



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA
SEMBRADORA DE SEMILLAS DE TOMATE Y PIMIENTO EN BANDEJAS DE
50X28.2 cm EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS**

INFORME TÉCNICO

AUTOR:

Carlos Andrés Acosta Jaramillo

DIRECTOR:

Ing. Washington Mosquera

Ibarra – Ecuador

2014

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA SEMBRADORA DE SEMILLAS DE TOMATE Y PIMIENTO EN BANDEJAS DE 50X28.2 CM EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS

Carlos Andrés Acosta Jaramillo

RESUMEN

El presente trabajo forma parte de una investigación en la que se va a demostrar la utilidad que presenta una máquina sembradora de semillas para bandejas, a personas que se dedican al cultivo agrícola, en donde a partir de la siembra de semillas se adquieren plantas ya germinadas para solo ser trasplantadas al suelo obteniendo nuevas plantas que crezcan en lugares y condiciones adecuados. Esta máquina permitirá ahorrar trabajo, esfuerzo y dinero.

El objetivo principal de este proyecto es la siembra automática de semillas de tomate y pimiento en bandejas de 200 celdas es el problema que se ha presentado y al cual se ha dado una solución; la implementación de una máquina sembradora inicia con el diseño y dimensionamiento de los elementos mecánicos y de control, como sensores y actuadores.

Una vez realizados los cálculos se adquirieron los materiales y se construyó cada elemento mecánico necesario, luego se ensambló completamente la máquina y se implementaron los elementos de control.

Realizadas las pruebas necesarias se comprobó que la máquina coloca las semillas en las bandejas de manera automática y rápida.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las personas siembran manualmente las semillas empleando mucho tiempo, recursos económicos y humanos. Existiendo además máquinas automáticas sembradoras de alto costo no facilitando su adquisición.

En estas circunstancias se va a construir una máquina automática sembradora de semillas a un

costo moderado que permita su adquisición ayudando a los productores a obtener ventajas, que permitan el ahorro de recursos económicos y humanos, facilitando su utilización y empleo adecuado.

Esta máquina será de gran utilidad para hacer de la producción agrícola más eficiente, ahorrando dinero, tiempo y mano de obra.

II. CONTENIDO

DISEÑO DE LA MÁQUINA SEMBRADORA

DISTRIBUIDOR DE SUCCIÓN DE BOQUILLAS DE SEMBRADO

Para el diseño del succionador es necesario especificar que el material del cual se construirá será de aluminio por ser un material liviano y difícilmente corrosivo, característica muy importante debido a que la base para las boquillas de vacío estará en contacto directo con aire y presencia de partículas de agua. E distribuidor de succión es hueco al igual que una flauta, también hay huecos para las puntas de succión y en la parte posterior para el orificio de la alimentación de vacío.

Los requerimientos técnicos de la pieza se muestran en la siguiente tabla:

Característica	Detalle
Largo	280 [mm]
Ancho	20 [mm]
Alto	50 [mm]
Material	Aluminio

Tabla 1. Características del soporte de las boquillas para la succión de las semillas

Fuente: Autor

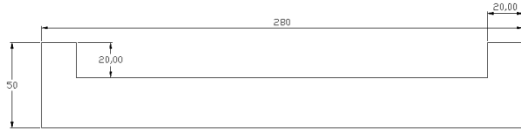


Figura 1. Vista frontal del distribuidor de succión [mm]

Fuente: Autor

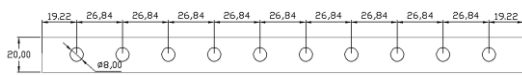


Figura 2. Vista inferior del distribuidor de succión [mm]

Fuente: Autor

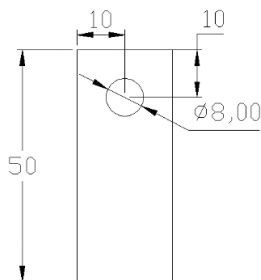


Figura 3. Lateral derecha del distribuidor de succión [mm]

Fuente: Autor

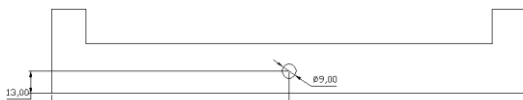


Figura 4. Vista Posterior del distribuidor de succión [mm]

Fuente: Autor

Determinadas las vistas de la pieza a construir, se calcula el volumen total de la pieza para determinar el mecanismo adecuado que permitirá el movimiento de la misma y así desempeñar la función destinada en la máquina sembradora. A continuación se calcula el volumen total de la pieza de succión de las semillas:

El volumen teórico total del distribuidor es:

$$V_{Distribuidor} = 128000 \text{ [mm}^3\text{]}$$

El distribuidor de succión de las semillas es una pieza hueca y además posee orificios en los cuales se colocan las puntas que succionan las semillas, entonces al volumen total calculado se le

resta el volumen tanto de los orificios presentes en la pieza como de la sección hueca del distribuidor.

Entonces, el volumen total del distribuidor de vacío es la diferencia del volumen total ya calculado menos los volúmenes de los orificios existentes en la pieza.

$$V_{Dist_Total} = V_{Distribuidor} - V_{orificios\ succión} - V_{orificios_eje} - V_{orificio_entrada\ de\ vacío} - V_{hueca}$$

Ecuación 1. Volumen del distribuidor de vacío real

Donde:

V_{Dist_Total} : Volumen total del distribuidor. [mm³]

$V_{Distribuidor}$: Volumen teórico total del distribuidor. [mm³]

$V_{orificios\ succión}$: Volumen de los orificios de succión. [mm³]

$V_{orificios_eje}$: Volumen de los orificios del eje. [mm³]

$V_{orificio_entrada\ de\ vacío}$: Volumen del agujero de la entrada de vacío. [mm³]

V_{hueca} : Volumen de la sección hueca. [mm³]

Entonces:

$$V_{Dist_Total} = 128000 - 2501.4931 - 2010.616 - 318.085 - 23758.29$$

$$V_{Dist_Total} = 99411.51146 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$V_{Dist_Total} = 99.41151 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

Para determinar la masa del distribuidor de succión, se multiplica el valor del volumen total de la pieza por el valor de la densidad del material del cual se va a construir dicha pieza.

A continuación se calcula la masa del distribuidor de succión o vacío:

$$m_{distribuidor} = \rho_{aluminio} \times V_{Dist_Total}$$

Ecuación 2. Masa del distribuidor

Donde:

$m_{distribuidor}$: Masa del distribuidor. [Kg]

ρ_{aluminio} : Densidad del aluminio, el valor es: 2698.4 [Kg/m³]

Entonces:

$$m_{\text{distribuidor}} = 2698.4 \times 99.41151 \times 10^{-6}$$

$$m_{\text{distribuidor}} = 0.268252 \text{ [Kg]}$$

El peso que movilizará el eje del distribuidor de vacío, será:

$$P_{\text{distribuidor}} = m_{\text{distribuidor}} \times \text{Gravedad}$$

Ecuación 3. Peso del distribuidor

Donde:

$P_{\text{distribuidor}}$: Peso del distribuidor. [N]
 Gravedad : Interacción gravitatoria, el valor es: 9.81 [m/s²]

Entonces:

$$P_{\text{distribuidor}} = 0.268252 \times 9.81$$

$$P_{\text{distribuidor}} = 2.631552 \text{ [N]}$$

BOQUILLAS DE SUCCIÓN

Las boquillas de succión (ver figura 5.) serán diseñadas de aluminio por ser un material liviano el cual también es un material que difícilmente se corroe, ya que las boquillas de vacío estarán en contacto directo con aire y presencia de partículas de agua. Estas boquillas serán roscadas para que puedan ser cambiadas, también las boquillas en el otro lado del roscado serán de forma cónica y en su punta se realizará un orificio de tal forma que nos permita únicamente sostener una semilla.

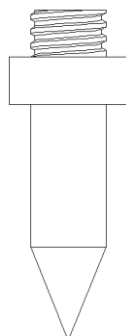


Figura 5. Boquilla de succión
Fuente: Autor

Requerimientos técnicos de la pieza para la construcción:

Característica	Detalle
Diámetro	8 [mm]
Diámetro moleteado	12.5 [mm]
Alto	35 [mm]
Material	Aluminio

Tabla 2. Características base para boquillas

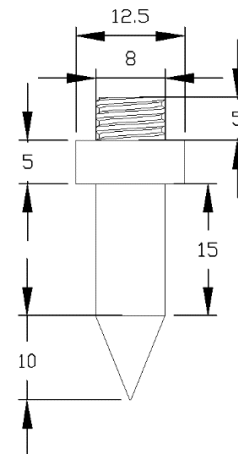


Figura 6. Boquilla de succión en mm
Fuente: Autor

Para facilidad de cálculo de la masa de las boquillas de succión, cada boquilla se separó en cuatro áreas (ver figura 7), cada área con su respectivo volumen, para luego sumar sus volúmenes y multiplicar por la densidad del aluminio para así encontrar la masa de la boquilla.

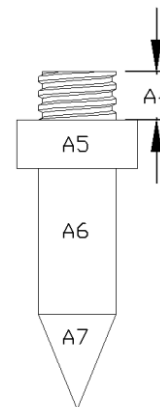


Figura 7. Áreas de la Boquilla de succión
Fuente: Autor

$$V_{Boquilla} = V_4 + V_5 + V_6 + V_7 - V_{hueco}$$

Ecuación 4. Volumen total de la boquilla de succión

Donde:

$$V_{Boquilla} : \text{Volumen de la boquilla. [mm}^3\text{]}$$

Entonces:

$$V_{Boquilla} = 251.327 + 613.59 + 753.98 + 167.55 - 6.8722$$

$$V_{Boquilla} = 1779.5748 \text{ [mm}^3\text{]}$$

Cambiamos las unidades de $[\text{mm}^3]$ a $[\text{m}^3]$

$$V_{Boquilla} = 1.7795748 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

Las boquillas de succión que conforman la parte succionadora de la máquina son diez, por lo tanto se multiplica por diez el volumen obtenido de la boquilla se succión.

Entonces:

$$V_{Boquillas} = V_{Boquilla} \times 10$$

Ecuación 5. Volumen de las boquillas de succión

Donde:

$$V_{Boquillas} : \text{Volumen de las boquillas. [m}^3\text{]}$$

Entonces:

$$V_{Boquillas} = 1.7795748 \times 10^{-6} \times 10$$

$$V_{Boquillas} = 1.7795748 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

Para determinar la masa de las boquillas, se multiplica el valor del volumen de las boquillas por el valor de la densidad del material del cual se va a construir dicha pieza.

