



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

“Diseño de una herramienta electroneumática para la siembra automatizada de semillas de pequeñas dimensiones en bandejas de germinación”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Galvez Chirinos, Carlos Jose (orcid.org/0000-0003-1032-1230)

ASESOR:

PhD. Prado Gardini, Sixto Ricardo (orcid.org/0000-0002-9135-2663)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2023

DEDICATORIA

“A mis padres, por su amor incondicional, apoyo y paciencia a lo largo de mi carrera académica. A mis profesores, por su guía y enseñanzas valiosas que me han ayudado a crecer como persona y como profesional. Y a mí mismo, por nunca rendirme y perseverar en todos mis objetivos. ¡Gracias a todos por ser mi fuente de inspiración y motivación en este logro tan importante!”

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi familia por su amor incondicional, paciencia y apoyo constante a lo largo de mi carrera académica. Sin su aliento y motivación, este logro no hubiera sido posible. ¡Gracias a todos por ser parte de este viaje y por hacer que esta tesis sea una realidad!".

Al Laboratorio de Investigación Multidisciplinaria (LABINM) de la línea de Automatización y Robótica de la Universidad Privada Antenor Orrego. Y especialmente al Dr. Ing. Sixto Ricardo Prado Gardini, Investigador principal del LABINM, por su guía para el desarrollo de este trabajo.

Quiero expresar mi más sincero reconocimiento al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Concytec) y a su valioso programa ejecutor, Prociencia, por el generoso apoyo financiero otorgado para llevar a cabo el desarrollo de esta tesis. Es un honor haber sido beneficiado por el Proyecto 79170-2020-PROCIENCIA, el cual ha sido una pieza fundamental en el impulso de esta investigación.

Financiado por:





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, PRADO GARDINI SIXTO RICARDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Diseño de una herramienta electroneumática para la siembra automatizada de semillas de pequeñas dimensiones en bandejas de germinación", cuyo autor es GALVEZ CHIRINOS CARLOS JOSE, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 9.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 10 de Julio del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
PRADO GARDINI SIXTO RICARDO DNI: 18099692 ORCID: 0000-0002-9135-2663	Firmado electrónicamente por: PGARDINI el 03-08- 2023 10:20:35

Código documento Trilce: TRI - 0583489





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, GALVEZ CHIRINOS CARLOS JOSE estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Diseño de una herramienta electroneumática para la siembra automatizada de semillas de pequeñas dimensiones en bandejas de germinación", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
GALVEZ CHIRINOS CARLOS JOSE DNI: 70832451 ORCID: 0000-0003-1032-1230	Firmado electrónicamente por: CGALVEZCH el 03-08- 2023 10:41:02

Código documento Trilce: INV - 1292859

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR.....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Tipo y diseño de investigación	14
3.2. Variable y operacionalización.....	14
3.3. Población y muestra.....	15
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	15
3.5. Procedimientos	16
3.6. Métodos de análisis de datos	19
3.7. Aspectos éticos:	19
IV. RESULTADOS	20
4.1. Análisis del proceso de sembrado de semillas de apio	20
4.2. Semilla de apio	28
4.3. Bandeja de germinación.....	30
4.4. Alternativas de diseño de la herramienta	30
4.5. Diseño de la porta boquillas	34
4.6. Diseño de las boquillas de succión	43
4.7. Diseño de la bandeja porta semillas.....	52

4.8. Masa de la semilla de Apio	58
4.9. Diseño de acople.	60
4.10. Selección de equipos neumáticos.	67
4.11. Diagrama de conexión neumática:	72
4.12. Diagrama de conexión eléctrica	72
4.13. Diagrama de control.....	73
4.14. Modelación y simulación	77
V. DISCUSIÓN	81
VI. CONCLUSIONES.....	83
VII. RECOMENDACIONES	84
REFERENCIAS	85
ANEXOS.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rango de tamaños de semillas hortalizas	6
<i>Tabla 2. Datos tomados en el proceso de siembra</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 3. Datos de bandeja de germinación</i>	<i>30</i>
Tabla 4. Comparación de alternativas	34
Tabla 5. Características del soporte de las boquillas.....	35
Tabla 6. Características de las boquillas	43
Tabla 7. Características de la bandeja porta semillas	54
Tabla 8. Características de los acoples de la herramienta de sembrado	61

