

Diseño y construcción de una máquina sembradora automática de semillas en bandejas con control de proceso para la empresa Hortifresh

Barrionuevo O. Freddy G.¹, Arteaga L. Oscar B.¹, Rivas L. David R.²

¹ Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, ² Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.
Extensión Latacunga, Márquez de Maenza s/n Latacunga, Ecuador.

{fgbarrionuevo1, obarteaga, drrivas}@espe.edu.ec

Resumen– Hortifresh es una empresa dedicada al cultivo y producción de hortalizas, ubicándose en un sector estratégico de la matriz productiva nacional; por consiguiente requiere de avances tecnológicos que le permitan generar una producción competitiva y eficiente, así como también procesos con un alto grado de bienestar físico y mental de los trabajadores.

Con este objetivo se desarrolla el proyecto de una máquina sembradora automática de semillas en bandejas con control de proceso, la cual permite automatizar las actividades de punzonado del sustrato y colocación de semillas en almácigos, en un único proceso.

Priorizando el diseño compacto y versátil del mecanismo en sinergia con la implementación de controladores y software libre, que permitan al sistema flexibilidad para ser usado en diversas piloneras y diferentes tipos de semillas.

Palabras Clave– Empresa Hortifresh, Siembra automatizada, Agroindustria ecuatoriana, Semillas.

I. INTRODUCCIÓN

Una producción de alimentos que garantice la soberanía alimentaria en los volúmenes y niveles de calidad que requiere el país, ha sido desde siempre una meta de los gobiernos locales, haciendo de la zona agrícola un sector estratégico para el desarrollo sostenible de toda nación [1]. Pero esta necesidad se contrapone con el escaso desarrollo de tecnologías locales enfocadas a la automatización de procesos agrícolas, específicamente en las áreas de germinación y propagación de plántulas que son el primer escalón del proceso de siembra y cultivo de hortalizas, legumbres y flores.

Siguiendo esta línea de investigación se encontró que el problema para los bajos índices de producción de los cultivos se originaba por la falta de plántulas en las cantidades y calidad que se requiere al momento de su trasplante en el terreno. Esto ocurre principalmente a que el área de germinación en las piloneras que abastecen de plántulas para los

agricultores, muestran una aglomeración de pedidos que muchas veces rebasan las capacidades de la empresa; por otra parte las pequeñas y medianas plantaciones que se dedican al cultivo con áreas de propagación propias lo realizan mediante sembrado manual en bandejas, lo cual reduce los niveles de productividad y eficiencia del cultivo, además de elevar los gastos de producción y tiempos de espera entre siembras; sumado a la falta de recursos para invertir en maquinaria extranjera costosa que permita tecnificar el proceso, ha sido un limitante para el progreso de las Pymes de la región andina que se dedican a esta actividad.

Se propone es diseñar y construir un módulo de siembra automatizado para el cultivo de semillas en bandejas, el cual será compacto y escalable según el tipo de siembra que requiera el agricultor o la plantación. Con esto se busca elevar considerablemente el volumen de producción de plántulas en almácigos, generando más siembra por hectárea en el mismo periodo de tiempo, además el usuario podrá tener informes estadísticos de los niveles de producción dentro del área de propagación y germinación de la empresa.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En el desarrollo del proyecto se consideran de forma sucesiva los siguientes métodos: estudio del proceso de siembra en bandejas, parámetros de desarrollo del proyecto, diseño y modelamiento mecánico del sistema, diseño neumático, diseño eléctrico y electrónico, diseño del sistema de control.

A. Estudio del proceso de siembra en bandejas.

Este proceso puede realizarse manualmente o de forma mecanizada dependiendo del nivel de desarrollo y tecnología disponible en la plantación, pero independientemente del modo de cultivo

empleado, la siembra de semillas en bandejas de germinación cumple con 6 etapas consecutivas para su correcta realización. En la Figura 1 se detallan mediante un diagrama estos pasos secuenciales, que son: cargado de sustrato (paso 1), rasado (paso 2), punzonado (paso 3), siembra propiamente dicha (paso 4), recubrimiento con sustrato (paso 5) y riego (paso 6).

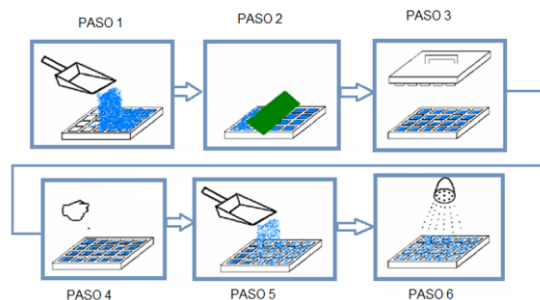


Fig. 1. Proceso de siembra en bandejas de germinación.

El proceso de siembra en bandejas se puede realizar de tres maneras: manual, mecanizada y automatizada.

1. Siembra manual.

La siembra manual se caracteriza por la utilización durante todas las operaciones del proceso, como medios de trabajo, exclusivamente, las manos o algunas herramientas simples de accionamiento manual [2].



Fig. 2. Proceso de siembra manual en bandejas de germinación.

Al sembrar cada bandeja cavidad por cavidad (Fig. 2) además de consumir demasiado tiempo y requerir personal con bastante práctica, genera una gran pérdida de semilla debido a la imprecisión de la mano, al ser una labor repetitiva y de precisión provoca que se depositen cantidades no controladas de semillas. Estos factores sumados a periodos de rotación muy cortos en la producción de plántulas de especies agrícolas aumentan los costos ya que la semilla utilizada es certificada y su precio es elevado.

