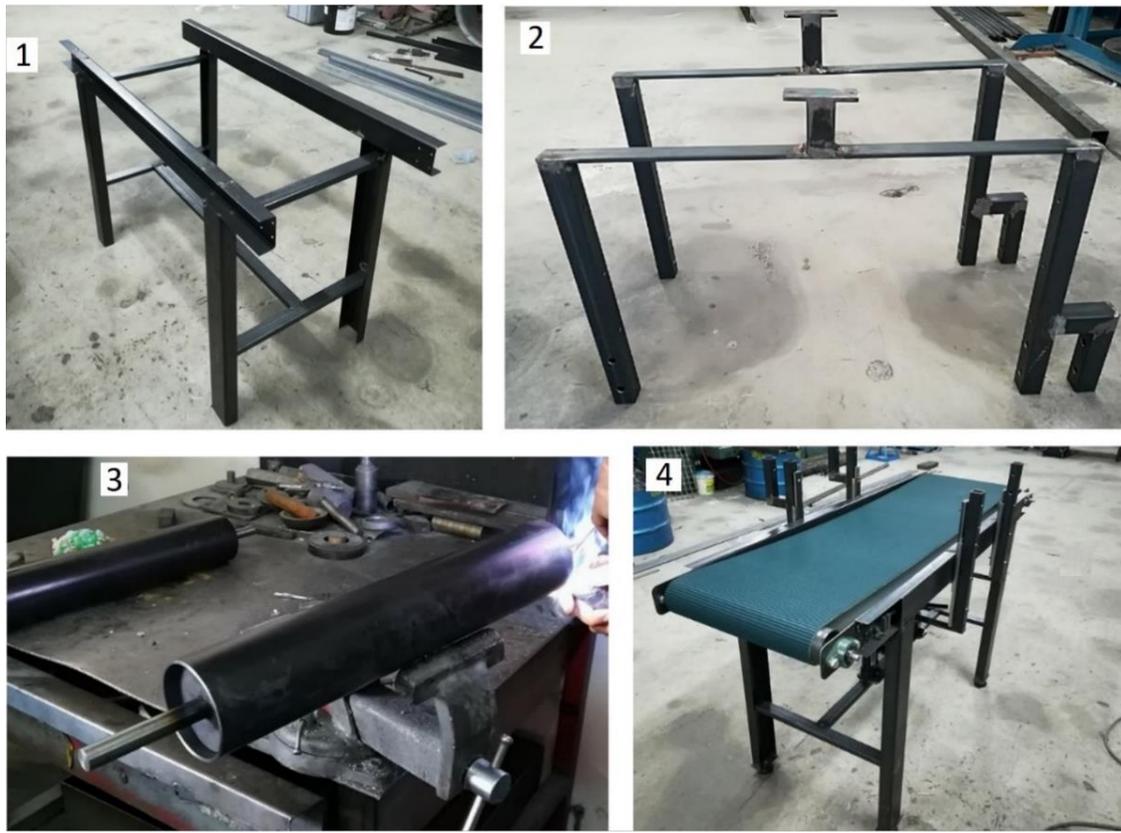


Figura 65 Construcción del sistema de transporte

Subsistema de punzonado

Este subsistema se compone de un cilindro de acero inoxidable, los punzones y el eje donde estará ensamblado. EL cilindro fue montado en el torno para ser rectificado como se ve en la figura 66-1, y posteriormente se montó en el cabezal divisor y en la fresadora como se ve en la Figura 66-2. Ya realizado el montaje se maquinaron las perforaciones donde irán empernados los punzones como se ve en la figura 66-3, Finalmente se ajustaron los punzones en el cilindro y este a su vez en el eje. En los extremos del eje se encuentran dos platinas las cuales están encargadas de transmitir movimiento al cilindro, como se ve en la figura 66-4

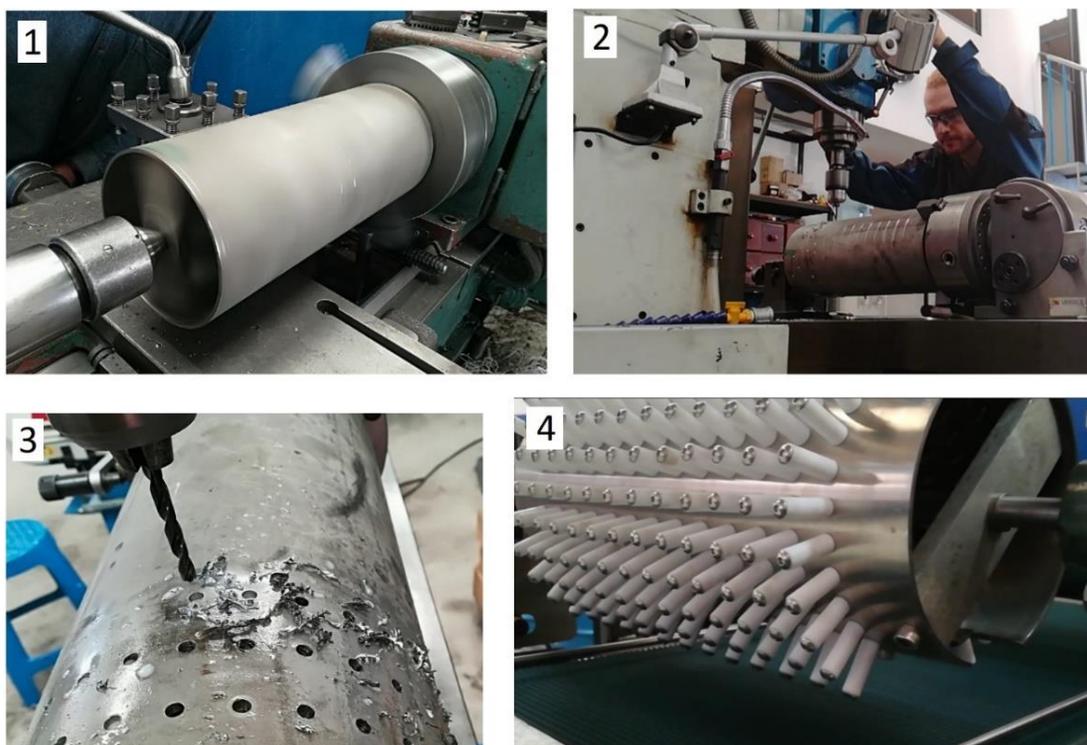


Figura 66 Construcción de cilindro de punzonado

Subsistema de siembra

El cilindro utilizado para el sembrado está fabricado de acero inoxidable 304, aprobado para el contacto con alimentos según la norma NTE INEN-EN 1672, el cilindro se montó en el cabezal divisor y en la fresadora ver figura 67-1, empleado una broca con revestimiento de titanio de 1 mm se maquinó las perforaciones en el cilindro como se ve en la figura 67-2.