A continuación se calcula la masa de las boquillas de succión:

$$m_{Boquillas} = \rho_{aluminio} \times V_{Boquillas}$$

Ecuación 6. Masa de las boquillas

Donde:

$$m_{Boquillas} : \text{Masa de las boquillas. [Kg]}$$

$$\rho_{aluminio} : \text{Densidad del aluminio. [Kg/m}^3\text{]}$$

Entonces:

$$m_{Boquillas} = 2698.4 \times 1.7864486 \times 10^{-5}$$

$$m_{Boquillas} = 0.048020046 \text{ [Kg]}$$

Entonces, el peso de las boquillas, será:

$$P_{Boquillas} = m_{Boquillas} \times Gravedad$$

Ecuación 7. Peso de las boquillas

Donde:

$$P_{Boquillas} : \text{Peso de las boquillas. [N]}$$

$$Gravedad : \text{Interacción gravitatoria, el valor es: } 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Entonces:

$$P_{Boquillas} = 0.048020046 \times 9.81$$

$$P_{Boquillas} = 0.471076651 \text{ [N]}$$

EJE DEL DISTRIBUIDOR Y BOQUILLAS

El eje del distribuidor y boquillas es de un acero resistente a la carga y además es resistente a la corrosión; para contribuir con el ambiente se utiliza un eje de impresora reciclable, este eje es de 8 $[\text{mm}]$ de espesor.

El movimiento del eje se lo realizará mediante el uso de un servomotor de corriente continua.

Característica	Detalle
Diámetro	8 $[\text{mm}]$
Largo	310 $[\text{mm}]$
Material	Acero cromado

Tabla 3. Características del eje

Fuente: Autor

$$P_{total} = P_{Boquillas} + P_{distribuidor}$$

Ecuación 8. Peso total del distribuidor y boquillas

Donde:

$$P_{total} : \text{Peso total. [N]}$$

Entonces:

$$P_{total} = 0.471076651 + 2.631552$$

$$P_{total} = 0.471076651 + 2.631552$$

$$P_{total} = 3.102628651 \text{ [N]}$$

Para hacer girar el eje se necesita un motor, en la siguiente ecuación se muestran los cálculos para la selección del motor.

$$T_{motor} = F \times D$$

Ecuación 9. Torque del motor

Donde:

T_{motor} : Toque del motor. [Nm]

F : Fuerza aplicada sobre el eje. [N]

D : Distancia desde el centro del eje hasta el final punta de succión. [m]

Entonces

$$T_{motor} = 3.102628651 \times 0.07$$

$$T_{motor} = 0.217184 \text{ [Nm]}$$

Por la precisión de giro que se necesita es indispensable utilizar un servomotor, además es fácil de conseguir en nuestro medio. Por los cálculos anteriores el servomotor más próximo es de 4.8 [Kg cm] o 0.47 [Nm].

En la siguiente figura se muestran los diagramas de cortes y momentos de las fuerzas que actúan sobre el eje, la fuerza que soporta el eje es el peso del distribuidor de succión y las boquillas, con un momento torsor que realiza el motor de 0.47 [Nm].

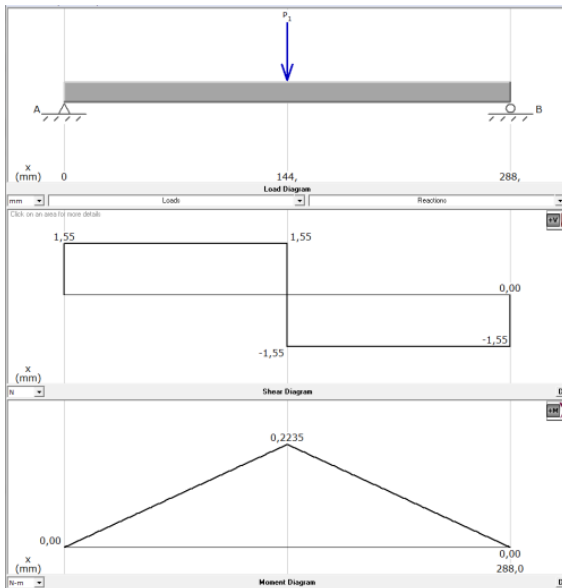


Figura 8. Diagrama de cortes y momentos del eje
Fuente: MDSolids 3.5

A continuación se realizan los cálculos necesarios para determinar el diámetro aparente del eje:

$$\sigma_x = \frac{32 M}{\pi \times d^3}$$

Ecuación 10. Esfuerzo normal ejercido en el eje

Donde:

σ_x : Esfuerzo normal. [Pa]

M : Momento máximo ejercido en el eje. [Nm]

d : Valor del diámetro a encontrar. [mm]

Con el valor del esfuerzo de von mises, se despeja el valor de d y se tiene como resultado el siguiente valor del diámetro calculado:

$$d^6 = \frac{22.3719}{\sigma^2}$$

$$d^6 = \frac{22.3719}{1.521 \times 10^{16}}$$

$$d = 0.003372 \text{ [m]}$$

$$d = 3.372289 \text{ [mm]}$$

Los de rodamientos para el eje se seleccionan en referencia a la siguiente figura:

● Rodamientos Miniatura y Extra Pequeños de Bolas NTN

Serie métrica

Dimensiones principales										Capacidad básica de carga			Factor	Velocidades límites	
d	D	B	B ₁	D ₁	D ₂	C ₁	C ₂	r _{max} ¹⁾	C ₀	C _{0r}	C _{0s}	C _{0e}		f ₀	grasa
mm										N	kgf		r.p.m.		
12	2.5	3.5	13.2	13.6	0.6	0.8	0.1	515	252	52.0	26.0	15.9	38 000	45 000	
14	3.5	4	15.6	15.6	0.8	0.8	0.15	820	385	84.0	39.0	15.2	36 000	43 000	
16	4	5	18	18	1	1.1	0.2	1 610	715	164	73.0	14.0	35 000	41 000	
18	6	6	22	22	1.5	1.5	0.3	1 990	865	202	88.0	13.8	33 000	39 000	
20	7	7	26	26	1.5	1.5	0.3	3 350	1 400	346	149	13.5	33 000	37 000	
24	8	8	—	—	—	—	—	0.3	4 000	1 500	410	162	11.7	31 000	36 000

Figura 9. Diámetros de rodamientos
Fuente: (NTN, 2009)

Como el eje seleccionado para realizar la función de movimiento de la succionadora de semillas es un eje de impresora que se encuentra ya en desuso; el eje es de 8 [mm] de diámetro y de acuerdo a las características presentadas en la figura 9 el eje seleccionado posee las siguientes características principales, las cuales se representan en la siguiente tabla:

Características	Datos
Rodamiento de bolas	Tipo abierto
Diámetro interior	8 mm
Diámetro exterior	22 mm
Ancho	7 mm

Tabla 2.4 Características del rodamiento de rodamientos

Fuente: (NTN, 2009)

BASE DE SEMILLAS

Para el diseño de la base de semillas se hace referencia a la magnitud del radio que se obtiene desde el eje hasta las puntas de las boquillas de succión (figura 10.), este valor permite encontrar la distancia precisa para que las boquillas de succión se desplacen libremente en la bandeja que contiene las semillas y de esta manera las puntas de succión puedan absorber de mejor manera las semillas.

El material del cual se construirá será la base de las semillas es de tol galvanizado debido a que es un material muy resistente a la corrosión, característica principal de selección debido a que la base de las semillas estará en usualmente en contacto directo con aire a presión y presencia de partículas de agua.

Requerimientos técnicos de la pieza para la construcción en la siguiente tabla:

Característica	Detalle
Largo	280 [mm]
Ancho	100 [mm]
Alto	50 [mm]
Material	Tol Galvanizado
Espesor	1.27 [mm]

Tabla 2.5 Características técnicas de la base de las semillas

Fuente: Autor

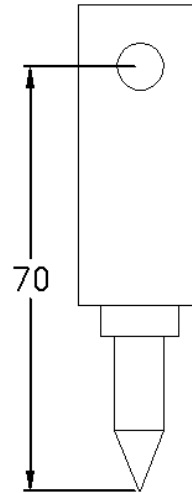


Figura 10. Radio para base de semillas en [mm]

Fuente: Autor

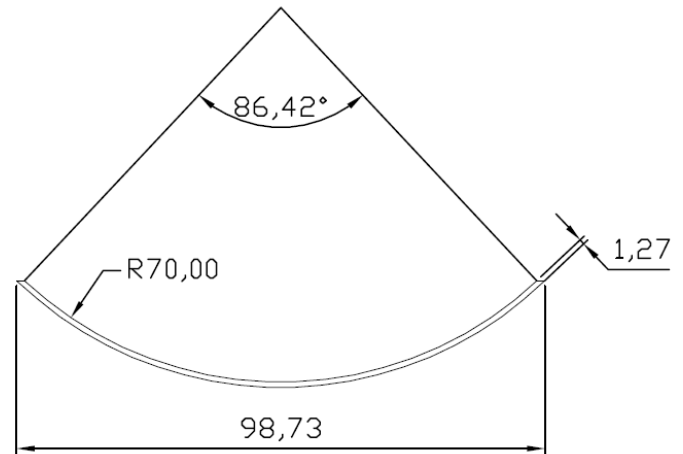


Figura 11. Radio de arco de las base de semillas en [mm]

Fuente: Autor

A continuación se realizan los cálculos necesarios para determinar las dimensiones de la base de las semillas:

$$L = \frac{2 \pi r \alpha}{360^\circ}$$

Ecuación 11. Longitud de arco de la base de semillas

Donde:

L : Longitud del arco. [mm]

r : Radio del arco. [mm]

α : Ángulo del arco. [°]

Entonces:

$$L = \frac{2 \pi (70)(86.42^\circ)}{360^\circ}$$

$$L = 105.581947 \text{ [mm]}$$

A continuación se muestran los soportes laterales de la base de las semillas:

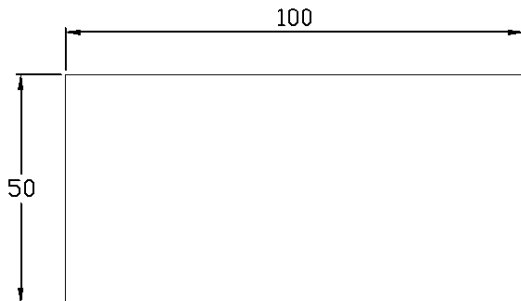


Figura 12. Soporte lateral derecho e izquierdo de la base de las semillas en [mm]

Fuente: Autor

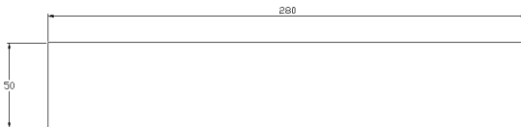


Figura 13. Soporte frontal de la base de las semillas en [mm]

Fuente: Autor

El distribuidor de las semillas permitirá que las semillas caigan directamente en cada una de las celdas de la bandeja ya dosificadas de manera segura y precisa, es construido de tol negro al igual que la mayoría de elementos de la máquina debido a que su función dentro del proceso de sembrado no hace que el distribuidor posea un contacto directo con las semillas, tierra o agua que puedan posteriormente corroer el material.