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Fig. 1 Bandeja de germinación 512 agujeros	5
Fig. 2 Sistema de control en lazo abierto.	7
Fig. 3 Sistema de control en lazo cerrado	8
Fig. 4 Compresor	9
Fig. 5 Generador de vacío.....	10
Fig. 6 Regulador de presión	10
Fig. 7 Electroválvula.....	11
Fig. 8 Norma ISO 9409-1:2004	12
Fig. 9 Proceso del diseño mecánico conceptual.....	13
Fig. 10 Diagrama de flujo	18
Fig. 11 Bolsa de semilla de apio.....	20
Fig. 12 Bandejas de germinación	21
Fig. 13 Almacén de bandejas de germinación Fuente: Propia.....	21
Fig. 14 Corte de bolsa, vaciado y mezclado de sustrato	22
Fig. 15 Mazado de sustrato.....	22
Fig. 16 Llenado de sustrato en bandeja de germinación	23
Fig. 17 Punzador de sustrato	24
Fig. 18 Sembrado de semillas de apio	24
Fig. 19 Tapado de semillas en bandejas de germinación	25
Fig. 20 Uso de pinzas para retiro de semillas.....	26
Fig. 21 Toma de medidas con Pie de rey	28
Fig. 22 Semilla de Apio en Microscopio Digital.....	29
Fig. 23 Modelado de semilla de Apio	29
Fig. 24 Dimensionamiento de la bandeja de 512 orificios.....	31
Fig. 25 Alternativa 1: Sembrado cono por cono.....	31
Fig. 26 Alternativa 2: Sembrar en grupos de 4 x 4 cavidades.....	32
Fig. 27 Alternativa 3: Sembrar en grupo de fila	33
Fig. 28 Dimensionamiento de la bandeja de 512 orificios.....	35
<i>Fig. 29 Vista frontal del distribuidor</i>	<i>35</i>
<i>Fig. 30 Vista inferior del distribuidor</i>	<i>36</i>
Fig. 31 Vista lateral derecha del distribuidor.....	36

Fig. 32 Vista lateral Izquierda del distribuidor	36
Fig. 33 Vista superior del distribuidor	37
Fig. 34 Área 1 del distribuidor	37
Fig. 35 Corte de vista frontal	39
Fig. 36 Boquilla de succión de semillas.....	43
Fig. 37 Dimensionamiento de Boquilla de succión de semillas.....	44
<i>Fig. 38 Áreas de la boquilla de succión.....</i>	<i>44</i>
Fig. 39 Vista frontal de la boquilla de succión de semillas	47
Fig. 40 Vista frontal de las áreas de las boquillas.....	48
Fig. 41 Vista frontal de la herramienta.....	52
Fig. 42 Vista lateral derecha de la herramienta	53
Fig. 43 Posiciones de la herramienta en la porta semillas	53
Fig. 44 Vista frontal de la bandeja porta semillas	54
Fig. 45 Vista lateral derecha de la bandeja porta semillas.....	54
Fig. 46 Tamaño de la semilla de Apio	58
Fig. 47 Dimensiones del plato circular del robot	60
Fig. 48 Dimensiones del del acople.....	61
Fig. 49 Tipo de juntas de soldadura TIG	64
Fig. 50 Calculo de la cantidad de electrodos en Kg.....	65
Fig. 51 Vista superior de la herramienta de sembrado.	66
Fig. 52 Electroválvulas 2/2 vías.....	71
Fig. 53 Diagrama de conexión neumática	72
Fig. 54 Diagrama de conexión eléctrica	73
Fig. 55 Diagrama de control.....	74
Fig. 56 Diagrama de control para relleno de semillas.....	76
Fig. 57 Modelado de herramienta en 3D	77
Fig. 58 Análisis de velocidad.....	78
Fig. 59 Análisis de presión	78
Fig. 60 Análisis de boquilla.....	79
Fig. 61 Análisis de volumen	80
Fig. 62 Análisis de Von Mises	80

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño de una herramienta electroneumática para el sembrado automático de semillas de pequeñas dimensiones (apio). El diseño de la herramienta asegura coger las semillas, mediante succión, desde un depósito de semillas, luego los traslada establemente hacia una bandeja de germinación (la que ya tiene sus 512 conos llenos de sustrato) e inserta cada semilla cogida en un correspondiente cono (una semilla por cono) de dicha bandeja, manteniendo un orden establecido y una profundidad de inserción (semilla-cono) determinada por los especialistas de vivero industrial.

Primero se analiza el proceso actual manual y todos los elementos que intervienen en el (bandejas de 512 conos, semillas, dimensiones, técnicas manuales) a fin de obtener los criterios fundamentales del diseño de la herramienta electroneumática de sembrado, la que integra un conjunto de pequeñas boquillas que mediante presión negativa succiona (coge) las semillas. Cabe mencionar que las bandejas de germinación de 512 conos son las más usadas en los viveros industriales para sembrado de pequeñas semillas. Segundo, se selecciona y dimensiona las boquillas, la distancia entre estas y el sistema actuador que a través de las boquillas aplicara presión negativa a fin de coger a las semillas quedando estas sujetas (una semilla por cada boquilla). Finalmente se realiza la validación en simulación de la versión propuesta mostrando diferentes resultados.

Palabras clave: Bandejas germinadora, herramienta electroneumática, siembra automatizada.

ABSTRACT

In this work, the design of an electroneumatic tool for the automatic sowing of small-sized seeds (celery) is presented. The tool's design ensures the picking of seeds, through suction, from a seed reservoir, then it transports them reliably to a germination tray (which already contains 512 cones filled with substrate) and inserts each picked seed into a corresponding cone (one seed per cone) of said tray, maintaining an established order and an insertion depth (seed-cone) determined by industrial nursery specialists.