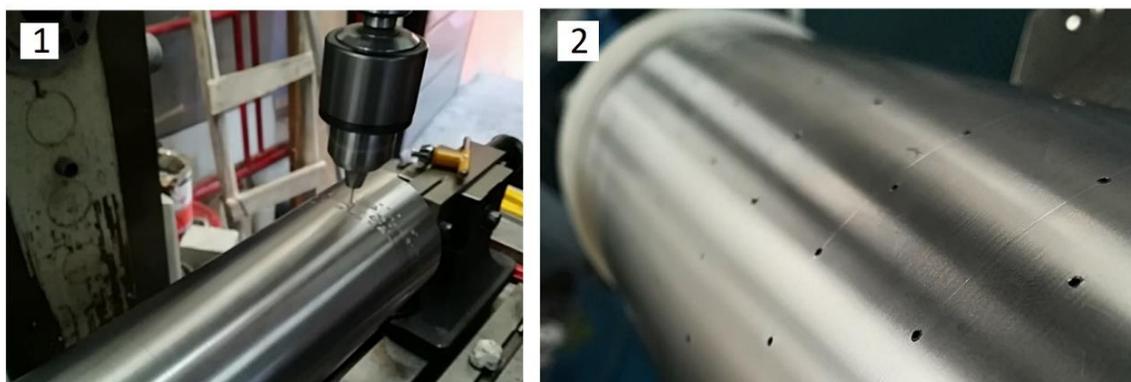


Figura 67 Construcción de cilindro de siembra

Subsistema de dosificación y liberación de semillas

Este subsistema consta de una bandeja de acrílico que contiene las semillas y permite que el cilindro de siembra tome las semillas de manera sencilla y rápida como se ve en la figura 68-2. La bandeja está montada a la estructura mediante dos barras de acero inoxidable como se ve en la figura 68-1. El subsistema de liberación consta de una espátula de acrílica montada en la parte inferior del cilindro y esta a su vez se encuentra sujeta a la estructura mediante una barra de acero inoxidable.



Figura 68 Sistema de dosificación y liberación

Ensamble de subsistemas

Ya fabricadas las piezas y adquirido los componentes necesarios, se procedió a realizar el ensamblaje de los seis subsistemas como se ve en la figura 69.

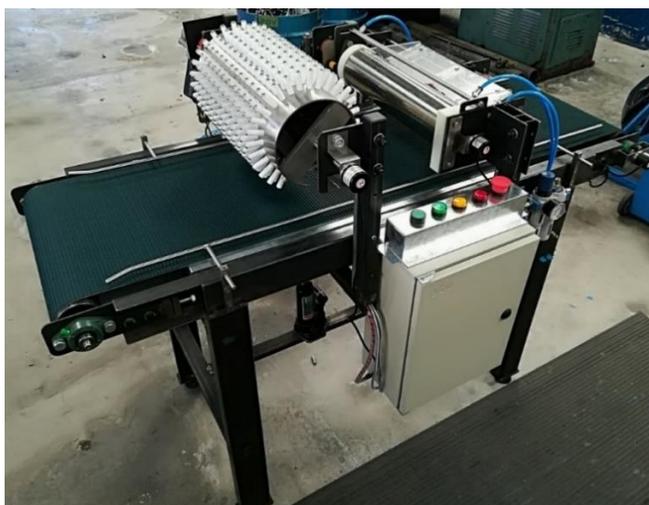


Figura 69 Ensamble general de máquina sembradora

Además, se montó los componentes del sistema neumático ver figura 70-1 y los actuadores eléctricos con acoples de mordaza, ver figura 70-2.

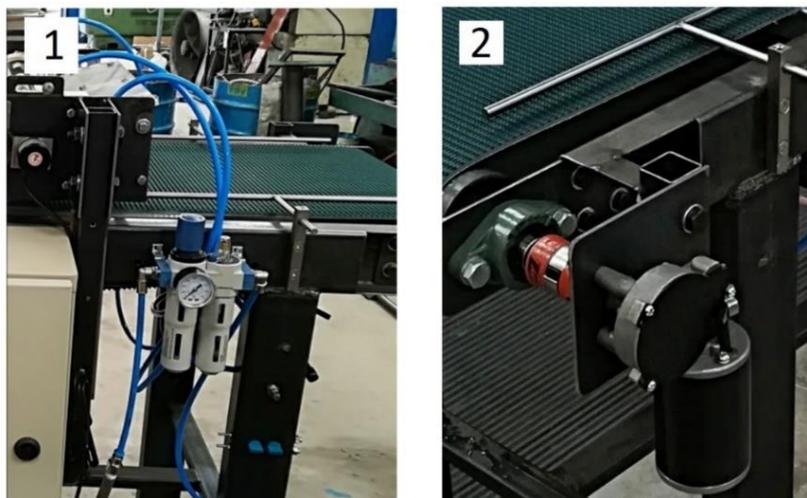


Figura 70 Ensamble de subsistemas

5.5. Diseño e implementación de software

La programación de la máquina se realizó con la siguiente lógica de funcionamiento y está representada en el diagrama de flujo de la figura 71, donde el diagrama de la izquierda corresponde al proceso de punzonado y el diagrama de la derecha el proceso al proceso de sembrado. Es importante aclarar que la velocidad del proceso será constante todo el tiempo. El operador presiona el pulsador de puesta en marcha color verde activando el sistema de transporte, a la vez se enciende un indicador luminoso color verde, luego el operador coloca la bandeja en la máquina, una vez que la bandeja avanza hasta llegar al sensor de proximidad se emite una señal que activa el cilindro de punzonado, al empezar esta etapa se enciende una indicador luminoso de color naranja con el fin de indicar al operador que el cilindro de punzonado empezó a moverse, esta luz piloto permanecerá encendida hasta que la bandeja salga de todo el proceso de sembrado, la bandeja al salir de esta etapa entra a la fase de sembrado donde otro sensor de proximidad envía una señal de activación del cilindro de siembra. El giro de ambos cilindros es controlado mediante sensores de proximidad. También está habilitada la opción del paro de emergencia por medio de un pulsador color rojo que detiene el proceso en caso de una emergencia. Para nuevamente poner en marcha el proceso se debe desactivar el pulsador de emergencia y presionar el pulsador de puesta en marcha.