A continuación se muestra el diseño del distribuidor de las semillas con sus respectivos elementos:

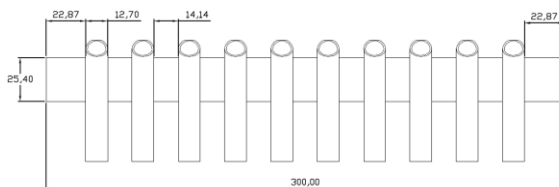


Figura 14. Distribuidor de semillas en [mm]

Fuente: Autor

La base de las semillas y el distribuidor de las mismas se muestran a continuación:

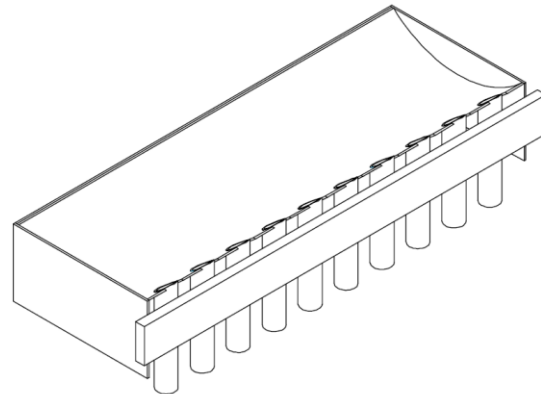


Figura 15. Base y distribuidor de las semillas

Fuente: Autor

ESTRUCTURA DE SOPORTE DE LOS ELEMENTOS DE SEMBRADO

La estructura de soporte de los elementos de sembrado se dimensiona en referencia a la estructura de soporte de la banda transportadora y a la normalización para la construcción de perfiles, por tal motivo se emplean los catálogos de perfiles de DIPAC.

El material de la estructura de soporte es el tol negro, mismo material de la estructura de la banda transportadora.

Para construir la estructura de soporte de los elementos de sembrado se detallan a continuación, en la siguiente tabla, los requerimientos técnicos de la pieza:

Característica	Detalle
Alto	200 [mm]
Largo	100 [mm]
Ancho	50 [mm]
Espesor	2 [mm]
Material	Tol Negro

Tabla 5. Características técnicas de la estructura de soporte de la máquina sembradora

Fuente: Autor

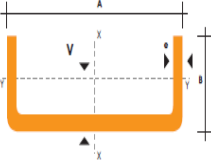
SELECCIÓN DE LA ESTRUCTURA

En la siguiente figura se muestra los diferentes tipos de dimensiones de canales en forma de "U" utilizados para la construcción de la estructura de soporte tanto de la banda transportadora como de la máquina sembradora:

PERFILES ESTRUCTURALES CANALES "U"

Especificaciones Generales

- Norma: INEN 1 623: 2000
- Otras calidades: Previa consulta
- Largo normal: 6mts
- Otros largos: Previa consulta
- Espesores: Desde 1.5mm hasta 12mm
- Acabado: Natural
- Otro acabado: Previa consulta



DIMENSIONES			PESOS		TIPOS								
A	B	e	6 metros	1 metro	SECCION	EJE X-X				EJE Y-Y			
mm	mm	mm	kg	kg	cm ²	I	W	I	I	W	I	x	x
						cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm
100	50	2	18.24	3.04	3.87	61.50	12.30	3.99	9.72	2.66	1.58	1.34	
100	50	3	26.88	4.48	5.70	88.50	17.70	3.94	14.10	3.89	1.57	1.39	
100	50	4	35.22	5.87	7.47	113.00	22.60	3.89	18.10	5.07	1.56	1.44	

Figura 16. Tipos de dimensiones de canales en forma de "U"

Fuente: (DIPAC, 2014)

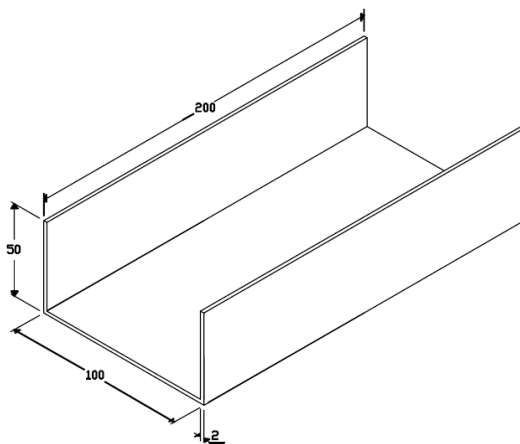


Figura 17. Estructura para la sembradora de semillas en [mm]

Fuente: Autor

ELEMENTOS
CONSTITUYEN
SEMBRADORA

NEUMÁTICOS
LA

QUE
MÁQUINA

GENERADOR DE VACIO

Para seleccionar la capacidad necesaria de trabajo de un generador de vacío, es necesario determinar varias características de funcionamiento en relación a la función que va a cumplir.

A continuación se realiza el cálculo de la masa de la semilla del tomate:

$$m_{tomate} = \frac{\pi \times d_{t1} \times d_{t2} \times A_t \times \rho_{semilla_tomate}}{4}$$

Ecuación 12. Cálculo de la masa de la semilla de tomate

Fuente: (SCHMALZ, 2014)

Donde:

m_{tomate} : Masa de la semilla de tomate. [kg]

d_{t1} : Diámetro mayor de la semilla de tomate. [m]

d_{t2} : Diámetro menor de la semilla de tomate. [m]

A_t : Ancho de la semilla de tomate. [m]

$\rho_{semilla_tomate}$: Densidad de la semilla de tomate, su valor aproximado de: 6153.99 [kg/m³]

En la siguiente figura se detallan gráficamente las dimensiones de la semilla de tomate, tanto sus diámetros mayor y menor como el ancho de la misma:

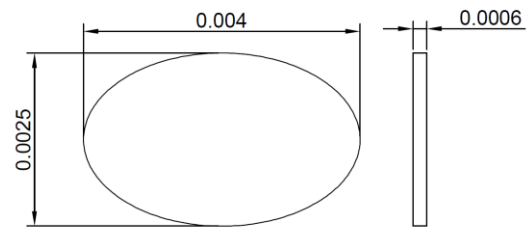


Figura 18. Dimensiones de la semilla de tomate en [m]

Fuente: Autor

Entonces la masa de la semilla del tomate es la siguiente:

$$m_{tomate} = \frac{\pi \times 0.004 \times 0.0025 \times 0.0006 \times 6153.99}{4}$$

$$m_{tomate} = 0.000029 \text{ [kg]}$$

A continuación se realiza el cálculo de la masa de las semillas de pimienta:

$$m_{pimiento} = \frac{\pi \times d_{p1} \times d_{p2} \times A_p \times \rho_{semilla_pimiento}}{4}$$

Ecuación 13. Cálculo de la masa de la semilla de pimienta

Fuente: (SCHMALZ, 2014)

Donde:

$m_{pimiento}$: Masa de la semilla de pimienta. [kg]

d_{p1} : Diámetro mayor de la semilla de pimienta. [m]

d_{p2} : Diámetro menor de la semilla de pimienta. [m]

A_p : Ancho de la semilla de pimienta. [m]

$\rho_{semilla_pimiento}$: Densidad de la semilla de pimienta, valor aproximado de: 7535.499 [kg/m³]

En la siguiente figura se detallan las dimensiones de la semilla de pimienta, diámetro mayor y menor y el ancho:

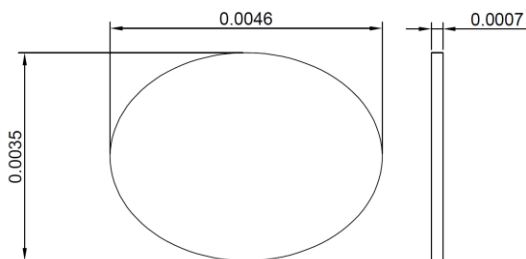


Figura 19. Diámetros de la semilla de pimienta en [m]

Fuente: Autor

Entonces el valor de la masa de la semilla de pimienta es:

$$m_{pimiento} = \frac{\pi \times 0.0046 \times 0.0035 \times 0.0007 \times 7535.499}{4}$$

$$m_{pimiento} = 0.0000667 \text{ [kg]}$$

Calculada la masa de las semillas se puede determinar la fuerza de retención de las puntas de succión, fuerza que permitirá conocer si las puntas construidas para succionar las semillas desempeñan bien su función.

A continuación se calcula la fuerza de retención teórica de las puntas de succión:

$$F_{TH} = m \times (g + a) \times S$$

Ecuación 14. Fuerza de retención teórica de las puntas de succión

Fuente: (SCHMALZ, 2014)

Donde:

F_{TH} : Fuerza de retención teórica. [N]

m : Masa. [kg]

g : Aceleración terrestre o gravedad, equivalente a [9.81 m/s²]

a : Aceleración de la instalación. [m/s²]

S : Factor de seguridad

Entonces para determinar la fuerza de retención teórica del tomate es necesario dar valores a la aceleración de instalación como al factor de seguridad, los valores dados son los siguientes:

$$a = 5 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$S = 2$$

La fuerza teórica para la succión de la semilla de tomate es la siguiente:

$$F_{TH_tomate} = m_{tomate} \times (g + a) \times S$$

$$F_{TH_tomate} = 0.000029 \times (9.81 + 5) \times 2$$

$$F_{TH_tomate} = 0.00085898 \text{ [N]}$$

La fuerza teórica para la succión de la semilla de pimienta es la siguiente:

$$F_{TH_pimiento} = m_{pimiento} \times (g + a) \times S$$

$$F_{TH_pimiento} = 0.0000667 \times (9.81 + 5)$$

$$\times 2$$

$$F_{TH_pimiento} = 0.00197565 \text{ [N]}$$

Mediante la ayuda del valor obtenido de la fuerza de retención se puede determinar la fuerza de aspiración requerida para succionar las semillas. A continuación se realiza el cálculo de la fuerza de aspiración de las semillas:

$$F_S = F_{TH}/n$$

Ecuación 15. Fuerza de aspiración

Fuente: (SCHMALZ, 2014)

Donde:

F_S : Fuerza de aspiración. [N]

F_{TH} : Fuerza de retención teórica. [N]
 n : Número de ventosas

Entonces la fuerza de aspiración de las semillas de tomate es la siguiente:

$$F_{S_tomate} = F_{TH_tomate}/n$$

$$n = 10$$

→ porque son diez las puntas de succión

$$F_{S_tomate} = 0.00085898 / 10$$

$$F_{S_tomate} = 0.000085898 \text{ [N]}$$

Entonces la fuerza de aspiración de las semillas de pimienta es la siguiente:

$$F_{S_pimiento} = F_{TH_pimiento}/n$$

$$n = 10$$

→ porque son diez las puntas de succión

$$F_{S_pimiento} = 0.00197565 / 10$$

$$F_{S_pimiento} = 0.000197565 \text{ [N]}$$

Para definir el generador de vacío que se va a emplear para succionar las semillas es necesario determinar la capacidad de aspiración del mismo de acuerdo a la distancia a la que se van a encontrar las semillas para ser succionadas y principalmente al diámetro de las puntas de succión que se van a utilizar, de esta manera se puede determinar un generador de vacío en base a las necesidades o requerimientos existentes para realizar la función de succión de las semillas.