2. Siembra mecanizada.

Los sistemas de producción de plántulas en los que todas las operaciones se realizan utilizando medios

mecanizados, es decir, máquinas, equipos y dispositivos que en forma de módulos separados llevan a efecto las operaciones del proceso de siembra, constituyen los sistemas de producción mecanizados [3].

La siembra mecanizada puede ser realizada por diversos mecanismos que son capaces de depositar solo una semilla por cavidad y además de eso las máquinas pueden ser integradas secuencialmente para realizar el llenado de las bandejas con sustrato, la siembra, el tapado, y el primer riego en una forma continua. Pero estas actividades requieren ineludiblemente de la participación del hombre, como un operador de la maquinaria, encargado de que cada módulo trabaje bajo los parámetros establecidos y en los tiempos requeridos, o de lo contrario toda la línea de producción se verá afectada. Esto reduce la cantidad de mano de obra necesaria para el proceso de siembra, asimismo se tienen grandes rendimientos y hace más económico el proceso. Una desventaja muy determinante es el alto costo de adquisición de la maquinaria.

3. Siembra automatizada.

Aquellos sistemas de producción en los que la intervención del hombre se limita a tareas de supervisión y control del trabajo realizado, así como el suministro de los insumos: sustrato, bandejas, semillas y agua, para obtener bandejas sembradas, regadas y listas para ingresar a una cámara de germinación, han alcanzado el nivel de automatización en sus medios de trabajo [3].

B. Parámetros de desarrollo del proyecto.

En base a la síntesis de la información recopilada en campo sobre la problemática en el proceso de siembra manual de semillas en bandejas, se plantean los parámetros que debe cumplir la máquina para optimizar el área de pilonado de la empresa Hortifresh.

El área de mayor interés en automatizarse es la de punzonado y colocación de semillas en las bandejas de germinación, esta actividad requiere para su ejecución de labores repetitivas y de precisión que garanticen un proceso eficiente y productivo, lo cual el personal disponible no alcanza a cumplir este objetivo. Requiriéndose de una máquina que realice estas actividades (punzonado y colocación de semillas) de manera autónoma y controlada, limitándose la presencia del ser humano a funciones de supervisión.

El módulo de punzonado y colocación de semillas en bandejas debe cumplir con requisitos funcionales y de diseño como se detallan a continuación:

1. Requisitos funcionales.

Las funciones que se enlistan a continuación indican el trabajo que debe realizar la máquina:

- a) Transmitir movimiento lineal que permita mover la bandeja precargada de sustrato desde el punto admisión hasta la sección de siembra.
- b) Posicionar y alinear el mecanismo de transporte de bandejas con el sistema de colocación de semillas.
- c) Transmitir potencia al mecanismo de siembra para realizar los procesos de punzonado del sustrato y colocación de semillas al interior de cada una de las cavidades.
- d) Controlar el flujo de aire para la captación de las semillas (mediante succión), que se encuentran almacenadas en el reservorio.
- e) Desplazar la bandeja al punto de salida para su retirada de la máquina, una vez finalizado el proceso de siembra.
- f) Contabilizar y visualizar el número de bandejas que siembra durante cada operación y por jornada de trabajo.

2. Requisitos de diseño.

- a) Accionamiento de la máquina: Eléctrico a 110 VAC (red doméstica), los actuadores eléctricos como motores o sensores pueden trabajar con voltajes de continua.
- b) Tamaño estimado de la máquina: El diseño debe ser compacto para asegurar su ubicación y traslado dentro de las instalaciones de la empresa. Largo: 1500 mm, ancho: 400 mm y altura: 380 mm.
- c) Tamaño de bandejas: La siembra se realizara en bandejas de germinación comerciales usadas en la empresa Hortifresh. Con las siguientes dimensiones: 550 mm de largo, 281 mm de ancho y 45 mm de altura.
- d) Tipos de semillas: Se trabajara con semillas de diámetro superior a 2 mm y forma esférica o similar.
- e) Estructura mecánica: Estructura de materiales resistentes y livianos, que ayude a mantener un bajo consumo de energía al movilizar los mecanismos de transmisión de potencia, además de la estabilidad del sistema pese a vibraciones. También debe garantizar un grado de protección anticorrosivo.
- f) Sistema neumático: Sistema de succión mediante un generador de vacío, alimentación DC y de baja potencia. Control de caudal mediante válvula

solenoides. Regulador de presión para reducirla al nivel requerido por la máquina.

- g) Tipo de Software: El software para el control de los actuadores, sensores, botones, y demás elementos del proceso de siembra en bandejas será de plataforma libre. Puede ser programado y editado sin necesidad de licencias.
- h) Mandos de control: Paro de emergencia, pulsador de inicio, pulsador de enceramiento, luces indicadoras de estado, interruptor de encendido/apagado.
- i) Características especiales: Pantalla para visualización de instrucciones del proceso de siembra.

C. Diseño y modelamiento mecánico del sistema.

El diseño mecánico destaca por su versatilidad, flexibilidad y construcción en serie mediante CNC, acoplamiento robusto y reducidas dimensiones que permiten al módulo de siembra ser transportado con facilidad. Se prioriza el uso de materiales como acero estructural y aluminio que por sus propiedades como rigidez, maquinabilidad y resistencia.