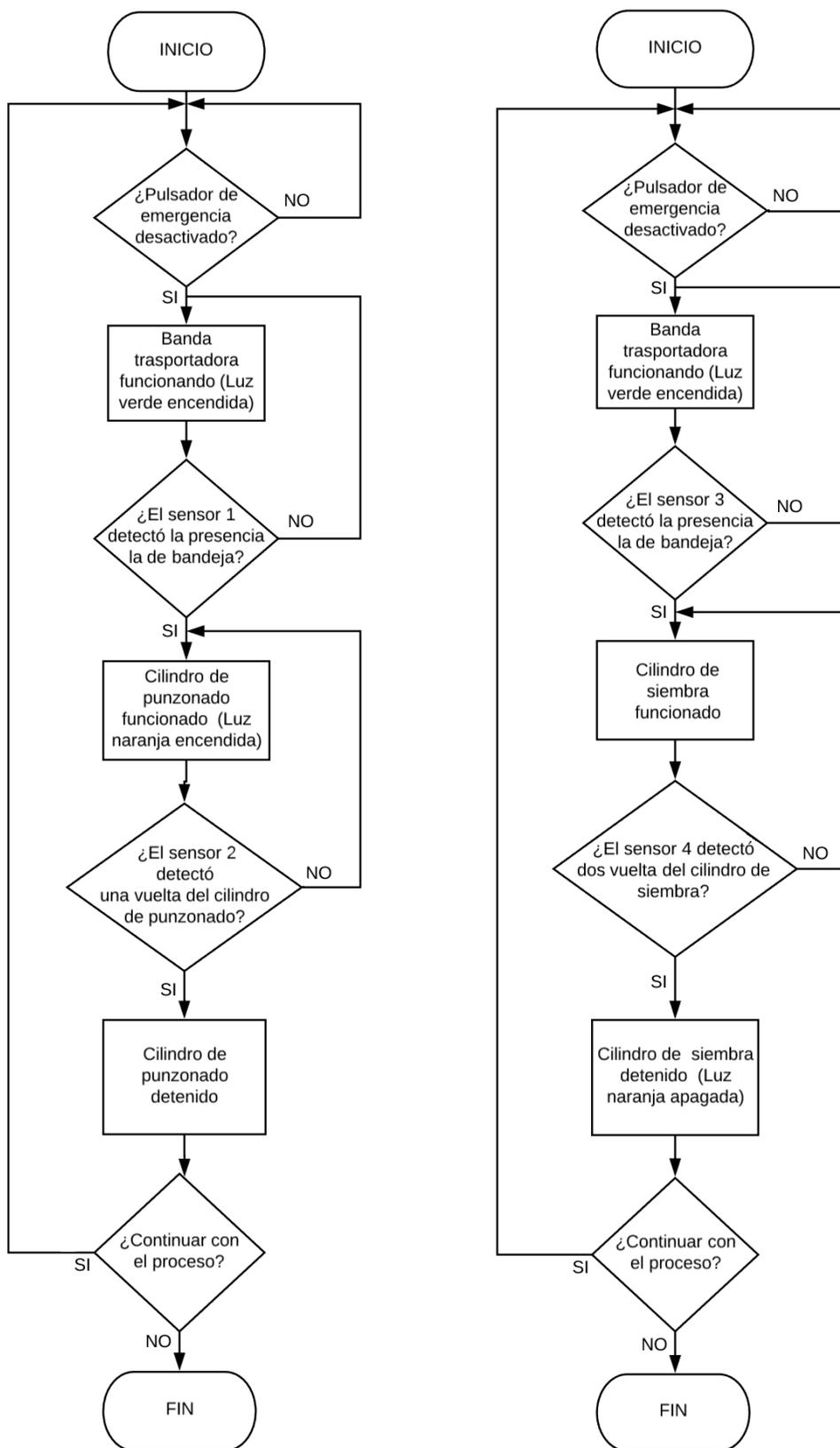


Figura 71 Diagrama de flujo de los procesos de punzonado y sembrado

CAPÍTULO VI

PRUEBAS Y REFINAMIENTO

A través de este capítulo se busca evaluar el funcionamiento del prototipo realizando pruebas para confirmar y validar las métricas establecidas anteriormente.

6.1. Desarrollo del protocolo de pruebas.

El desarrollo del protocolo de pruebas consiste en verificar si el prototipo cumple con los parámetros establecidos para la máquina, se realizarán pruebas físicas del funcionamiento de todo el sistema. Además, se estableció un listado de preguntas en base a las necesidades del cliente que servirá como herramienta de apoyo al momento de evidenciar el cumplimiento de las especificaciones.

¿La máquina siembra con exactitud?

¿El sistema produce 600 bandejas por hora?

¿Durante el proceso existe daño físico en las semillas?

¿La máquina tiene un consumo de aire menor a 150 litros por minuto?

¿El sistema siembra una sola semilla por celda?

¿Es fácil de operar la máquina?

¿El sistema funciona de manera modular?

¿El mantenimiento de la maquina es relativamente sencillo?

¿El proceso que realiza la maquina es continuo?

¿La máquina presenta adaptabilidad a otras etapas del proceso y a futuras automatizaciones?

6.2 Pruebas del sistema

El proceso de evaluación de la máquina de sembrado se realizó por medio de etapas con el fin de verificar el funcionamiento correcto de cada subsistema, primero se realizó las pruebas de la banda transportadora ya que el resto de los subsistemas dependerán del correcto funcionamiento de este, a continuación, se verifico el subsistema de punzonado, sembrado, dosificación y liberación de semillas. Una vez realizadas las pruebas y refinados los detalles de cada subsistema se procedió hacer pruebas del sistema en conjunto.

6.2.1 Pruebas en el subsistema de punzonado

En las pruebas del cilindro de punzando interviene el sistema de regulación de altura, este nos permite ajustar la profundidad con la que el punzón entra en las celdas de la bandeja. Como se ve en la figura 72 los punzones ingresan una la fila a la vez y a una profundidad ajustable de 0 a 20 mm bajo el nivel de referencia, este valor dependerá del tipo de semilla, por lo general es de 2 a 3 veces el diámetro de la semilla. En el caso del brócoli el tamaño promedio de semilla es de 2.5 mm, por esta razón se fijó la profundidad de punzonado a 7 mm abajo el nivel de referencia.

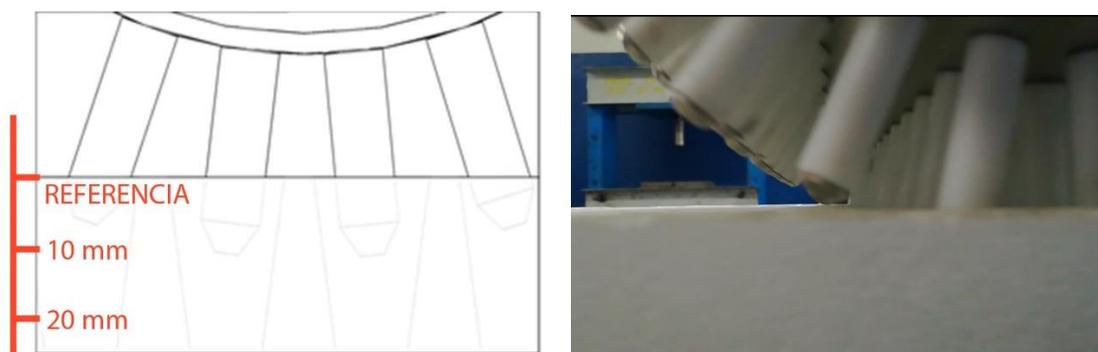


Figura 72 Pruebas del cilindro de punzonado

Como se aprecia en la figura 73-1, se efectuaron pruebas de posicionamiento de los sensores con el fin de sincronizar la entrada de la bandeja con el inicio de la etapa de punzado. Cuando el proceso ya ha iniciado se verifico que la posición de los punzones este alineada y centrada respecto a las celdas de la bandeja para garantizar que la semilla se coloque correctamente. Ver la figura 73-2.