A continuación se muestra una tabla con las características técnicas de trabajo del generador de vacío a utilizar en este proyecto:

Capacidad de aspiración de una ventosa		
Ø de la ventosa	Capacidad de aspiración	
	V_s	
Hasta 20 mm	0.17 m ³ /h	2.83 l/min
Hasta 40 mm	0.35 m ³ /h	5.83 l/min
Hasta 60 mm	0.5 m ³ /h	8.3 l/min
Hasta 90 mm	0.75 m ³ /h	12.7 l/min
Hasta 120 mm	1.0 m ³ /h	16.6 l/min

Tabla 6. Capacidad de aspiración del generador de vacío

Fuente: (CAMOZZI, 2008)

De acuerdo a la tabla 6, si el diámetro de las puntas de succión es menor o igual a 20 [mm], entonces la capacidad de aspiración de las puntas de succión es de: 2.83 l/min

El valor de la capacidad de aspiración obtenido en la tabla 6 es el valor de la capacidad de aspiración de solamente una punta de succión, así que para determinar la capacidad de aspiración total es necesario multiplicar ese valor por diez el cual es el número de puntas que se van a utilizar.

$$V = n \times V_s$$

Ecuación 16. Capacidad de aspiración total

Fuente: (SCHMALZ, 2014)

Donde:

V : Capacidad de aspiración total. [l/min]

n : Número de ventosas.

V_s : Capacidad de aspiración unitaria. [l/min]

Entonces la capacidad de aspiración total es la siguiente:

$$V = 10 \times 2.83$$

$$V = 28.3 \text{ [l/min]}$$

En la siguiente figura se muestra el comportamiento de generadores de vacío en función de la capacidad de aspiración y la presión de funcionamiento.

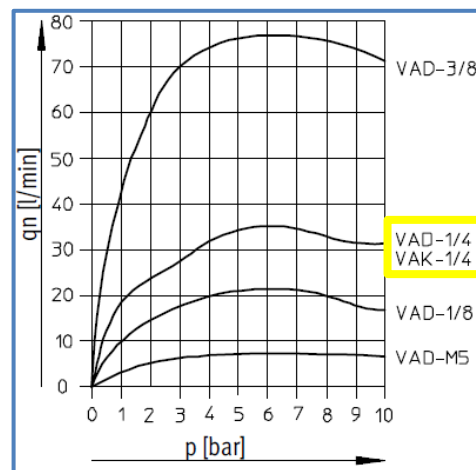


Figura 00 Comportamiento de generadores de vacío VAD y VAK en función de la capacidad de aspiración y la presión de funcionamiento

Fuente: (FESTO, 2014)

Con el resultado de la capacidad de aspiración total y la presión de funcionamiento de 7 bares se procede a seleccionar el generador de vacío que es el VAD-1/4 de la marca FESTO.

El generador de vacío (figura 21) es el elemento principal del funcionamiento total de la máquina ya que permite seleccionar una sola semilla por cada punta de succión y luego la deposita en cada una de las celdas de la bandeja en la cual se cultivan las plántulas.

En la siguiente tabla se detallan las características de funcionamiento del generador de vacío seleccionado:

Características	Datos
Temperatura ambiente y de fluido	$-20^{\circ} C \sim 80^{\circ} C$
Rango de presión	1.5 ~ 10 bar
Grado de vacío	80%
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Diámetro nominal de la tobera	1 mm
Material	Fundición inyectada de aluminio

Tabla 7. Características del generador de vacío
Fuente: (FESTO, 2014)

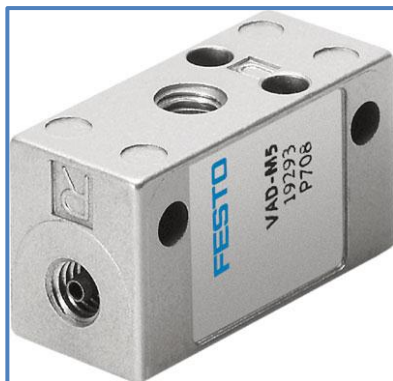


Figura 21. Generador de vacío
Fuente: (FESTO, 2014)

SELECCIÓN DE LA UNIDAD DE MANTENIMIENTO

La unidad de mantenimiento (figura 22) es un elemento muy importante cuando existen conexiones neumáticas porque suministra aire libre de impurezas, partículas de agua y lubricado además regula la presión necesaria de aire con la cual trabajan los elementos neumáticos.

En la siguiente tabla se muestran las características técnicas de funcionamiento de la unidad de mantenimiento seleccionada:

Características	Descripción
Temperatura de operación	41 – 140 [°F]
Presión máxima	135 [PSI]

Tabla 8. Características de la unidad de mantenimiento

Fuente: (SNS PNEUMATIC, 2008)



Figura 22. Unidad de mantenimiento
Fuente: (SNS PNEUMATIC, 2008)

ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema automático de la máquina sembradora va a constar de una banda transportadora, el motor que permite el movimiento de la banda transportadora, los sensores y actuadores, los elementos de protección del sistema, el mecanismo de vibración y los programadores que controlarán todo el proceso.

BANDA TRANSPORTADORA

La banda transportadora a utilizar para la realización de proceso de producción de plántulas es de PVC debido a que este material permite que las bandejas se adhieran fácilmente a la banda para no ocasionar desplazamientos no previstos en el transcurso del proceso de producción de las plántulas.

En la figura se puede visualizar la forma y color de la banda transportadora a utilizar:



Figura 23. Banda transportadora de PVC
Fuente: (REINRA, 2014)

Las dimensiones de la banda transportadora de acuerdo a la capacidad de bandejas a sembrar es de: 5.4 [m] de largo y 28 [cm] de ancho. Por lo tanto las dimensiones de la estructura para la banda transportadora son: 2.4 [m] de largo y 28,5 [cm] de ancho.

En la figura 24 se muestra la forma de la estructura para la banda transportadora:

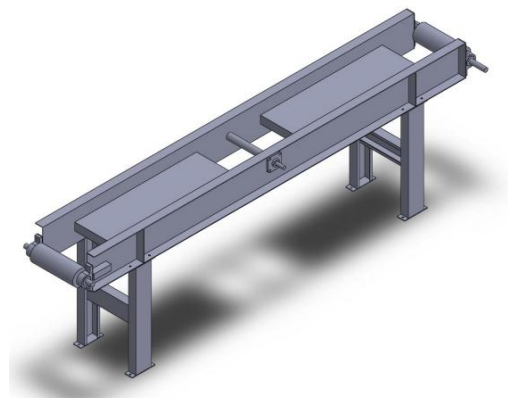


Figura 24. Estructura de la Banda transportadora
Fuente: Autor

La estructura de la banda transportadora es adoptada de un modelo de banda transportadora para el reciclaje de plásticos.

La banda transportadora a emplear para el transporte de las bandejas en todo el sistema de sembrado es la banda tipo Breda B12 CK de espesor de 2.7[mm] y de color verde por ser un proceso industrial y agrícola.

En la siguiente tabla se detallan las características de la banda transportadora tipo Breda B12 CK:

Características	Datos
Tipo de Banda	Breda B12 CK.
Material	PVC.
Color	Verde
Características especiales	Antiestática, resistente a aceites y grasa minerales y a la abrasión.
Espesor	2.7 [mm]
Largo	5400 [mm]
Ancho	280 [mm]
Peso	2.95 [kg/m ²]

Tabla 9. Características de la banda transportadora Breda B12 CK
Fuente: Bandas y Bandas

MOTOR PARA LA BANDA TRANSPORTADORA

Para determinar el motor que permitirá movilizar la banda transportadora es necesario determinar los requerimientos para su funcionamiento.

Los parámetros iniciales de funcionamiento de la banda transportadora es la distancia de la banda transportadora, la cual abarca aproximadamente 4 bandejas en todo su largo.

De la tabla 9 se obtiene el peso de la banda transportadora, el cual se emplea en el cálculo de la potencia del motor el mismo que se detalla a continuación:

$$HP = \frac{(W + w)(f)(s)}{33000}$$

Ecuación 17. Cálculo de la potencia del motor

Donde:

HP : Potencia del motor. [HP]

W : Peso de carga. [lb]

w : Peso de banda. [lb]

f : Coeficiente de fricción

s : Velocidad. [ft/min]

$$HP = \frac{(50 + 0.0049)(0.4)(6)}{33000}$$

$$HP = 0.00363672 \text{ [HP]}$$

La relación de transmisión es:

$$4.8872 \left[\frac{rev}{min} \right]$$

Entonces, el torque al que va a trabajar el motor es:

$$T = \frac{63000 HP}{n}$$

Ecuación 18. Cálculo del torque del motor

Donde:

T : Torque del motor. [Nm]

n : Relación de transmisión. [rpm]

$$T = \frac{63000 \times (0.00363672)}{4.8872}$$

$$T = 46.88 \text{ [lb} \cdot \text{in]}$$

$$T = 5.29 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

En la siguiente tabla se detallan las características técnicas que posee el motor seleccionado, de acuerdo al valor del torque calculado:

Características	Descripción
Tipo de motor	AC Servomotor
Modelo	SMH80S-0075-30AAK-3LKH
Tensión [V]	220
Rango de Potencia [W]	750
Rango de Velocidad [rpm]	3000

Características	Descripción	
Torque [Nm]	Nominal	2.39
	Máximo	7.17
	Parada	2.63
Corriente [A]	Nominal	3.9
	Máximo	11.7
	Parada	4.4

Tabla 10. Características del servomotor

Fuente: (Kinko, 2013)



Figura 25. Servomotor Kinco

Fuente: (Kinko, 2013)

El servomotor seleccionado posee un driver que permite controlar el servomotor utilizando varios comandos de configuración.