1. Propiedades de los Materiales.

- a) *Acero ASTM A-36*. Es un tipo de Acero bajo en carbono y que usualmente forman parte de soportes y cubiertas debido a sus propiedades físicas, siendo un material comercialmente disponible. Se puede encontrar este tipo de acero en perfiles, ángulos, láminas entre otros a bajo costo [4].
- b) *Acero AISI 1018*. Es un acero de bajo - medio carbono tiene buena soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbono. Se presenta en condición de calibrado (acabado en frío). Debido a su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para componentes de maquinaria [4].
- c) *Aluminio 6061-T4*. Es una aleación de aluminio endurecido que contiene como principales elementos aluminio, magnesio y silicio. Tiene buenas propiedades mecánicas y para su uso en soldaduras. Es una de las aleaciones de aluminio más comunes para uso general. Es fácil de maquinar y resistente a la corrosión [5].

2. Diseño del mecanismo de siembra.

Sección fundamental de la máquina sembradora su diseño consiste en un kit de siembra (boquillas de dosificación y barra de punzonado) que se acoplan mediante un conjunto de eslabones (mecanismo de 4

barras) accionado por un actuador eléctrico (motor PaP). Se compone de las siguientes partes o piezas:

a) *Tubo y boquillas de dosificación*: Su función es contener el aire que circula a menor presión que la atmosférica, desde el generador de vacío hacia las boquillas de succión que recogen y trasladan las semillas. Está fabricado en aluminio 6061-T4 por ser una material de baja densidad pero resistente. En la Fig. 3 se observa el modelado de la pieza.

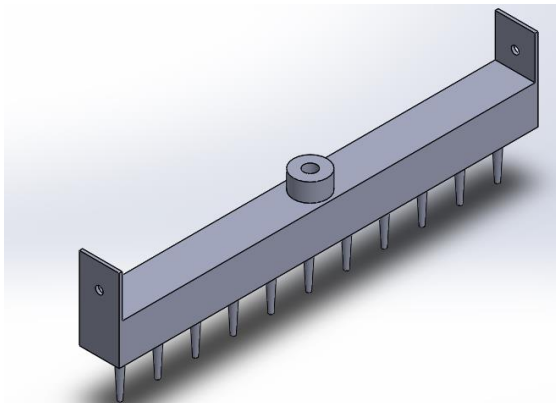


Fig. 3. Tubo y boquillas de dosificación.

b) *Barra de punzonado*: Su diseño en forma de prisma rectangular permite una mejor distribución de las puntas cilíndricas que realizan el aplanado del sustrato (15 mm). En la Fig. 4 se observa el modelado de la pieza, está fabricado en aluminio 6061-T4 para que el conjunto mantenga baja inercia al ser accionado.

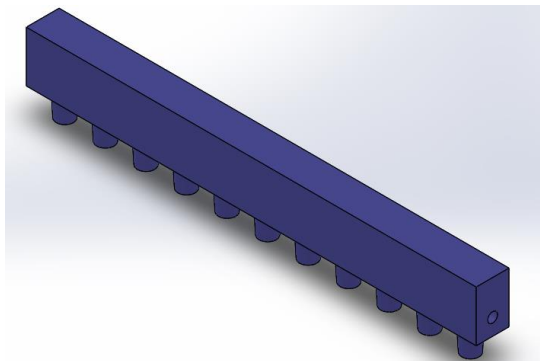


Fig. 4. Barra de punzonado.

c) *Eslabón de entrada (L)*: Su diseño se basa en un eje rígido sobre el cual se colocan los eslabones de entrada que en conjunto con el eje alcanzan una longitud de 140 mm como se aprecia en la Fig. 5; los extremos del eje van montados sobre bocines de bronce que se encuentra insertados en los pilares o eslabones fijos. La función del eje es transmitir la potencia desde el actuador eléctrico hacia los siguientes eslabones. Está construido en acero AISI 1018 debido a que soporta momentos de flexión y torsión combinados.

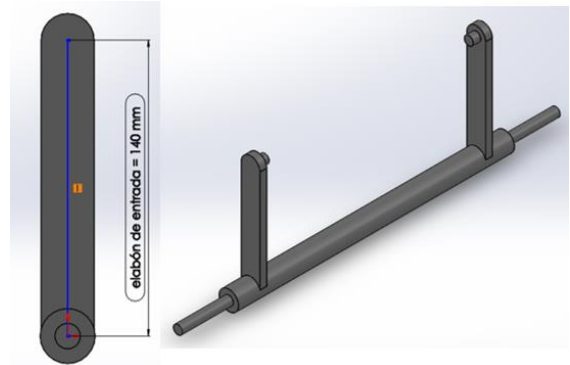


Fig. 5. Eslabón de entrada.

d) *Eslabón seguidor (p)*: El eslabón seguidor cumple dos funciones, ayuda a soportar la carga ejercida por el conjunto de siembra y también direccionar su movimiento para que el conjunto realice desplazamientos continuos y estables durante el proceso de siembra, esto se consigue sincronizando las velocidades de rotación de los eslabones de entrada y seguidor. En la Fig. 6 se observa el modelado de la pieza, está fabricado en aluminio 6061-T4, la distancia entre centros de acople es de 140 mm.

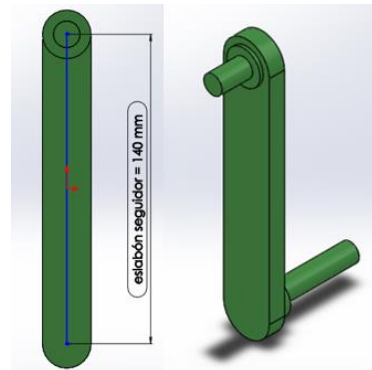


Fig. 6. Eslabón seguidor.

e) *Eslabón acoplador (q)*: Este eslabón permite la conexión del conjunto de siembra, con los eslabones adyacentes, así también garantiza que las boquillas de dosificación y la barra de punzonado se posicionen paralelas a la bandeja de germinación al momento de la siembra.