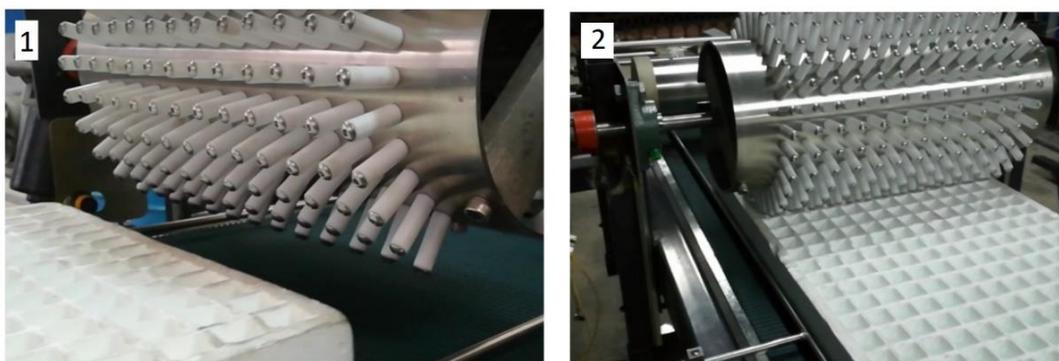


Figura 73 Prueba de la sincronización del cilindro

6.2.2 Pruebas en el subsistema de sembrado

En las pruebas del subsistema de sembrado interviene la dosificación y liberación de las semillas. En el subsistema de dosificación se realizaron pruebas de la posición que debe tener el contenedor de las semillas respecto al cilindro para facilitar la succión de la semilla. En los ensayos se colocó una superficie plana bajo la bandeja permitiendo una mejor apreciación de la distribución de las semillas. Además, se realizaron pruebas del posicionamiento de los sensores para sincronizar el movimiento de la bandeja con el cilindro de sembrado como se ve en la figura 74.



Figura 74 Prueba de sincronización de sembrado

A continuación, se probó el sistema neumático, utilizando un manómetro y el regulador de presión de la máquina, se analizó el comportamiento del sistema de succión a diferentes presiones entre 1 y 6 [bar], y se varió la velocidad de giro del cilindro. Se observó que con presiones bajo los 3 [bar] y con una velocidad de giro sobre las 20 [rpm] las bandejas tenían un porcentaje de semillas sembradas menor al 50%. Por esta razón y basados en la curva de funcionamiento del

generador de vacío se decidió elevar la presión de trabajo para mejorar la succión de la semilla, además se disminuyó la velocidad de giro del motor garantizando que todas las celdas sean sembradas, el aumento de la presión formó grupos de semillas en las tomas de succión como se aprecia en la figura 75, esto representaba un problema ya que el objetivo del sistema es depositar una sola semilla por celda. El equipo de diseño fabricó un sistema de soplado que permitió desagrupar las semillas para dar solución al problema, en el capítulo III sección pruebas del concepto se desarrolló a mayor detalle el sistema propuesto.

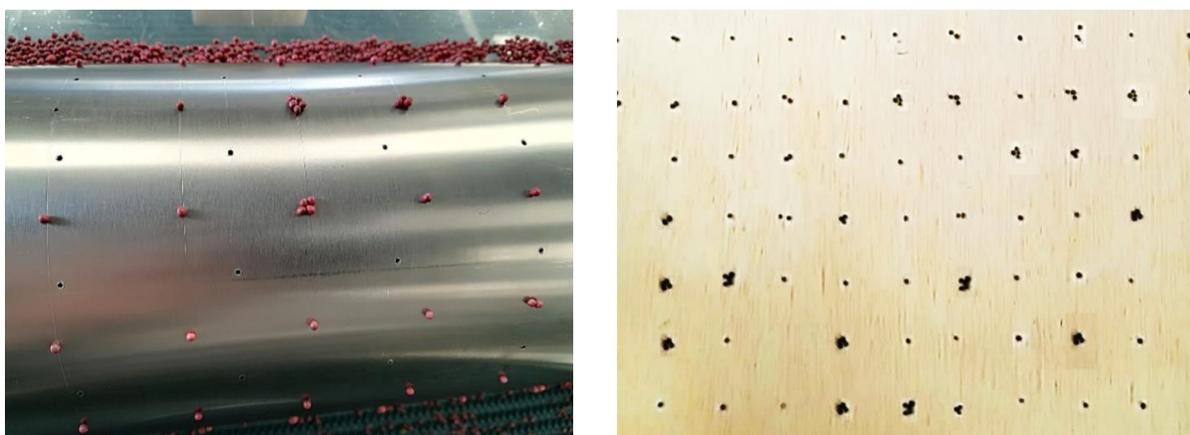


Figura 75 Prueba de dosificación de semilla

Resuelto el problema de la agrupación de semillas se realizaron pruebas para verificar el porcentaje de semillas sembradas y la cantidad de bandejas/hora que la máquina puede sembrar.

6.3. Análisis de resultados del sistema

6.3.1 Porcentaje de semillas sembradas

Para determinar el porcentaje de semillas sembradas se tomó 15 muestras, en la figura 76 se puede observar dos de ellas, la primera imagen corresponde a una bandeja con mayor número de errores y la segunda imagen corresponde a un sembrado con menor error, sin embargo, ambos están sobre el 95% de eficiencia de sembrado.

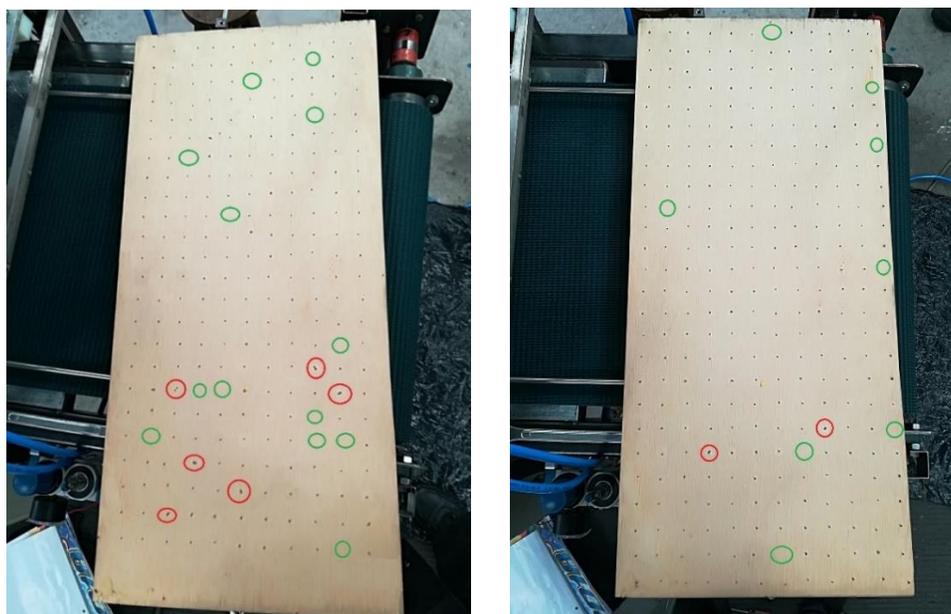


Figura 76 Porcentajes de error de semillas sembradas

Se contaron las celdas que no tenían semillas (color verde) y las celdas que tenían semillas dobles (color rojo) de las 15 muestras, en tabla 39 se puede observar el porcentaje de eficacia de cada prueba, el cálculo se generó tomando en cuenta que el 100% de la bandeja contiene 338 celdas.