En la siguiente tabla se detallan las características técnicas que posee el driver que permite el control del servomotor seleccionado:

Características	Descripción
Tipo de driver	Servo driver CD 420
Tensión [VAC]	220
Elementos del driver	Fuente de alimentación para el control de 24 [VDC]
	7 entradas digitales
Elementos del driver	Entrada de señal de pulso
	2 entradas análogas
	4 salidas de corriente 100 [mA]
	Salidas digital de 24 [V] y 100 [mA]
	Salidas de control de freno
	Entrada/salida del encoder

Tabla 11. Selección del motor para la banda transportadora

Fuente: (Kinko, 2013)

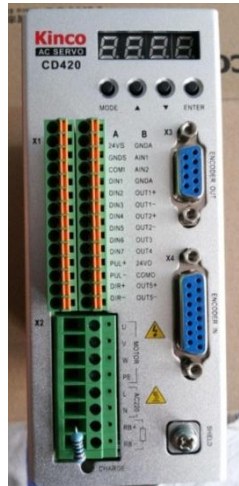


Figura 26. Servo-driver
Fuente: (Kinko, 2013)

SENSORES Y ACTUADORES

Los sensores y actuadores que se van a emplear en el proceso de sembrado se encuentran detallados en la siguiente tabla:

Sensor	Cantidad	Uso
Final de carrera	1	Detección de presencia de las bandejas para el sembrado
Actuadores	Cantidad	Uso
Electroválvula	1	Activación del generador de vacío
Servomotor	1	Activación del mecanismo de succión de las semillas
Motores DC	2	Activación de los motores excéntricos (vibradores)

Tabla 12. Selección de los sensores y actuadores
Fuente: Autor

FINAL DE CARRERA

El sensor de final de carrera permitirá detectar si la bandeja se encuentra en la posición exacta justo debajo de la sembradora para proceder a

absorber la semilla y luego soltar exactamente las semillas en las celdas de la bandeja.

A continuación se detallan en la siguiente tabla las características técnicas del sensor de final de carrera:

Características	Descripción
Material	Resina, plástico y metal
Cabeza	Palanca con rodillo
Configuración de contacto	1 NC + 1 NO
Amperaje/Tensión	5 [A] – 110 [VAC]
	0.4 [A] – 115 [VDC]

Tabla 13. Características finales de carrera
Fuente: Camco



Figura 27. Final de carrera
Fuente: Camco

ELECTROVÁLVULA

La electroválvula a emplear en el proceso de sembrado de las semillas permitirá la activación del generador de vacío en el momento en que la bandeja se posicione debajo de la sembradora para iniciar el proceso de sembrado, el final de carrera será el que active la electroválvula para succionar las semillas y depositarlas en las bandejas.

En la siguiente tabla se detallan las características técnicas de la electroválvula a utilizar:

Características	Descripción
Tipo de válvula	5/2
Voltaje de operación	24 [VDC]
Presión de operación	1.5 ~ 8 [bar]
Potencia	3 [W]
Grado de Protección	IP65
Tamaño del puerto	1/4 "

Tabla 14. Características de la electroválvula
Fuente: (SNS)



Figura 28. Electroválvula 5/2
Fuente: (SNS)

SERVOMOTOR

Se seleccionó un servomotor de corriente continua por la precisión que se necesita en el movimiento de las boquillas a su destino además este servomotor es de fácil acceso en nuestro medio.

En la siguiente figura se muestra el servomotor de corriente continua:



Figura 29. Servomotor HITEC HS-485HB
Fuente: (Servocity, 2014)

En la siguiente tabla se muestran las características del servomotor HITEC de 4.8 [Kg cm] seleccionado para mover las boquillas de la máquina sembradora:

Característica	Descripción
Sistema de control	+ ancho de pulso de 1500 [μsec] Neutral
Pulso requerido	3 – 5 [VDC] pico a pico de onda cuadrada
Tensión de funcionamiento	4,8 a 6,0 [VDC]
Rango de temperatura de funcionamiento	–20 a + 60 grados °C
Velocidad de funcionamiento (4.8V)	0.22sec/60 ° sin carga
Velocidad de funcionamiento (6.0V)	0.18sec/60 ° sin carga

Característica	Descripción
Torque (4.8V)	4.8 [kg cm]
Par máximo (6.0V)	6 [kg cm]
Consumo de corriente (4.8V)	8 [mA/idle], 160 [mA] ninguna operación de carga
Consumo de corriente (6.0V)	8.8 [mA/idle], 180 [mA] ninguna operación de carga
Ancho de banda muerta	8 [μsec]
Tipo de motor	3 Pole ferrita Motor

Tabla 15. Características del servo motor
Fuente: (Servocity, 2014)

MOTORES DC

Se seleccionó dos motores dc y se los transformó en motores excéntricos para lograr generar una pequeña vibración en la base de las semillas, la vibración ayudará a distribuir en forma uniforme a las semillas para que puedan ser absorbidas con facilidad.



Figura 30. Motores excéntricos de una palanca de PlayStation
Fuente: Autor



Figura 31. Motores excéntricos en la bandeja de las semillas
Fuente: (aliexpress, 2014)

En la siguiente tabla se detallan las características de los motores seleccionados:

Características	Descripción
Rango de voltaje	8~12 [VDC]
Velocidad	6600 [rpm]
Corriente	0.786 [A]
Torque	7.27 [Nm]
Potencia	5.04[W]

Tabla 16. Características de los motores excéntricos

Fuente: (aliexpress, 2014)

LUCES PILOTO

En la siguiente tabla se detallan las luces piloto a emplear con sus respectivas características y su respectiva función:

LUZ PILOTO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	FUNCIÓN
	110 [VAC] Color: Rojo	Indica que la máquina está energizada pero no está funcionando.
	Tensión: 24 [VDC] Corriente: 20 [mA] Color: Verde	Indica que la máquina está funcionando correctamente.
	Tensión: 24 [VDC] Corriente: 20 [mA] Color: Amarillo	Indica que existe alguna falla en el proceso que debe ser revisada.

Tabla 17. Luces piloto del tablero de control

Fuente: Camsco

PULSADORES

Los pulsadores tipo rasantes son los más adecuados para cumplir con las características de interacción directa del usuario con la máquina.

En la siguiente tabla se detallan los pulsadores a utilizar en el sistema de control:

PULSADOR	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	FUNCIÓN
	Tipo: rasante Contacto: NC 110 [VAC]	Apaga la máquina y permite que ésta vuelva a ser encendida al presionar el pulsador de encendido.
	Tipo: rasante Contacto: NO 24 [VDC]	Inicia el funcionamiento de la máquina.
	Tipo: seta Contacto: NC 24 [VDC]	Apaga la máquina y no permite que esta pueda ser activada si antes no se desenclava el paro de emergencia.

Tabla 18. Pulsadores para tablero de control

Fuente: Camsco

Los pulsadores para el encendido y apagado de la máquina son de tipo rasante con el objetivo de impedir que por algún descuido o roce el usuario active o desactive la máquina sin intención alguna.

SELECCIÓN DE CONTROLADORES CONTROLADOR PROGRAMABLE PLC

La activación de la electroválvula para la activación del generador de vacío se la realiza a través de una salida tipo relé del PLC.

En la siguiente tabla se detallan las características técnicas del PLC LOGO!:

Características	Descripción
Nombre del PLC	LOGO! 12/24RC
Entradas	8 (4 analógicas)
Salidas	4 (tipo relé)
Rango admisible	10.8 [V] ... 28.8 [V DC]
"0" lógico	Máx. 5 [V DC]
"1" lógico	Min. 8.5 [V DC]
Intensidad de entrada	0.1 – 1.5 [mA]

Tabla 19. Características del PLC LOGO!

Fuente: (Siemens, 2012)



Figura 32. Controlador programable LOGO!

Fuente: (Siemens, 2012)

CONTROLADOR ARDUINO

Para controlar el movimiento de las boquillas de succión de un ángulo determinado a otro se seleccionó una placa como es el Arduino mini pro, por su precio bajo y por sus salidas PWM, estas salidas PWM controlaran al servomotor de corriente continua.

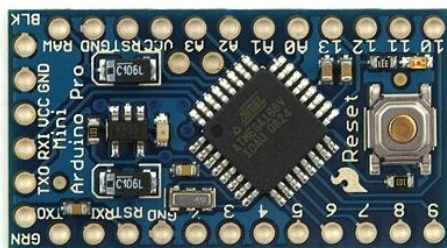


Figura 33. Arduino mini pro

Fuente: (ARDUINO, 2014)

En la siguiente tabla se muestra las características del Arduino mini pro:

Característica	Descripción
Microcontrolador	ATmega168
Voltaje de funcionamiento	5 [VDC]
Voltaje de entrada	5 – 12 [VDC]
Pines digitales E / S	14 (6 de los cuales tienen salida PWM)
Pines de entrada analógica	6
Máxima intensidad por E / S	40 [mA]
Memoria flash	16 [KB]
SRAM	1 [KB]
EEPROM	512 [byte]
Velocidad de reloj	16 [MHz]

Tabla 20. Características del Arduino pro

Fuente: (ARDUINO, 2014)

Para alimentar al Arduino pro mini se seleccionó una fuente de 5 [V] con un voltaje de entrada de 12 [V] ya que se utiliza la misma fuente de los vibradores, en la siguiente figura se muestra dicha fuente:



Figura 34. Fuente de alimentación del Arduino mini pro

Fuente: (Current-Logic, 2008)

En la siguiente tabla se muestra las características de la fuente de alimentación para el Arduino pro mini:

Característica	Descripción
Voltaje de entrada	12 [VDC]
Voltaje de salida	5 [VDC]
Corriente de salida	3[A] máx
Consumo de energía	5 [W]

Tabla 21. Características de la fuente de 5 [V]

Fuente: (Current-Logic, 2008)

SISTEMA DE CONTROL

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PLC

Cuando la bandeja pasa sobre la banda transportadora es detectada por el final de carrera que se encuentra debajo de la sembradora, ese sensor emite una señal al Arduino y este a la vez procesa la información obtenida y detiene la banda transportadora, luego activa la vibración de la bandeja y las puntas de succión son movilizadas por el servomotor hasta la posición donde se encuentran el distribuidor de las semillas que permiten colocar las mismas sobre cada fila de celdas de la bandeja; en el momento en que se activa la vibración, también se activa la electroválvula y las boquillas absorben las semillas que serán colocadas en la bandeja.