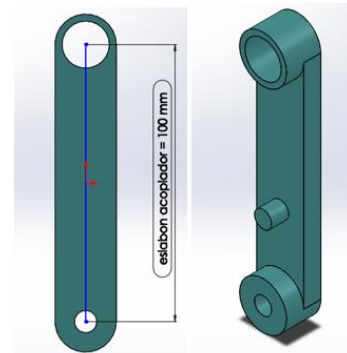


Fig. 7. Eslabón acoplador.

En la Fig. 7 se observa el modelado de la pieza, está fabricado en aluminio 6061-T4, la distancia entre centros de acople es de 100 mm.

f) *Eslabón fijo (s)*: Su diseño en forma de pilar rectangular le otorga mayor robustez, con una base plana que le permite ser empotrado mediante pernos allen a la mesa de soporte de la máquina y así garantizar la estabilidad de los eslabones adyacentes que conforman el mecanismo de siembra. La longitud efectiva del eslabón fijo (s) es de 107 mm, está fabricado en acero AISI 1018 por ser un elemento que soporta la carga total del mecanismo.

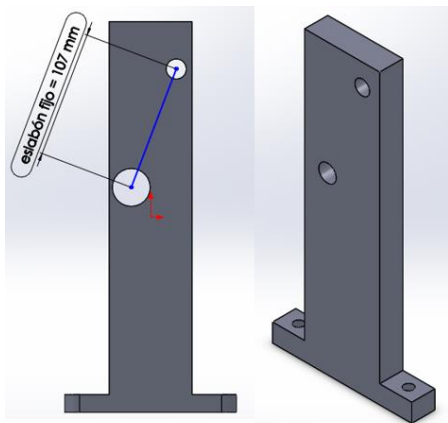


Fig. 7. Eslabón fijo.

Con los componentes anteriormente diseñados se procede al ensamblaje del mecanismo de siembra como se ve en la Fig. 8, adicionalmente se colocan cojinetes de deslizamiento fabricados en bronce en cada punto de articulación del mecanismo y un eje de contrapeso para equilibrar las cargas en el eslabón de entrada. El giro desde la posición de captación de semillas hasta la bandeja es de 170° .

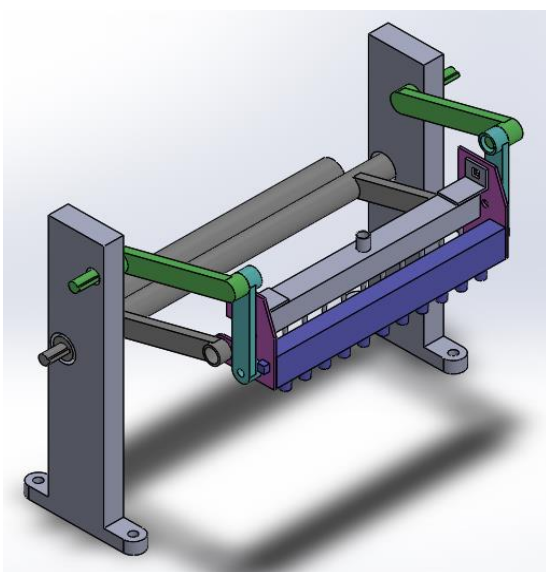


Fig. 8. Ensamble final del mecanismo de siembra.

Para sincronizar el sistema se utiliza un acoplamiento de 4 barras (eslabones s, L, p, q) que cumplen con el principio de Grashof, el cual postula lo siguiente: para un eslabonamiento plano de cuatro barras, la suma de las longitudes más corta (s) y más larga (L) de los eslabones no puede ser mayor que la suma de las longitudes de los dos eslabones restantes (p, q) si se desea que exista una rotación relativa continua entre dos elementos [6].

2. Diseño del sistema de transporte.

El sistema de transporte es el encargado de movilizar las bandejas desde el punto de carga, hacia el mecanismo de siembra y luego de regreso para ser retirada la bandeja por el operador. El sistema se encuentra conformado por las siguientes partes:

a) *Estructura porta bandeja*: La bandeja ingresa horizontalmente en la estructura porta bandejas la cual se acopla sobre el carro de desplazamiento. Está fabricada en perfil de acero ASTM A36.

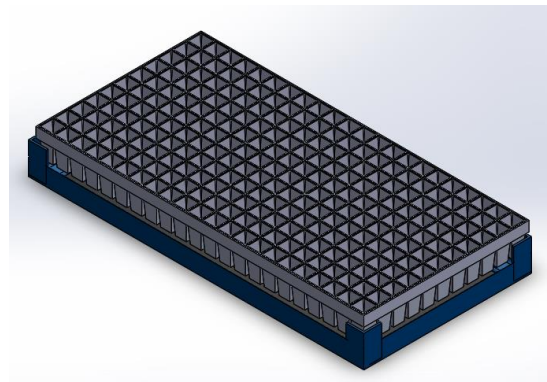


Fig. 9. Estructura porta bandeja.

b) *Carro de desplazamiento*: Es el elemento que permite la conexión entre los ejes guías y la estructura porta bandeja, así también sujeta los cuatro rodamientos lineales que permiten el recorrido de la bandeja durante el proceso de siembra. Está fabricado en platina de acero ASTM A36.