Tabla 39

Porcentajes de eficiencia de sembrado.

<i>Bandeja</i>	<i>Número de semillas sembradas [Unidades]</i>	<i>Eficiencia [%]</i>
1	325	96,15
2	329	97,34
3	330	97,63
4	329	97,34
5	329	97,34
6	324	95,86
7	330	97,63
8	329	97,34
9	324	95,86
10	330	97,63
11	330	97,63
12	324	95,86
13	325	96,15
14	328	97,04
15	330	97,63

Para determinar un porcentaje de eficiencia de sembrado se tomó el valor más alto y el más pequeño para sacar una media, luego de realizar esto se puede establecer que la máquina tiene una eficiencia de sembrado promedio de 96,74 %.

6.3.2 Capacidad de producción

Para determinar la capacidad de producción se tomó el tiempo que la bandeja tarde en ser sembrada, luego de repetir el proceso varias veces se establece que el tiempo de sembrado de una bandeja es de 8 segundos.

$$\text{Bandejas sembradas por hora} = \frac{3.600}{8}$$

$$\text{Bandejas sembradas por hora} = 450$$

Con una capacidad de producción de 450 bandejas/hora y asumiendo una jornada de 8 horas diarias la producción mensual será de 72.000 bandejas mensuales.

6.3.3 Especificaciones finales

Luego de haber realizado las pruebas hay que verificar que las especificaciones y objetivos propuesto para la máquina sembradora se haya cumplido o no, a continuación, se responderán las preguntas planteadas al inicio de este capítulo.

¿La máquina siembra con exactitud?

Si, la máquina deposita una sola semilla por celda, con un porcentaje de eficiencia del 96,74 %.

¿El sistema produce 600 bandejas por hora?

No, la máquina tiene una producción de 450 bandejas hora, porque, al aumentar la velocidad de giro del cilindro con el propósito de aumentar la capacidad de producción, el porcentaje de semillas sembradas disminuía considerablemente. Por esta razón se estableció la velocidad de giro del cilindro de sembrado en 15 [rpm].

¿Durante el proceso existe daño físico en las semillas?

No, se realizó una inspección visual al terminar el proceso y se verificó que las semillas se encuentren sin daños físicos.

¿La máquina tiene un consumo de aire de 150 litros por minuto?

Si, basados en la curva de funcionamiento del generador de vacío y con una presión de trabajo de 4 [bar] el consumo de aire es de 150 l/min.

¿Es fácil de operar la máquina?

Si, el operado debe colocar la bandeja sobre la banda transportadora y retirarla al salir del proceso, además se implementó una interfaz de usuario sencilla que consta de un pulsador para la puesta en marcha de la máquina y señalética luminosa para indicar la activación de los subsistemas de punzonado y sembrado. Adicionalmente se implementó un botón de paro de emergencia que inhabilita todo el sistema.

¿El sistema funciona de manera modular?

Si, el cilindro de punzonado como el de sembrado funcionan como accesorios, su desmontaje es relativamente sencillo, se lo diseñó de esta manera con el propósito de posteriormente construir otros cilindros con diferentes configuraciones que se adapten a otros tipos de bandejas.

¿El mantenimiento de la máquina es relativamente sencillo?

Si, la máquina solo requiere de lubricación y limpieza superficial, esta se puede realizar con un trapo humedecido en agua tibia o alcohol.

¿El proceso que realiza la máquina es continuo?

Si, uno de los objetivos del diseño era desarrollar un sistema que permita a la bandeja que no se detenga en el proceso, esta al ser transportada en la banda no se detiene hasta finalizar la siembra, evitando así los tiempos muertos en la producción.

¿La máquina presenta adaptabilidad a otras etapas del proceso y a futuras automatizaciones?

Si, ya que el sistema es continuo y la bandeja se traslada sobre una banda transportadora, por lo tanto, al iniciar como al finalizar el proceso es posible incorporar otros sistemas que automaticen por completo el proceso de sembrado.

Con los datos obtenidos en las pruebas y refinamiento de la máquina, se establecen las especificaciones finales en la tabla 40.

Tabla 40
Especificaciones finales de la máquina

<i>N.º</i>	<i>Métrica</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
1	Bandejas sembradas	450	[B/h]
2	Porcentaje de semillas sembradas	97	[%]
3	Profundidad de sembrado	Ajustable de 0 a 20	[mm]
4	Tamaño de semillas	<3	[mm]
5	Dimensiones de la bandeja	Ajustable hasta 600x400	[mm]
6	Número de operaciones a realizar	3	[Cant]
7	Porcentaje de daños en la semilla	0	[%]
8	Potencia de la máquina	<1	[kW]
9	Peso de la máquina	<150	[Kg]
10	Adaptabilidad con otros procesos	Si	[subj]
11	Diseño ergonómico	Si	[subj]
12	Cumplimiento de normativa	Si	[subj]
13	Consumo de aire	<150	[l/min]

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS DE COSTOS

7.1. Análisis de costos de fabricación

Para estimar el costo de fabricación de la máquina se tomó en consideración tres parámetros fundamentales, el costo de diseño, el costo de manufactura y el costo de materiales.

7.1.1 Análisis de costo de diseño

Considerando que la etapa de diseño duro aproximadamente 200 horas, donde se analizaron aspectos estéticos, funcionales y técnicos de la propuesta, como el dimensionamiento y el modelo tridimensional su pudo establecer los siguientes costos ver tabla 41. Se fijó un costo de hora de diseño de USD 20.

Tabla 41
Costos de diseño

<i>Actividad</i>	<i>Costo por hora</i>	<i>Cantidad de horas</i>	<i>Total</i>
<i>Costo de diseño</i>	USD 20	200	USD 4000

7.1.2 Análisis de costos de manufactura.

Determinar el costo de manufactura implica considerar la mano de obra, la complejidad de las piezas y el uso de herramientas empleadas para la construcción del prototipo. Otro factor importante en el costo es el tipo de maquinaria que se utiliza, esta puede ser manual o computarizada, el uso de estas se verá reflejado en el tiempo de fabricación, por esta razón se fijó un valor alto y bajo al costo de cada actividad. Para la construcción de la máquina sembradora se realizaron operaciones como torneado, fresado y prensado. En la tabla 42 se estimó el costo de estas tareas.