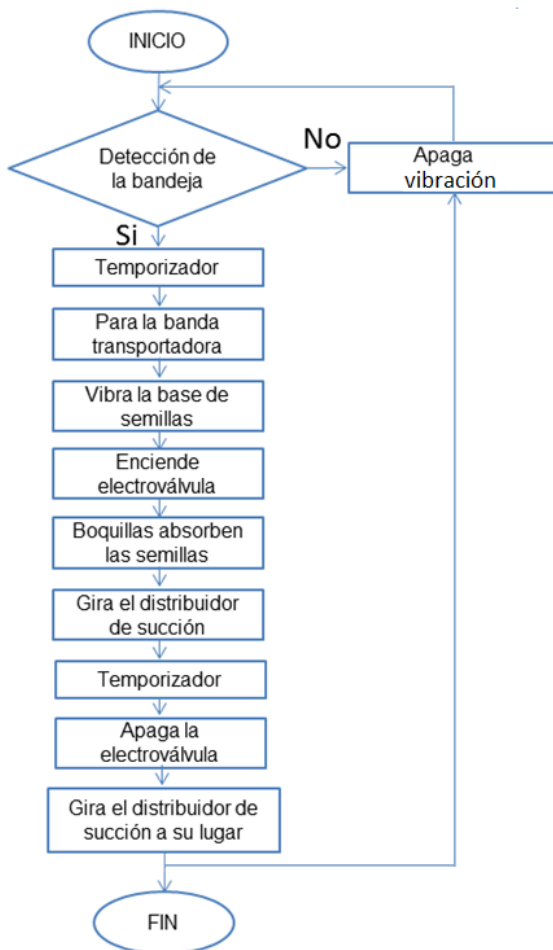


Figura 35. Flujograma del PLC
Fuente: Autor

TABLA DE VARIABLES

Las variables a emplear en el programa del PLC y del Arduino son las que se indican en la siguiente tabla:

Dirección PLC	Nombre	Símbolo	Descripción
AI4	Entrada Motor	M1	Activación de los vibradores (motores excéntricos)
AI3	Entrada posición	P1	Posición del distribuidor de succión
Q1	Banda transportadora	BT	Activación de la banda transportadora
Q2	Vibración	VR	Activación de los vibradores
Q8	Activación de vacío	V1	Activa la electroválvula para generar el vacío de las semillas
Dirección Arduino	Nombre	Símbolo	Descripción
I6	Final de carrera 5	final_de_carrera	Presencia de bandejas para el sembrado
O9	Salida Motor	estado	Entrada del PLC para activación de los vibradores
O7	Salida posición	vibradores	Entrada del PLC para dar la posición del distribuidor de succión
O10	Salida PWM	myservo	Salida PWM que controla el servomotor para girar el distribuidor de succión

Tabla 22. Variables empleadas en los controladores PLC y Arduino.
Fuente: Autor

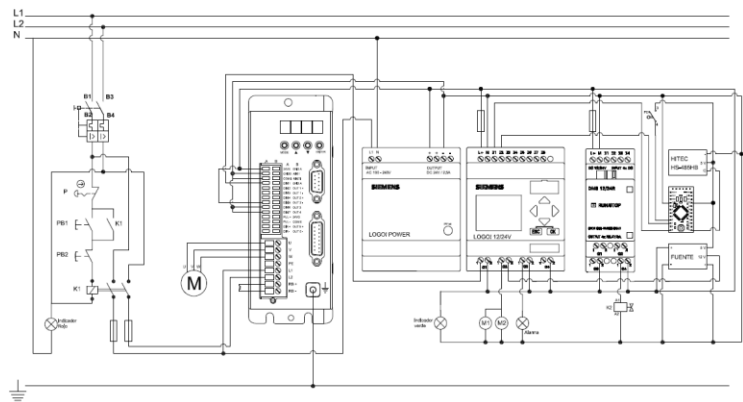


Figura 36. Esquema de conexión eléctrica
Fuente: Autor

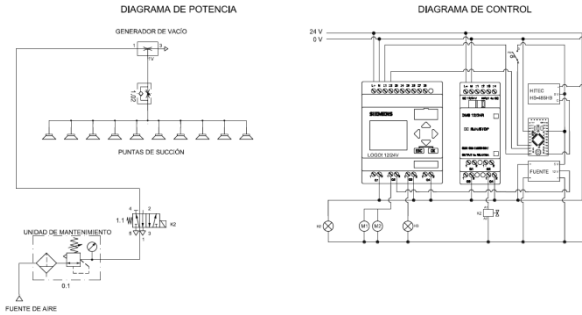


Figura 37. Esquema de conexión neumático
Fuente: Autor

PROGRAMA DEL PLC

En el PLC se programó la activación de la electroválvula y de los motores vibradores mediante la recepción de la señal analógica de la sembradora:

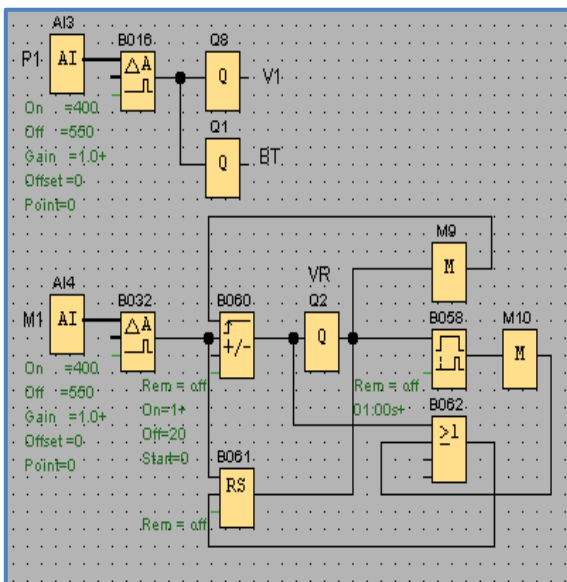


Figura 38. Programa del PLC
Fuente: Autor

PROGRAMA DEL ARDUINO

```
#include <Servo.h> // Carga la librería para controlar el servomotor
Servo myservo; // Crea un objeto para controlar al servomotor
int pos = 180; // Variable para almacenar la posición del servo
int final_de_carrera = 6; // Asigna el pin 6 a la variable final_de_carrera
int inicial; // Se declara la variable inicial
int vibradores = 7; // Asigna el pin 7 a la variable vibradores
int estado = 9; // Asigna el pin 9 a la variable estado
void setup()
{
  myservo.attach(10); // Asigna el pin 10 para control del servo
  pinMode(final_de_carrera, INPUT); // Variable final_de_carrera como entrada
  pinMode(vibradores, OUTPUT); // Variable vibradores como salida
  pinMode(estado, OUTPUT); // Variable estado como entrada
}
void loop()
{
  myservo.write(pos); // Inicializa servo en la posición dada (pos=180°)
  inicial = digitalRead(final_de_carrera); // Lee estado de final_de_carrera y se asigna a la variable inicial
  digitalWrite(vibradores, LOW); // Apaga vibradores
  if (inicial == HIGH) // Final de carrera estado alto
  {
    delay(50); // Espera 50ms para correcta lectura
    inicial = digitalRead(final_de_carrera); // Lee estado de final_de_carrera y se asigna a la variable inicial
    digitalWrite(vibradores, HIGH); // Prende vibradores
    if (inicial == LOW) // Final de carrera estado bajo
    {
      digitalWrite(estado, HIGH); // Envía estado alto al PLC para prender electroválvula
      delay(1000); // Espera 1000ms para que absorba las semillas
      for (pos = 180; pos >= 129; pos -= 1) // Va de 180 grados a 129 grados
      {
        myservo.write(pos); // Dice al servo ir a la posición de la variable pos
      }
      digitalWrite(estado, LOW); // Envía estado bajo al PLC para apagar electroválvula
      digitalWrite(vibradores, LOW); // Apaga vibradores
      delay(1000); // Espera posición (pos=129) 1000ms
      for (pos = 129; pos <= 180; pos += 1) // Va de 129 grados a 180 grados
      {
        myservo.write(pos); // Dice al servo ir a la posición de la variable pos
      }
      delay(1000); // Espera 1000ms
    }
  }
}
```

Figura 39. Programa del Arduino
Fuente: Autor

IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA

Para representar las actividades de implementación de la máquina se enlistan las operaciones tecnológicas para mecanizar los elementos que forman parte la máquina sembradora, en la siguiente tabla:

Número	Operación
1	Trazado
2	Corte del material
3	Doblado
4	Fundido
5	Esmerilado
6	Taladrado
7	Roscado
8	Torneado
9	Barolado
10	Soldado
11	Fondeado
12	Pintado
13	Pulido

Tabla 23. Operaciones de mecanizado
Fuente: Autor

La norma American Society of Mechanical Engineers, Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, (ASME) es la encargada de normalizar los símbolos de los diagramas de flujo de mecanizado, en la siguiente tabla se detallan cada uno de los símbolos empleados en el mecanizado de la máquina sembradora:


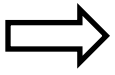
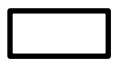

Simbología	Interpretación	Descripción de la actividad
	Operación	Indica las fases del proceso
	Transporte	Indica el movimiento del material o elemento de un lugar a otro
	Inspección	Indica la inspección de la calidad o cantidad
	Fin del proceso	Indica el término del proceso

Tabla 24. Simbología estándar para los diagramas de flujo
Fuente: Norma ASME

A continuación se representan cada uno de los diagramas de flujo de las actividades realizadas para la construcción de la máquina sembradora:

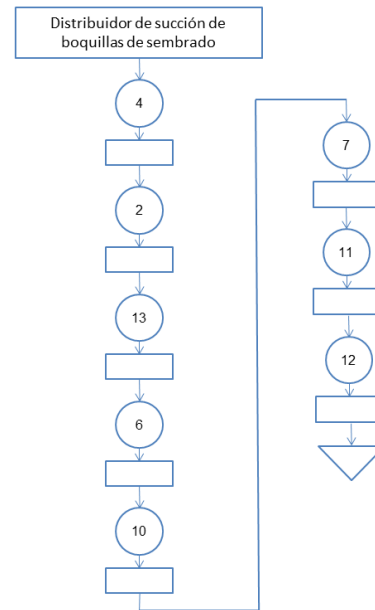


Figura 40 Construcción del distribuidor de succión de boquillas de sembrado
Fuente: Autor