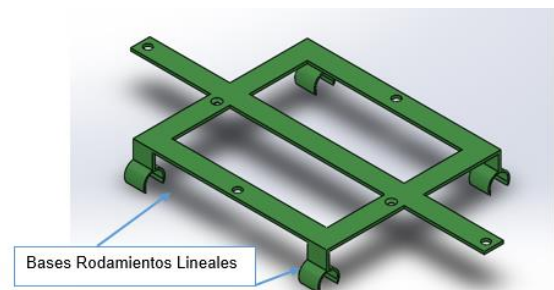


Fig. 10. Carro de desplazamiento.

c) *Ejes guías*: Los ejes guías son los soportes sobre los cuales se deslizan los rodamientos lineales que conducen al carro de desplazamiento. La longitud de construcción de los ejes es 1.050 mm. Para

garantizar su durabilidad y resistencia al desgaste se utiliza para su construcción acero AISI 316.

d) *Mecanismo piñón-cremallera*: Permite convertir el movimiento giratorio del motor (piñón) en un movimiento lineal de la cremallera y así poder movilizar la bandeja. En la Tabla I se muestran los parámetros de construcción del mecanismo piñón cremallera, el cual se fabrica en acero SAE 1045 para elevar sus prestaciones de resistencia y durabilidad.

TABLA I
Parámetros construcción piñón-cremallera

	Piñón	Cremallera
Módulo	1,5 mm	1,5 mm
Paso circular	4,71 mm	4,71 mm
Altura del diente	3,4 mm	3,4 mm
Ancho de cara	16 mm	16 mm
Ángulo de presión	20°	20°
Diámetro primitivo	33 mm	N/A
Longitud	N/A	710 mm

2. Diseño de la estructura de soporte.

Como se observa en la Fig. 11, la estructura de la máquina está formada por cuatro perfiles angulares, que dibujan un marco rectangular de soporte. En cada esquina se encuentra un recuadro interno que sirve para colocar y sostener los ejes guías, esto evita afectar la estructura externa, además que le confiere un mejor acabado estético al armazón. Por último se tiene dos soportes periféricos para colocación del motor que acciona la cremallera y otro para el gabinete eléctrico y de control. Los perfiles fabricados de acero ASTM A36 serán unidos mediante cordones de suelda, garantizando la rigidez y estabilidad estructural.

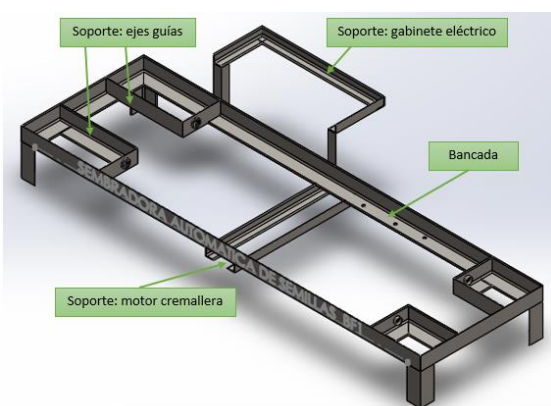


Fig. 11. Estructura de soporte.

D. Diseño Neumático.

La máquina integra un sistema neumático el cual permite recoger las semillas desde la unidad de almacenamiento y colocarlas en cada una de las cavidades del almáxico de manera simultánea en la

misma fila; para cumplir esta función usa la fuerza de succión del generador de vacío, y la canaliza a través de las boquillas de dosificación que al entrar en contacto con las semillas, las mantienen suspendidas hasta que son depositadas en la bandeja por liberación de presión.

El circuito neumático para el proceso de siembra de semillas en bandejas, está formado por los siguientes elementos:

a) *Generador de aire comprimido*: El compresor debe suministrar el aire suficiente para que la máquina opere correctamente durante el proceso de siembra de las semillas. Se selecciona un compresor con un tanque de almacenamiento de 120 litros, 3 HP de potencia nominal.

b) *Elementos de protección*: La unidad de mantenimiento está compuesta por un regulador de presión y filtro separador de aceite de 7-120 psi. Un segundo regulador de presión sin filtro de 7-120 psi, colocado a la salida de la electroválvula, permite que el rango de presión que se envía para expulsar las semillas sea muy bajo (menos de 10 psi).

c) *Elemento de control*: Se utiliza una válvula neumática 5/2, la cual dispone de cinco orificios y dos posiciones de control, en la posición 1 la línea del eyector de vacío estará abierta permitiendo la succión de la semilla desde el almacenador y en la posición 2 la línea del eyector se cierra y permite el paso del aire comprimido que expulsa la semilla desde la boquilla hacia el almáxico. La válvula se acciona por un solenoide a 24 voltios DC.

d) *Elemento de transporte*: Manguera de poliuretano de 6 mm de diámetro, Los acoples son racores rápidos también de 6 mm los cuales serán ubicados a la entrada y salida de cada dispositivo.

e) *Elemento de vacío*: El eyector seleccionado tiene un diámetro de boquilla de 2 mm y un caudal de succión de 80 L/min lo que garantiza que el vacío para la retención de las semillas está acorde a los parámetros calculados. El rango de presiones del eyector de vacío se encuentra entre los 100 KPa y 600 KPa [7].