Tabla 42
Costos de manufactura

<i>Subsistema</i>	<i>Operación</i>	<i>Alto</i> <i>(\$ c/u)</i>	<i>Bajo</i> <i>(\$ c/u)</i>
<i>Subsistema de punzonado</i>	Torneado	50	45
	Fresado	170	165
	Soldaduras	30	20
	Corte y perforación de piezas	50	40
<i>Subsistema de sembrado</i>	Torneado	65	50
	Fresado	190	175
	Soldaduras	25	20
	Corte y perforación de piezas	40	30
	Prensado	30	29
<i>Subsistema de sujeción y regulación de altura</i>	Torneado	10	8
	Fresado	10	7
	Soldaduras	45	35
	Corte y perforación de piezas	15	12
<i>Subsistema de dosificación de semillas</i>	Torneado	10	8
	Fresado	5	3
	Corte y perforación de piezas	25	22
<i>Subsistema de liberación de semillas</i>	Torneado	5	4
	Fresado	15	12
	Corte y perforación de piezas	20	15
<i>Subsistema de transporte</i>	Torneado	10	9
	Fresado	10	7
	Soldaduras	100	98
	Corte y perforación de piezas	50	43
	TOTAL	980	857

7.1.3 Análisis de costos de materiales

De igual manera se estableció un valor bajo y alto al costo de los materiales, esto dependerá de factores como la calidad del material y la selección del proveedor. Otro factor importante es la disponibilidad en el mercado, por ejemplo, los actuadores eléctricos que se requerían para la máquina fueron importados y esto representa un costo adicional al componente. En la tabla 43 se indica el listado de los materiales y su precio.

Tabla 43
Costo de materiales

<i>Subsistema</i>	<i>Componente</i>	<i>Cant.</i>	<i>Alto (\$ c/u)</i>	<i>Bajo (\$ c/u)</i>	<i>Total Alto (\$)</i>	<i>Total Bajo (\$)</i>
<i>Subsistema de transporte</i>	Riel guía	2	8	6	16	12
	Rodillos	2	20	18	40	36
	Banda	1	150	140	150	140
	Platina tensora	2	4	3,5	8	7
	Estructura de soporte	1	60	50	60	50
	Chumaceras	4	7	6,5	28	26
	Acople de mandíbula	1	40	38	40	38
	Motor DC	1	200	190	200	190
	Platina fija	2	4	3,5	8	7
	Niveladores	4	3	2,9	12	11,6
	Pernos y tuercas	24	0,5	0,4	12	9,6
<i>Subsistema de sujeción y regulación de altura</i>	Estructura de soporte	2	10	9	20	18
	Gato hidráulico	2	25	20	50	40
	Rodamientos lineales	4	5	4,2	20	16,8
	Pernos y tuercas	8	0,5	0,4	4	3,2
<i>Subsistema de punzonado</i>	Chumaceras	2	7	6,5	14	13
	Punzones	340	0,8	0,75	272	255
	Cilindro	1	60	55	60	55
	Acople de mandíbula	1	40	38	40	38
	Eje	1	12	10	12	10
	Platinas	2	8	7,5	16	15
	Motor DC	1	200	190	200	190
	Soporte estructural	1	20	18	20	18
	Soporte para sensores	1	10	8	10	8
	Pernos y tuercas	12	0,5	0,4	6	4,8
<i>Subsistema de siembra</i>	Chumaceras	1	7	6,5	7	6,5
	Rodamiento	1	5	4	5	4
	Acople de mandíbula	1	40	38	40	38
	Eje	1	14	12	14	12
	Motor DC	1	200	190	200	190
	Cilindro perforado	1	150	135	150	135
	Soporte estructural	1	20	18	20	18
	Soporte para sensores	1	10	8	10	8
	Pernos y tuercas	10	0,5	0,4	5	4
<i>Subsistema dosificador de semilla</i>	Bandeja contenedora	1	15	14	15	14
	Soporte estructural	1	5	4	5	4
	Pernos y tuercas	7	0,5	0,4	3,5	2,8
<i>Subsistema liberador de semilla</i>	Espátula	1	10	8	10	8
	Soporte de espátula	1	5	4	5	4
	Pernos y tuercas	5	0,5	0,4	2,5	2
<i>Subsistema de control</i>	Controlador	1	60	52	60	52
	Drives motores DC	3	36	34	108	102
	Cables x metro	5	1	0,9	5	4,5
<i>Subsistema neumático</i>	Manguera flexible x m	5	2	1,8	10	9
	Unidad de mantenimiento RF	1	80	79	80	79

	Generador de vacío	1	110	97	110	97
	Válvula reguladora de caudal	1	13	11,5	13	11,5
	Válvula de paso	2	12	11	24	22
	Racores rápidos	6	3	2,8	18	16,8
	Uniones tipo T	2	3	2,5	6	5
	Flauta	1	12	10	12	10
Sistema electrónico e Instrumentación	Sensor óptico	4	15	13	60	52
	Manómetro de presión	1	12	10	12	10
	Módulo de relés	1	20	16	20	16
	Cables x metro	15	1	0,9	15	13,5
	Gabinete industrial	1	50	46	50	46
	Fuente (12V - 5 A)	1	20	17	20	17
	Fuente (24V - 10A)	1	70	65	70	65
	TOTAL		1897,8	1739,6	2503	2290,6

Luego de haber establecido los costos de diseño, de manufactura y de materiales, se puede determinar el costo total de la máquina sembradora, los datos considerandos para definir el costo fueron los valores altos propuestos anteriormente en las tablas 41, 42, 43. Ver la tabla 44.

Tabla 44

Costo total de desarrollo

<i>Costo de Diseño</i>	<i>Costo de Materiales</i>	<i>Costo de Fabricación</i>
USD 4.000	USD 2.503	USD 980
<i>Costo Total</i>		
USD 7.483		

7.2 Análisis de costos de operación

Para determinar el costo de operación hay que tomar en cuenta la mano de obra requerida, el costo de mantenimiento y los insumos necesarios para el óptimo funcionamiento de la máquina. Por motivos de cálculo se estable un solo operador y un tiempo de trabajo de 40 horas semanales. El funcionamiento de la máquina tiene un consumo de aire de 150 l/min, esto representa un costo energético y dependerá de las características del compresor que se utilice para alimentar el sistema neumático, en este caso el cálculo está considerado un compresor de 1Hp. Ver la tabla 45.