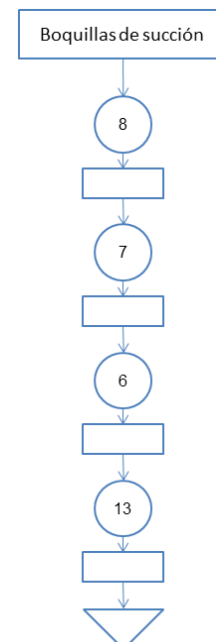


Figura 41 Construcción de las boquillas de succión
Fuente: Autor

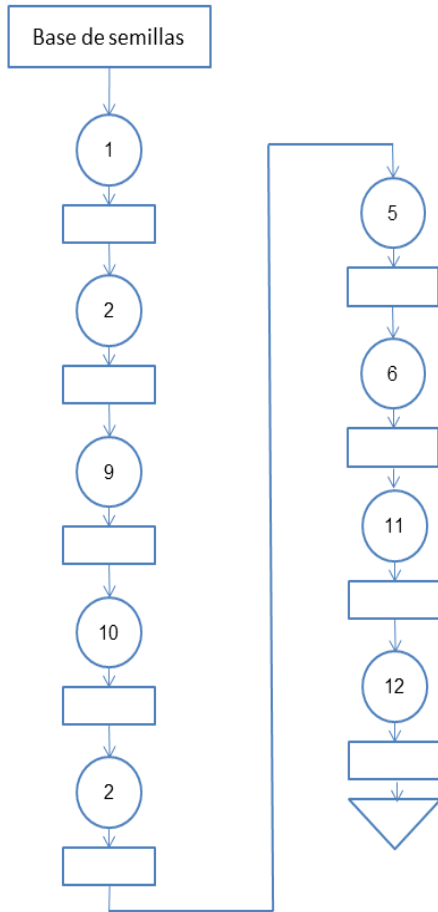


Figura 42 Construcción de base de semillas
Fuente: Autor

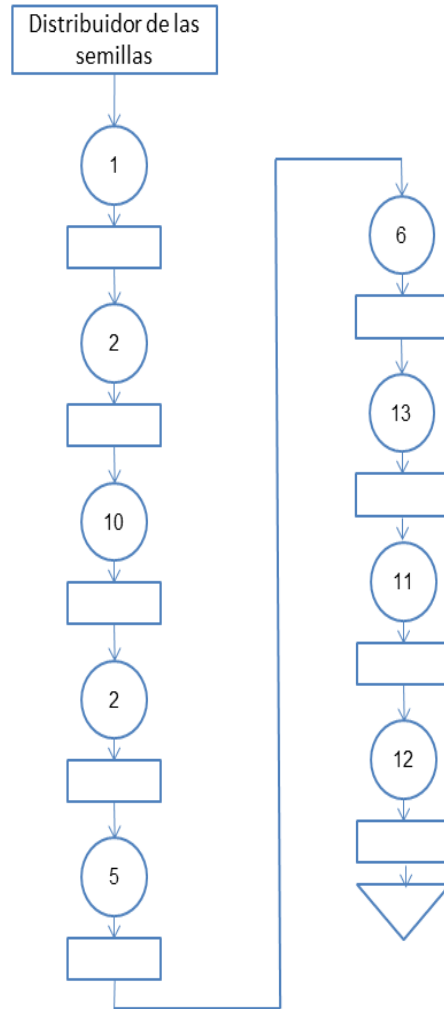


Figura 44 Construcción del distribuidor de las semillas
Fuente: Autor



Figura 43 Base de semillas
Fuente: Autor



Figura 45 Distribuidor de las semillas
Fuente: Autor

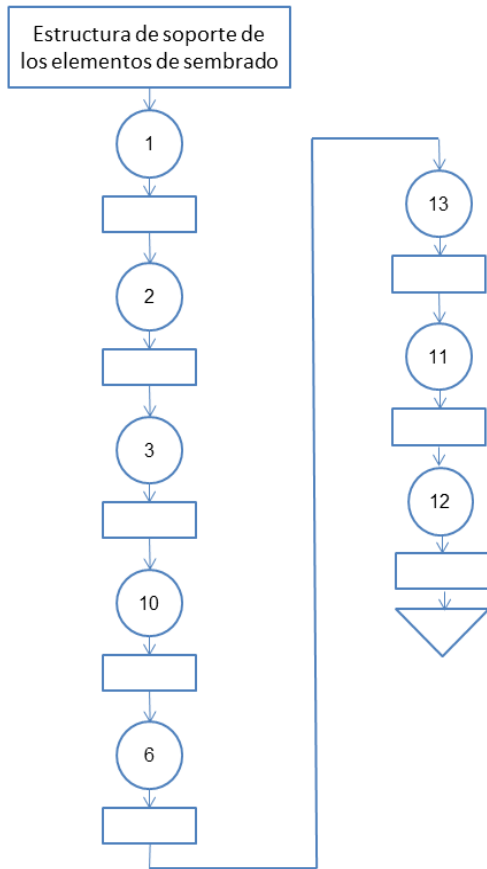


Figura 46 Construcción de la estructura de soporte de los elementos de sembrado
Fuente: Autor



Figura 47 Estructura de soporte de los elementos de sembrado
Fuente: Autor

ENSAMBLAJE DE LA MÁQUINA

En el ensamblaje de la máquina se detallan las actividades de implementación de los elementos que constituyen cada uno de los sistemas que permiten el correcto funcionamiento de la máquina.

La simbología de la norma ASME también se emplea para representar el ensamblaje de los elementos que forman parte de la máquina y cada una de las actividades está representada por un código.

En la siguiente tabla se muestra las actividades de ensamblaje con su respectivo código:

Código	Actividad
E1	Instalación de la estructura de la banda transportadora
E2	Instalación de chumaceras
E3	Instalación de rodillos para la banda transportadora
E4	Instalación de la banda transportadora
E5	Instalación de la estructura de soporte de los elementos de sembrado
E6	Instalación de la base de semillas
E7	Instalación del distribuidor de las semillas
E8	Instalación de las boquillas de succión al distribuidor de succión
E9	Instalación de los rodamientos del eje
E10	Instalación del eje y distribuidor de succión
E11	Instalación de la placa electrónica de control y servomotor dc
E12	Instalación del servomotor AC.
E13	Instalación caja de control

Tabla 25. Actividades de ensamblaje de la máquina
Fuente: Autor

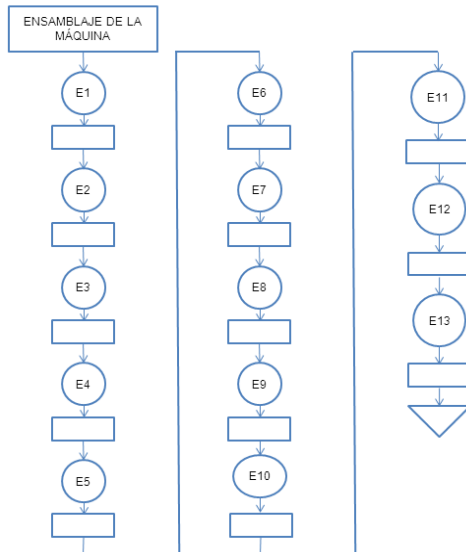


Figura 48 Diagrama de flujo del ensamble de los elementos de la máquina

Fuente: Autor

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA MÁQUINA

En la siguiente tabla se muestra la implementación del tablero de control de la máquina donde se detallan las actividades a realizarse y su código:

Código	Actividad
1	Selección de la caja
2	Colocación de riel
3	Colocación de los elementos de protección
4	Colocación de la fuente del PLC
5	Colocación del PLC
6	Colocación del módulo de expansión
7	Colocación de la fuente de 12 V
8	Colocación de borneras
9	Conexión de los elementos de señalización
10	Conexión pulsadores y paro de emergencia
11	Conexión de sensores
12	Conexión de actuadores
13	Etiquetado de cables
14	Energización de los elementos

Tabla 26 Actividades de construcción del tablero de control

Fuente: Autor

IMPLEMENTACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL

A continuación se describen las actividades realizadas en la implementación del tablero de control en el siguiente diagrama de flujo:

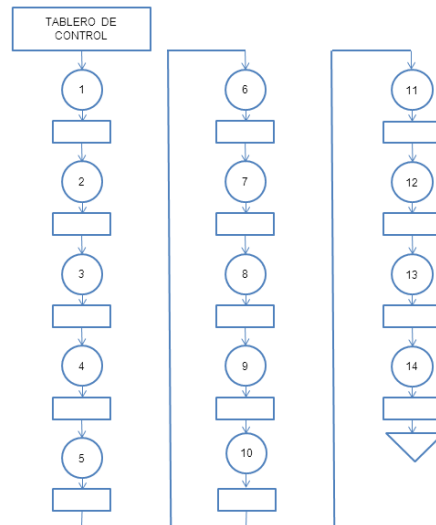


Figura 49 Diagrama de flujo del ensamble del tablero de control

Fuente: Autor

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO DE LA MÁQUINA

En la siguiente tabla se muestra la implementación de los elementos que componen el sistema neumático de la máquina con su respectivo código.

Código	Actividad
1	Colocación electroválvula
2	Colocación generador de vacío
3	Colocación de la unidad de mantenimiento
4	Colocación de racores y silenciadores
5	Conexión electroválvula
6	Conexiones de mangueras hacia los elementos neumáticos
7	Conexión compresor
8	Etiquetado de cables y mangueras

Tabla 27 Actividades de implementación del sistema neumático

Fuente: Autor

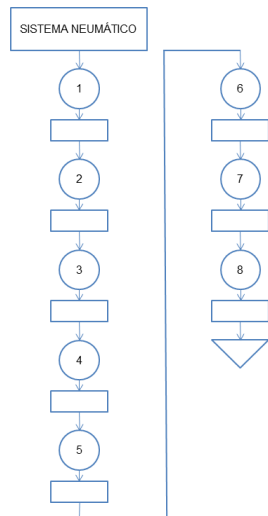


Figura 50 Diagrama de flujo de la implementación del sistema neumático
Fuente: Autor

PRUEBAS Y RESULTADOS

PRUEBAS DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA DE LA MÁQUINA

Con respecto a las fallas de la estructura mecánica de la máquina se encuentran:

- Rozamiento de la banda transportadora con la estructura.
- Desalineamiento de los rodillos de la banda transportadora.
- Desnivel de la máquina para el proceso de producción de plántulas.
- Tornillos flojos por la vibración
- Suciedad en las boquillas de succión

PRUEBAS DE SEMBRADO

En las pruebas de sembrado se tomaron en cuenta varios parámetros o características principales de funcionamiento, estas características principales son las siguientes:

- Funcionamiento del servomotor
- Desplazamiento de la banda transportadora
- Absorción de las semillas
- Sembrado de la semilla

FUNCIONAMIENTO DEL SERVOMOTOR

Velocidad [rpm]	Detección de sensores
1	SI
2	SI
3	SI
4	SI
5	SI
6	NO
7	NO
8	NO
9	NO

Tabla 28 Pruebas de velocidad del servomotor
Fuente: Autor

De acuerdo a las pruebas de la tabla anterior se obtuvo una velocidad adecuada en función de la detección de los sensores finales de carrera dando una velocidad de 5 [rpm], se tomó en cuenta que todas las filas de la bandeja fueran detectadas.