E. Diseño Eléctrico y Electrónico.

Los elementos eléctricos/electrónicos que componen el diseño de la máquina sembradora son:

a) *Actuadores eléctricos*: Para el accionamiento de los mecanismos de siembra y transporte de bandejas se utiliza motores DC con control por pasos (PaP) Los motores PaP poseen adicionalmente cajas reductoras para elevar sus prestaciones de torque y suavizar las cargas de arranque y paro en el eje del

motor, así también poseen driver propios diseñados para asegurar un óptimo desempeño de los actuadores. En la Tabla II se detallan las características de los motores implementados de la marca Oriental Motor serie CMK [8].

TABLA II
Especificaciones técnicas Motor PaP.

Especificaciones	Motor 1: Mecanismo de Siembra	Motor 2: Transporte de Bandejas
Fabricante	Oriental Motor	Oriental Motor
Tipo de conexión	Unipolar (2 Fases)	Unipolar (2 Fases)
Par de mantenimiento	4 N-m	4 N-m
Potencia	20 W	20 W
Fuente de alimentación	24 VDC	24 VDC
Corriente por fase	2 A	2 A
Ángulo de paso básico	0,05°	0,05°
Velocidad	0 – 60 RPM	0 – 60 RPM
Caja reductora	36:1 (engranes rectos)	36:1 (engranes rectos)
Inercia de rotor	120 x10 ⁻⁷ kg.m ²	120 x10 ⁻⁷ kg.m ²
Aislamiento	Clase B	Clase B
Exactitud posición de parada	±0.05°	±0.05°
Driver	CMD2120P	CMD2120P

b) *Tarjeta de control:* La tarjeta electrónica es la encargada de gestionar los procesos de control que tengan lugar durante la siembra de semillas en bandejas, desde el control de actuadores eléctricos (motores PaP), generador de vacío, sensores de posición e indicadores de estado. Arduino ATmega, es la opción indicada para el sistema de control de procesos en la máquina sembradora, al ser una alternativa de bajo costo, plataforma libre y gratuita para su desarrollo y programación [9].

c) *Fuentes de alimentación:* La alimentación de todo el sistema eléctrico que conforma la máquina sembradora se hace mediante una red doméstica monofásica de 110 VAC. Este voltaje debe ser transformado para adaptarse a cada aplicación según los requerimientos de los equipos. En la Tabla III se detallan las fuentes de alimentación utilizadas en la implementación de la máquina sembradora, así como sus características y especificaciones técnicas. La fuente 1 corresponde a la tarjeta de control (Arduino Mega), la fuente 2 alimenta al motor del mecanismo de siembra y la fuente 3 al motor del sistema de transporte.

TABLA III
Especificaciones técnicas de las fuentes de alimentación

	Fuente 1	Fuente 2	Fuente 3
Potencia de salida	25 W	100 W	100 W
Voltaje de entrada	88 – 264 VAC	85 – 264 VAC	85 – 264 VAC
Tensión de salida	5 VDC ±10%	24 VDC ±10%	24 VDC ±10%
Corriente de salida	5 A	4,2 A	4,2 A
Montaje	Chasis	Riel din	Riel din

d) *Tablero de control:* Es un gabinete eléctrico de 40 mm x 40 mm x 20 mm en su interior se montan los equipos electrónicos que gestionan los procesos de siembra de semillas en bandejas y en su tapa externa se colocan los elementos de mando de la máquina sembradora, estos son: interruptor de encendido, botón de inicio de proceso, botón de encerramiento de ejes, botón paro de emergencia, luces piloto, y pantalla LCD para visualización de instrucciones al operador.

e) *Sensores:* Para controlar la posición de los mecanismos de siembra y transporte se utiliza sensores finales de carrera, colocados en los puntos de inicio y fin de operación, esto permite a la unidad de control determinar la ubicación y de ser necesario encerrar los ejes de los motores.

F. Diseño del Sistema de control.

Constituye la esencia intangible de la máquina, permite operar de forma coordinada los sistemas (mecanismo y equipos) que componen la sembradora, todo esto gestionado a través de la unidad de control Arduino Mega en la cual se carga una secuencia de algoritmos programados en lenguaje “C” los cuales permiten que las funciones requeridas por el usuario se llevan a cabo en el proceso de operación de la máquina.

Con el algoritmo activado en la tarjeta de control el operador debe limitarse a presionar los botones con las leyenda de: “encerramiento” e “inicio” para empezar el proceso de siembra, la secuencia de activación de los comando se muestran en la pantalla LCD. Una vez iniciado el proceso de siembra, la unidad de control activa el motor PaP que acciona el mecanismo piñón-cremallera para de esta manera colocar la bandeja en la posición de punzonado, seguidamente se envía la señal al motor PaP del mecanismo de siembra y a la electroválvula para la succión de semillas y posterior colocación dentro de los orificios de sustrato de la bandeja; este proceso se repite por 22 veces hasta completar la matriz de 242 cavidades que tiene la bandeja. Esto se resume en el flujograma de la Fig. 12.