Tabla 45
Costo de operación mensual

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Cantidad Máximo</i>	<i>Valor Unitario</i>	<i>Valor total/h</i>	<i>Valor total/mes</i>
<i>Energía eléctrica</i>	kW/h	3,8	\$ 0,09	\$ 0,34	54,72
<i>Operario</i>	h	1	\$ 2,41	\$ 2,41	386
<i>Lubricación</i>	L/h	0,006	\$ 20	\$ 0,12	19,2
<i>TOTAL</i>				2,87	459,92

7.3 Análisis de costo-beneficio y recuperación de la inversión

Uno de los propósitos de la máquina es incrementar el número de bandejas sembradas por hora en comparación al proceso manual, esto implica la reducción del tiempo de manufactura logrando un aumento en la producción y reduciendo el costo de esta. La empresa Agro Vital proporciono al equipo de diseño datos de costos y tiempos de producción manual. En la siguiente tabla se puede ver la comparación de los costos del proceso manual vs el uso del prototipo desarrollado.

Tabla 46
Comparación de costos de procesamiento

<i>Comparación de Costos</i>			
		<i>Producción actual</i>	<i>Producción esperada</i>
<i>Descripción</i>		<i>Sembrado manual de bandejas</i>	<i>Sembrado automático de bandejas</i>
<i>Cantidad de bandejas sembradas promedio día</i>		1.400	1.400
<i>Cantidad de bandejas sembradas promedio mensual</i>		28.000	28.000
<i>Costo de materia prima</i>	<i>Diario</i>	\$ 2.365	\$ 2.365
	<i>Mensual</i>	\$ 47.000	\$ 47.000
<i>Costo por mano de obra</i>	<i>Diario</i>	\$ 190	\$ 19
	<i>Total mensual</i>	\$ 3860	\$ 386
<i>Costo máquina</i>	<i>Funcionamiento</i>	\$ 0	\$ 459,92
<i>Costo de producción mensual</i>		\$ 53.415	\$ 47.845

Basados en los datos propuestos anteriormente (ver tabla 46) se analizó que al utilizar la máquina sembradora existe un ahorro de USD 0,20 por cada bandeja sembrada en comparación

con el método manual. Si mantenemos la producción de Agro Vital de 28.000 bandejas, el ahorro mensual es de USD 5.570, esto implica que la máquina estará trabajando a un 39% de su capacidad.

Si se considera que la máquina va a ocuparse al 80% de la capacidad de producción (57.600 bandejas mensuales) y con la ayuda de dos operadores, el ahorro mensual será de USD 10.664 ver tabla 47.

Tabla 47

Ahorro generado basado en una producción de 28.000 bandejas mensuales

<i>Producción mensual posible de bandejas</i>	<i>Producción mensual estimada de bandejas</i>	<i>Ahorro por bandeja</i>	<i>Ahorro mensual total</i>
57.600	28.000	\$ 0.20	\$ 5.570

Con el resultado de los datos de la tabla anterior se puede determinar el tiempo de recuperación de la inversión inicial. Ver tabla 48.

Tabla 48

Tiempo de recuperación de la inversión

<i>Inversión</i>	<i>Ahorro mensual</i>	<i>Ahorro Anual</i>	<i>Tiempo de recuperación de inversión (meses)</i>
\$ 7.483	\$ 5.570	\$ 66.840	2

El tiempo de recuperación de la inversión está basado en el ahorro generado mensualmente por la máquina, asumiendo que todo el valor ahorrado se destine a la recuperación de la inversión, esta se cumplirá dentro de dos meses. El tiempo estimado de recuperación del capital inicial está basado en el volumen de producción de Agro Vital, la cual maneja volúmenes pequeños de producción. Si la empresa aumentaría el nivel de producción, la máquina trabajará a mayor capacidad y el tiempo de recuperación será mucho menor.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones.

- Se diseño e implemento una máquina sembradora semiautomática para semillas de brócoli que minimizo la intervención humana en tareas repetitivas que puedan afectar la integridad física del trabajador, como son los procesos de punzonado y sembrado, la automatización del proceso permitió mejorar las condiciones de trabajo y optimizar los tiempos de producción.
- Luego de investigar y analizar detalladamente cada método existente para sembrar semillas se determinó que el método a utilizar dependerá del volumen de producción, es posible hacer una comparación entre el método de placa y cilindro ya que estos son empleados en volúmenes de producción altos, en el método de placa una parte del proceso se detiene para poder sembrar, a diferencia del método de cilindro donde el proceso es continuo, por esta razón el método más eficiente en términos de volumen de producción es el de cilindro.
- Se diseño una máquina sembradora que trabaja de manera modular, donde los cilindros de punzonado y sembrado funcionan como accesorios intercambiables, de esta forma el sistema nos permitirá sembrar bandejas de diferentes dimensiones sin que se altere el funcionamiento general de la máquina.
- Se desarrollo un sistema capaz de sembrar semillas de brócoli con exactitud, donde las semillas son depositadas en las celdas con una eficiencia del 96,74%, los factores que incidieron en la eficiencia de sembrado son la velocidad de siembra y la presión de vacío.
- La máquina es capaz de producir 450 bandejas por hora, este nivel de producción dependerá del tiempo que el operador tarde en posicionar la bandeja sobre la banda transportadora.

- Con la implementación de la máquina de sembrado se logró reducir el tiempo de sembrado de 3 minutos a 8 segundos, de manera que el proceso automático siembra 22 veces más rápido que el proceso manual.