DESPLAZAMIENTO DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Para el movimiento de la banda transportadora es muy necesario revisar la nivelación ya que si no está nivelado la banda puede descuadrarse haciendo chocar con las paredes de la estructura además haciéndole fuerza al servomotor, la banda transportadora debe estirarse no máximo 7 [cm] porque puede romperse y ocasionar algún daño a las personas.

ABSORCIÓN DE LAS SEMILLAS

En la tabla 29 se muestra las pruebas de regulación de caudal de vacío para que la máquina sembradora pueda absorber solo una

semilla, según los resultados de las pruebas la regulación de caudal para absorber una semilla es del 50% dando un vacío de -0.4 [bar].

Regulación	Presión	Vacío	Semillas Absorbidas
0%	7	0	0
25%	7	-0.2	0
50%	7	-0.4	1
75%	7	-0.6	3
100%	7	-0.8	4

Tabla 29. Pruebas de regulación de caudal de vacío
Fuente: Autor

SEMBRADO DE LA SEMILLA

En la siguiente figura se muestra la producción de plántulas del sembrado manual y automático, el resultado que se obtiene del sembrado automático es 48%, mayor que el sembrado manual, además se redujo el número de operarios a un 50%. La máquina automática utiliza un máximo de dos operarios para su funcionamiento.

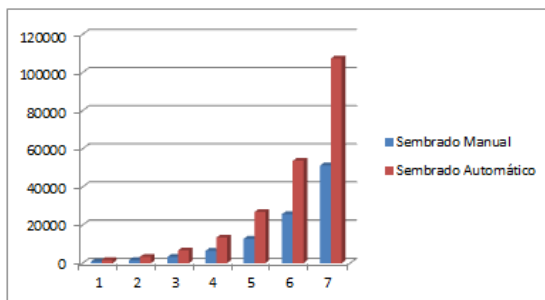


Figura 51 Producción de plántulas con un sembrado manual y automático
Fuente: Autor

En la siguiente figura se muestra los tiempos del sembrado manual y automático, el resultado que se obtiene del sembrado automático es 48%, mejor que el sembrado manual, además se redujo el número de operarios a un 50%.

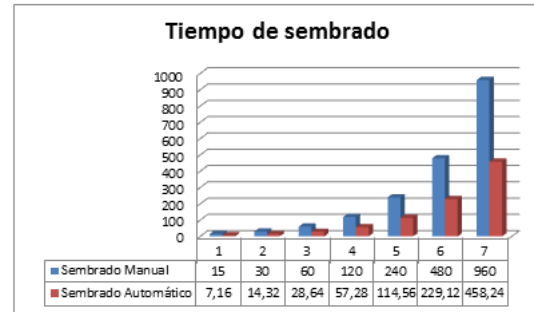


Figura 52 Producción de plántulas con un sembrado manual y automático
Fuente: Autor

La máquina sembradora se la protegió con acrílico (figura 53) para evitar la suciedad del ambiente y otros factores que afecten el buen desempeño del mismo.

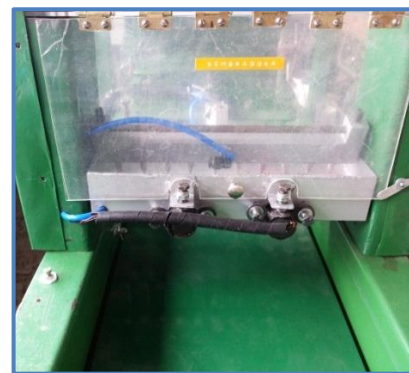


Figura 53 Protección de acrílico de la máquina sembradora
Fuente: Autor

En la siguiente figura se muestra la bandeja sembrada de semillas, en algunos agujeros de la bandeja existe más de una semilla debido a diferentes factores como son: las semillas se encuentran pegadas, las boquillas absorbieron en forma transversal a las semillas, mala distribución por parte del vibrador hacia las semillas, además en algunos agujeros no se sembraron debido a las posibles causas siguientes: se tapó la boquilla de succión por alguna suciedad, no hubo suficientes semillas.

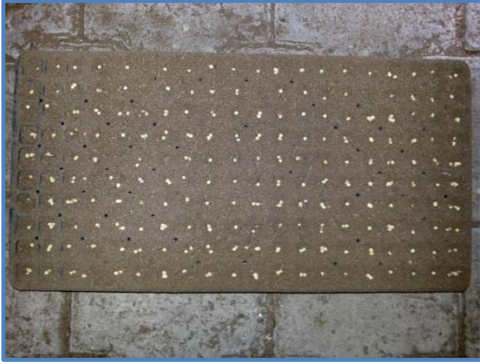


Figura 54 Prueba de sembrado
Fuente: Autor

Con la ayuda de la aplicación de celular Smart Tools se pudo saber el nivel de ruido que produce la máquina sembradora dando un resultado de 84 dB, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el oído humano puede tolerar 55 decibeles sin ningún daño a su salud, ruidos mayores a 60 decibeles pueden provocar malestares físicos, por ello es recomendable la utilización de orejeras.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Con el funcionamiento de la máquina automática sembradora de semillas de tomate y pimiento se logró incrementar la producción en un 48% según lo establecido en las pruebas de funcionamiento por tal motivo se cumplió con el objetivo de producir más plántulas con la máquina automática.
- La implementación de la máquina sembradora de semillas permite reducir el costo de producción en la mano de obra de 4 trabajadoras que manualmente sembraban 3200 pilones por hora; con la máquina automática se necesita dos personas y se producen 6704 pilones por hora según las pruebas de funcionamiento realizadas.
- El tiempo de producción de plántulas con la máquina sembradora automática mejoró notablemente en un 48% más

que el sembrado manual según las pruebas de funcionamiento.

- El servomotor seleccionado generaba cortas aceleraciones de la banda transportadora durante su funcionamiento lo cual ocasionaba problemas al momento del sembrado ya que la velocidad a la que se desplazaban las bandejas se alteraba continuamente a demás al momento de detener la banda transportadora para sembrar ocasionaba una inercia que hacía que la banda retroceda entre 5 y 10 [mm] , lo cual también era un problema para el sembrado de las bandejas por tal motivo se mecanizó un trinquete que asegurara que el motor no retroceda y continúe movilizándose correctamente.
- De acuerdo a las pruebas de funcionamiento de la máquina realizadas se estableció que el caudal de vacío para absorber las semillas sea de -0.4 [bar] para que las puntas de succión absorban solo una semilla; al incrementar ese valor las puntas de succión absorben hasta tres semillas y al reducir ese valor las puntas de succión no mantienen la succión de las semillas y las dejan caer fácilmente.
- De acuerdo a las pruebas de funcionamiento de la máquina realizadas se determinó que la altura óptima de succión de semillas es de 4 [mm] con esta altura el vacío generado en las puntas de succión permiten alcanzar las semillas que se encuentran en la bandeja.
- De acuerdo a las pruebas de funcionamiento de la máquina realizadas se determinó que la máquina automática tiene un 96% de eficiencia en el sembrado de las semillas en las bandejas.

RECOMENDACIONES

- Se debería implementar un sistema automático de dosificación de semillas para el proceso de sembrado.
- Se puede implementar un sistema SCADA para supervisar y controlar la producción de plántulas, además tener un historial de producción y fallos así mejorando la productividad.
- Se debería implementar un proceso automático de tapado de la semilla.
- Se puede implementar un proceso automático de riego.
- Se recomienda nivelar la máquina antes de ser instalada.
- Se recomienda antes de utilizar la máquina se debe limpiar la base de semillas de cualquier suciedad ya que las puntas de succión se pueden tapan.
- Se recomienda antes de utilizar la máquina se debe verificar la presión de funcionamiento que es de 7 bares.
- Se recomienda antes de utilizar la máquina se debe verificar que las conexiones eléctricas y neumáticas no estén desconectadas.
- Se recomienda usar orejeras ya que la máquina produce un ruido de 84 dB que es perjudicial para la salud.

BIBLIOGRAFÍA

aliexpress. (2014). Recuperado el 20 de Julio de 2014, de <http://es.aliexpress.com/item/12-24V-385-Eccentric-Wheel-Motor-DC-Vibration-Motor-for-Home-Appliances->

Electric-Tools-Massage-Free/612405757.html

CAMOZZI. (31 de 07 de 2008). CAMOZZI. Recuperado el 15 de 10 de 2014, de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=15&ved=0CEAQFjAEOAo&url=http%3A%2F%2Fwww.esperia.es%2Fmodulos%2FusuariosFtp%2Fconexion%2Farchi363A.pdf&ei=4mw-VN3oOJDLSASs64G4CA&usq=AFQjCNFqrof6739kjzhjioFm8c9kcOeYgg&bvm=bv.77412846,d.cWc&>

Current-Logic. (2008). Recuperado el 14 de Octubre de 2014, de http://www.current-logic.com/dcdc_converter_car.php

DIPAC. (2014). *DIPAC Manta*. Recuperado el 3 de Mayo de 2014, de http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo_perfiles.pdf

FESTO. (06 de 2014). *FESTO*. Recuperado el 14 de Octubre de 2014, de http://www.festo.com/cat/es-mx_mx/data/doc_es/PDF/ES/VAD-VAK_ES.PDF

NTN. (2009). *NTN Mexico*. Recuperado el 3 de Mayo de 2014, de http://www.ntnmexico.com/catalogo/catalogos/cat4_2202-VII-S_CAT_Rodam_Bolas_y_Rodillos-esp.pdf

SCHMALZ. (2014). *SCHMALZ*. Recuperado el 3 de Mayo de 2014, de http://es.schmalz.com/data/kataloge/01_VT/es/01_Catalogo-Componentes_ES.pdf

Servocity. (2014). Recuperado el 20 de Julio de 2014, de http://www.servocity.com/html/hs-485hb_servo.html#.VDymEGd5OdE

SNS PNEUMATIC. (2008). *SNS PNEUMATIC*. Recuperado el 3 de Mayo de 2014, de <http://www.s-n-s.com/eng/products.asp>

REFERENCIA DEL AUTOR



CARLOS ANDRÉS ACOSTA JARAMILLO

Nacido el 2 de Junio de 1992 en la ciudad de Ibarra-Ecuador

Estudió en la Academia Militar “San Diego” siendo bachiller en la especialidad de Físico- Matemático.

En la Universidad Técnica del Norte realizó los estudios universitarios obteniendo el título de Ingeniero Mecatrónico.

Áreas de interés: Robótica, Automatización Industrial, Mecánica, Electrónica, entre otras.

(carlos92acost@hotmail.com)