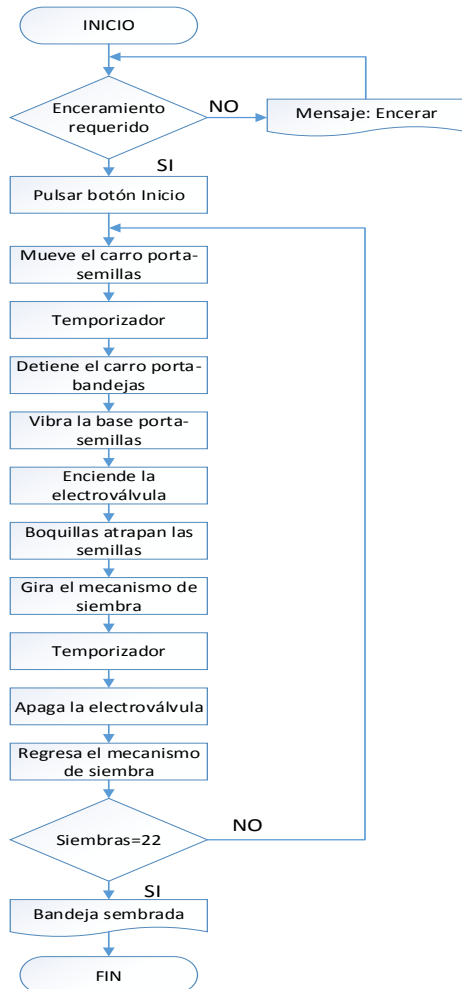


Fig. 12. Algoritmo de control de la máquina.

G. Ensamblaje y Pruebas.

1. Construcción y Montaje.

Para la construcción de las piezas mecánicas se realizaron procesos de manufactura que incluyen las siguientes operaciones tecnológicas: trazado, corte del material, doblado, esmerilado, torneado/fresado, taladrado, roscado y soldadura; las cuales se emplearon dependiendo la geometría y material de fabricación de cada elemento. Las máquinas - herramientas utilizadas en la construcción fueron principalmente: centro de mecanizado (CNC), fresadora con cabezal universal, tronzadora, amoldadora, taladro, y unidad de soldadura.

En la Fig. 13 se observa el ensamblaje del mecanismo de siembra, el cual posteriormente se montara sobre el bastidor. Seguidamente en la Fig. 14 se muestra el montaje de los equipos neumáticos, encargados de generar el vacío. Por ultimo en la Fig. 15 se observa el montaje del tablero de control, completando el ensamblaje de la máquina sembradora de semillas en bandejas.



Fig. 13. Ensamblaje del mecanismo de siembra.

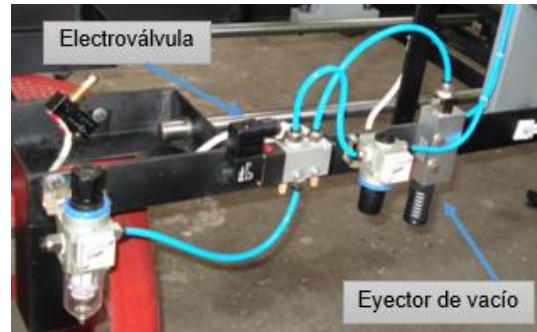


Fig. 14. Montaje sistema neumático.



Fig. 15. Montaje del gabinete de control.

2. Pruebas de sembrado.

De manera preliminar y una vez que la máquina esta ensamblada pasa a la fase de calibración y pruebas por secciones, donde se revisa el acoplamiento mecánico, funcionamiento de motores, niveles de vacío e implementación del algoritmo de control del sistema. Cumplido el chequeo operativo se realizan las pruebas de sembrado para evaluar la eficiencia de la máquina, las cuales deben cumplir los siguientes parámetros:

a) *Producción de plántulas manual vs automatizado:* Se evalúa el número de bandejas sembradas y los recursos empleados durante intervalos de tiempo, durante los cuales se compara los volúmenes de producción que se obtiene con cada método de siembra.

b) *Tiempos de producción manual vs automatizado:* Se evalúa el tiempo que requiere sembrar un lote de

bandejas usando el método manual contrastando con la utilización del módulo de siembra automatizado.

c) *Eficiencia del proceso de siembra:* En este punto se evalúa el margen de error con el cual las semillas son colocadas en cada una de las 242 cavidades que tiene la bandeja de germinación. Para este análisis se varió la presión de vacío que genera el eyector a fin de encontrar el punto con mayor rendimiento.

III. RESULTADOS

En la Fig. 16 se muestra un gráfico de columnas con los detalles comparativos entre la producción de plántulas por sembrado manual y automatizado, el resultado que se obtiene del sembrado automatizado es 25% mayor que el sembrado manual en el mismo lapso de tiempo.

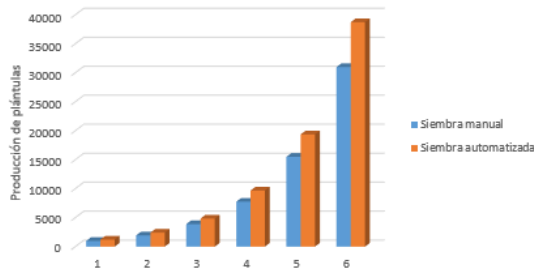


Fig. 16. Producción de plántulas siembra manual vs automatizada

En la Fig. 17 se observa un indicador gráfico con los tiempos de sembrado manual y automatizado, el resultado que se obtiene del sembrado automatizado es 25% más rápido que el sembrado manual.

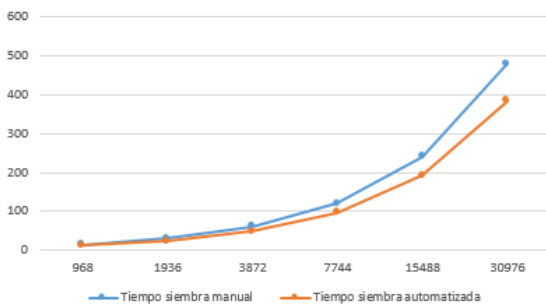


Fig. 17. Tiempo de sembrado manual vs automatizado

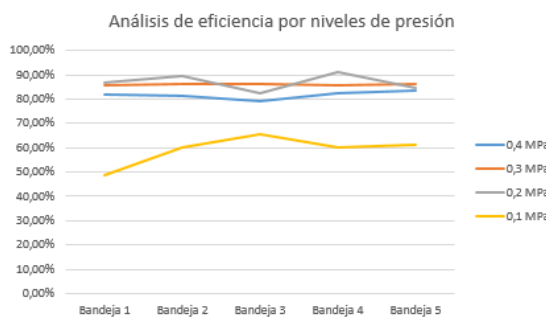


Fig. 18. Análisis de eficiencia por niveles de presión.