8.2. Recomendaciones

- Incorporar un sistema de dosificación de bandejas, para llegar a tener el máximo rendimiento de la máquina.
- Realizar un mantenimiento preventivo semanalmente para evitar posibles fallas en los mecanismos del sistema, el mantenimiento constará de una limpieza general y lubricación de los componentes móviles.
- El lugar de trabajo de la máquina en lo posible debe ser una superficie plana, ya que el operador tiene que desplazarse a lo largo de la máquina para sacar las bandejas ya sembradas.
- Realizar un control de velocidad en los actuadores, para poder graduar la velocidad de sembrado acorde al volumen de producción.
- El operador debe llevar puesto protección auditiva, ya que la salida de aire del generador de vacío a pesar de estar silenciada genera un ambiente laboral ruidoso y a futuro podría ser perjudicial para la salud del operador.
- Producto de la implementación de la máquina el volumen de producción aumenta, los operadores anteriormente destinados a las tareas de sembrado y punzonado pueden ser relocalizados en tareas como la dosificación de bandejas, colocación del sustrato y dosificación de semillas a la máquina, ya que en estas operaciones se requerirá mayor mano de obra.
- Para garantizar una correcta operación de la máquina se recomienda leer el manual de usuario antes de manipular el equipo.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, T., Bravo, E., & Armendaris, E. (2014). Soberanía alimentaria y acceso a semillas hortícolas en el Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*.
- Arnabat. (2009). *Arnabat group*. Obtenido de http://new.arnabatgroup.com/cms2/components/com_virtuemart/show_image_in_imgtag.php?filename=Sembraplant___Se_4d51289c8bc47.jpg&newxsize=164&newysize=135&fileout=
- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución del Ecuador*. Obtenido de http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf
- Blackmore. (2017). *Black more company*. Obtenido de <http://www.blackmoreco.com/products-and-services/machines-and-automation/>
- Calero, R. (1998). *Fudamentos de maquinas y mecanismos para ingenieros*. Mc Graw Hill.
- Castiñeira, H. (2018). *Educación Tecnógica*. Obtenido de http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index_archivos/Page266.htm
- Cedinox. (2014). *Cedinox*. Obtenido de <https://www.cedinox.es/es/acero-inoxidable/tipos/>
- Coella, O. (2008). *I.E.S. La aldea*. Obtenido de <http://www.ieslaaldea.com/documentos/tecnologia/tablademecanismos.pdf>
- Conic System. (2017). *Conic System*. Obtenido de <http://www.conic-system.com/wp/gallery/sembradora-decop-s/>
- Conic-System. (Noviembre de 2017). *Conic-System*. Obtenido de <http://www.conic-system.com/wp/gallery/sembradora-de-bandejas-pro-335/?lang=es>
- EMI Corporation. (2018). EMI Plasticos Internacional. <http://www.emicorp.com.mx/conveyor/ea-flat-belt.php>.
- Farmshow. (2018). *Farmshow*. Obtenido de https://www.farmshow.com/a_article.php?aid=27824
- FDA. (11 de 03 de 2016). *FDA*. Obtenido de <https://www.fda.gov/downloads/food/guidanceregulation/fsma/ucm490298.pdf>
- Festo . (s.f.). *Festo* . Obtenido de https://www.festo.com/cms/es_es/18812.htm
- Festo. (2013). *Festo- Conocimientos profesionales y soluciones para la industria alimentaria y de bebidas*. Obtenido de https://www.festo.com/rep/es_es/assets/pdf/FOOD_manual_materials_es.pdf
- Gómez, D. (2011). *Plántulas de invernadero* . Tegucigalpa, Honduras: pymerural.
- Gomez, L. (2010). *Automatización Industrial*.

Habasit. (2018). *Habasit*. Obtenido de <http://www.habasit.com/es/bandas-para-alimentacion.htm>

Habasit. (2018). *PVC Belts for Agro Applications*. Reinach, Switzerland.

Industrias JQ. (2016). *Industrias JQ*. Obtenido de <http://www.jq.com.ar/imagenes/productos/pvc/pvcprop/propiedades.htm>

INEN. (2017). *Inen Servicio ecuatoriano de normalización*. Obtenido de http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/nte_inen_en_1672-2.pdf

Inoxcenter. (2016). *Inoxcenter*. Obtenido de <http://inoxcenter.com/caracteristicas-acero-inoxidable/>

Johnnyseeds. (2018). Obtenido de Johnnyseeds: <http://www.johnnyseeds.com/tools-supplies/seeders/vacuum/precision-vacuum-seeder-7335.html>

Litec. (2012). *Litec Soluciones para la agricultura*. Obtenido de <http://www.litecperu.com/productos/bandeja-de-germinacion/>

Majumdar, S. (1997). *Sistemas neumáticos*. McGraw Hill.

Mastermac. (2016). Obtenido de <http://mastermac2000.com.au/product/standards-based-cylinders/>

Merriam-Webster. (2017). *Merriam-Webster*. Obtenido de <https://www.merriam-webster.com/dictionary/automation>

Miranda, J. C. (2003). *Mecanismos*.

Miravete, A. (2002). *Los transportadores en la ingeniería industrial*. REVERTE, S. A.

Mosa-green. (2015). *Mosa green Machine OrtofloroVivaismo*. Obtenido de <http://www.mosagreen.it/es/prodotti/190/Productos/Sembradoras/L%C3%ADnea-de-Rodillo--1200#prettyPhoto>

Mosquera, E. (2015). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/260663332/7-Actuadores-pdf>

Nieto, E. C. (2006). *Scielo*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092006000300014

Nitta Corporation. (2018). *Nitta Corporation*. Obtenido de <https://www.nittacorporation.com/es/productos/materiales-para-bandas-transportadoras.html>

Norton, R. L. (2009). *Diseño de maquinaria*. México, d.f.: mcgraw-hill.

Pablos, e. D. (2016). *Industria 4.0. Cyc prisma*, 10-16.

Parker Hannifin Corporation. (2003). *Tecnología Neumática Industrial*. Jacareí, SP - Brasil.

- Plastro. (2017). *Plastro*. Obtenido de <http://www.plastroec.com/categories/detalle/21>
- Printerest. (2017). *Printerest*. Obtenido de <https://www.pinterest.co.uk/pin/494199759086650682/>
- Pro-ecuador. (2017). Análisis sectorial BRÓCOLI. 4.
- Profesional plastics. (2018). *Materiales plásticos aprobados por la FDA*. Obtenido de <https://www.professionalplastics.com/es/FDAApprovedPlasticMaterials.html>
- RAE, R. A. (2017). *Real Academia Española*. Obtenido de <http://dle.rae.es/srv/fetch?id=4TO3M08>
- Romera, P. (1994). En J. P. Romera, *automatización* (pág. 1). Paraninfo .
- Romero, M. (2014). *Wordpress*. Obtenido de <https://delatorresteffani.files.wordpress.com/2014/04/principio-de-bernoulli-1.pdf>
- Ruedas, C. (2008). *Automatización industrial*. Obtenido de http://fgsalazar.net/landivar/ing-primero/boletin10/url_10_mec01.pdf
- Sanchez, V. (2010). Diagnóstico del nivel de automatización en las pequeñas y medianas industrias de la ciudad de Cuenca . *Ingenius*, 48.
- Schmalz. (2015). *Schmalz*. Obtenido de <https://www.schmalz.com/es/saber-de-vacio/el-sistema-de-vacio-y-sus-componentes/generadores-de-vacio/eyectores-de-vacio/>
- Senplades, s. N. (2013). *Plan nacional del buen vivir* . Obtenido de <http://www.buenvivir.gob.ec/40#tabs2>
- Serrano, A. (2009). *Neumática Práctica* . Paraninfo.
- Shigley, J. E. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. McGraw Hill.
- Ulrich, K. T. (2013). *Diseño y desarrollo de productos* . México, D.F.: Mc Graw Hill.
- UPV, U. P. (1999). *Instituto de biomecánica de valencia* . Obtenido de <http://ergodep.ibv.org/documentos-de-formacion/2-riesgos-y-recomendaciones-generales/508-tareas-repetitivas.html>
- Urbinati. (2014). *Urbinati tecnologia delle piate* . Obtenido de <http://it.urbinati.com/prodotto/seminatrice-sf/>
- Vildósola, E. (2013). *AIE Asociación de la industria eléctrica electrónica de Chile*. Obtenido de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>
- Visser. (2015). *Visser*. Obtenido de <https://www.visser.eu/seeding-machines/auto-seeder-roulette-ssl/>

ANEXOS