Para el análisis de eficiencia del proceso de siembra se analizaron 5 muestras de bandeja entre diferentes niveles de presión de vacío como se resume en la Fig. 18.

En la Fig. 19 se puede observar los porcentajes de siembra con la máquina operando a una presión de 0,3 MPa, del universo de 1.210 cavidades analizadas, 1.040 corresponden a semillas de remolacha sembradas correctamente, 47 son cavidades sin sembrar y 123 cavidades con exceso de semillas.

Resumen de pruebas de siembra a 0,3 MPa

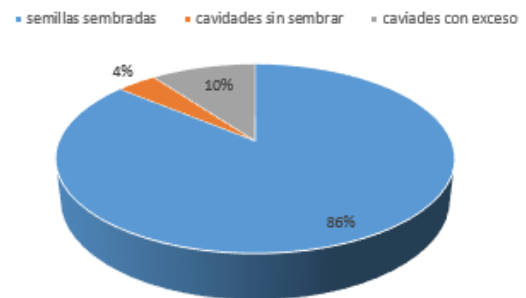


Fig. 19. Eficiencia pruebas de siembra a 0,3 MPa.

IV. CONCLUSIONES.

El diseño del mecanismo de siembra mediante un eslabonamiento de 4 barras presenta una innovación en su funcionamiento que permite realizar el punzonado del sustrato y la colocación de la semilla en una sola operación; los beneficios de este diseño se ven reflejados en la construcción de una máquina más compacta y de menor costo.

La máquina sembradora de semillas permite reducir costos de producción en un 50%, al producir 4.840 pilones por hora empleando dos operarios mientras que con un sembrado manual y 4 trabajadores la empresa produce 3.872 pilones por hora.

Con la incorporación del módulo de siembra en el área de germinación de la empresa Hortifresh se logró incrementar la producción de semilleros en un 25% esto es, 968 bandejas por hora adicionales a las que se produce en condiciones normales con un proceso de siembra manual.

La máquina sembradora automática de semillas tiene una eficiencia del 86% trabajando al nivel de 0,3 MPa.

La automatización del proceso de siembra en bandejas mejoró considerablemente las condiciones de trabajo en aspectos de ergonomía y bienestar del personal, al suprimir un conjunto de tareas repetitivas y desgastantes físicamente.

Con el diseño y construcción de este proyecto se aporta al desarrollo de la agroindustria ecuatoriana, al tecnificar procesos que forman parte de la matriz productiva. Esto permitirá que las PYMES del país que se dedican al cultivo de hortalizas, frutas y flores cuenten con una herramienta altamente efectiva en el proceso de siembra y germinación.

REFERENCIAS.

- [1] Senplades. (2009). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013: Construyendo un Estado Plurinacional e Intercultural*. Recuperado el 10 de Febrero de 2015, de Senplades: http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Plan_Nacional_para_el_Buen_Vivir.pdf
- [2] Clavijo Cornejo, E. C. (Mayo de 2002). *Diseño del dispositivo de siembra en charolas de germinación*. México, D.F., México: Instituto Politécnico Nacional.
- [3] Gaytán Ruelas, J., Serwatowski, R., & Gracia López, C. (2006). *Maquinaria para realizar la operación de siembra en charolas*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 28-33. Recuperado el 20 de Noviembre de 2014, de <http://www.redalyc.org/pdf/932/93215306.pdf>
- [4] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- [5] Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas* (Cuarta ed.). (G. Virgilio, Trad.) México, D.F.: Pearson Educación.
- [6] Campos, W. (5 de Agosto de 2010). *Tema II: Mecanismos de eslabones articulados*. Recuperado el 29 de Enero de 2015, de Fundamentos De Maquinas (WMN): <http://fundamentosdemaquinaswmn.blogspot.com/2010/08/normal-0-21-false-false-false-es-x-none.html>
- [7] J Schmalz. (2014). *Generadores de vacío*. Recuperado el 18 de Diciembre de 2014, de Schmalz: <http://es.schmalz.com>
- [8] Orientalmotor. (2015). *CMK Series Stepper Motors*. Recuperado el 2 de Marzo de 2015, de Oriental motor: <http://catalog.orientalmotor.com/plp/itemdetail.aspx?cid=1002&categoryname=stepping-motor-driver-packages-0-9-1-8&productname=microstep-cmk-series-2-phase-microstepping-motors&itemname=cmk264par26s36&plpver=11&origin=keyword&by=prod&filter=0&isUOM=1>
- [9] Arduino. (2014). *Arduino Mega 2560*. Recuperado el 10 de Enero de 2015, de Arduino cc: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>



Freddy Barrionuevo. Nació el 7 de Mayo de 1989, en Ambato provincia de Tungurahua, Ecuador. Es graduado de Ingeniero en Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en el año 2015. Áreas de Interés: Diseño de elementos de máquinas, Sistemas CAD/CAM/CAE, Automatización de procesos, Optimización y productividad.
email:
freddybarrionuevo@live.com