First, the current manual process and all the elements involved in it (512-cone trays, seeds, dimensions, manual techniques) are analyzed in order to obtain the fundamental criteria for the design of the electroneumatic sowing tool, which incorporates a set of small nozzles that, through negative pressure, suction (pick up) the seeds. It should be mentioned that 512-cone germination trays are the most commonly used in industrial nurseries for sowing small seeds. Second, the nozzles are selected and sized, as well as the distance between them and the actuator system that, through the nozzles, applies negative pressure to pick up the seeds, holding them in place (one seed per nozzle). Finally, the proposed version is validated through simulation, showing different results.

Keywords: Germinator trays, electropneumatic tool, automated sowing.

I. INTRODUCCIÓN

La industria de procesamiento de productos agrícolas es la actividad central de la economía de todos los países, especialmente en países en desarrollo como Perú, que ha mantenido un crecimiento estable y de alta velocidad en los últimos años¹. Para lograr esta dinámica positiva, son de vital importancia los viveros industriales que operan en las etapas iniciales del ciclo de trabajo de las empresas agroindustriales, proporcionándoles la cantidad y calidad de plántulas o plantines, garantizando el cumplimiento de la producción con la demanda del mercado. En este trabajo nos centramos en los viveros industriales de la región La Libertad-Perú, al ser una región de gran actividad agroindustrial².

Una de las principales etapas de trabajo en el vivero industrial es la siembra de semillas de diferentes tamaños en bandejas germinadoras estandarizadas. En general, en el Perú, la siembra de semillas se basa en el uso de recursos humanos especializados, y cuando este recurso humano no está disponible en las cantidades requeridas para la producción, surgen problemas, creando cuellos de botella. y en muchos casos rechazos de pedidos de los clientes por falta de capacidad para cumplir con la producción requerida³.

Lograr que un operario inexperto se convierta en experto, en promedio requiere de dos meses de trabajo continuo, sin embargo, hay una muy alta deserción del recurso humano en formación aproximadamente el 90% del personal en formación no logra el nivel experto debido a que abandona el trabajo en muchos casos por la frustración de no alcanzar la meta diaria de producción. Por ejemplo, en la siembra de semillas de pequeño tamaño un operario experto siembra al día (jornada de 8 horas) 30 millares si se considera bandejas de 512 conos entonces aproximadamente son 60 bandejas (una semilla por cono) un operario inexperto empieza sembrando 3 o 2 millares al día, progresivamente va mejorando, pero la realidad indica que la gran mayoría abandona el trabajo antes de lograr el nivel experto.

Una de las principales dificultades que debe superar un operario es insertar una semilla por cono (agujero) de la bandeja germinadora, si es inexperto y la semilla es muy pequeña, por ejemplo, de apio o lechuga, normalmente inserta 3, 4 hasta 5

semillas por cono, el corregir este error consume un tiempo que al acumularse durante la jornada se vuelve bastante representativo. Un efecto negativo de que vayan más de dos semillas por cono es que los plantines crecen con mala calidad y no son aceptados por las empresas agroindustriales.

Una solución al problema de no disponer del suficiente personal especializado para el sembrado de semillas, es mediante el uso de tecnología especializada en aplicaciones agroindustriales⁴. A nivel nacional, no se ha encontrado trabajos de desarrollo tecnológico con validación en entornos reales que permitan suplir la ausencia de personal calificado para la actividad previamente mencionada. Existen diversos trabajos que diseñan interesantes propuestas tecnológicas pero su validación no pasa del entorno simulado mediante algún CAD-CAM o prototipos físicos validados en entornos de laboratorio muy distante del entorno real al que se desea aplicar⁵

En este contexto, en el LABINM-Robótica (UPAO) se desarrolla el proyecto 79170-2022-PROCIENCIA con título "Desarrollo e Implementación de una Máquina Automatizada Multifuncional para la Siembra de Semillas de Diferentes Tamaños en bandejas multicelda y Repique de Plantines según calidad de Crecimiento", el que es financiado por Concytec-Prociencia, aquí se requiere diseñar e implementar herramientas mecánicas acoplables a brazos robóticos para realizar funciones de sembrado de pequeñas semillas y repique de plantines, todo ello sobre bandejas de germinación.

Específicamente en esta Tesis se presenta el diseño de un dispositivo electroneumático sembrador de semillas de apio (una de las semillas que más dificultad presenta para su sembrado debido a su reducido tamaño) en bandejas de germinación de 512 conos. Además de la acción misma del sembrado automático se debe asegurar el acople y desacople con un brazo robótico de 6 grados de libertad.

Por lo descrito previamente, esta investigación tiene como **objetivo general** diseñar una herramienta electroneumática para la siembra automatizada de semillas de pequeñas dimensiones en bandejas de germinación. Y para alcanzar esta meta general se definen los siguientes **objetivos específicos**: 1) Caracterizar

la semilla de apio para obtener criterios de diseño y necesidades funcionales de la herramienta; 2) diseñar el sistema mecánico y electroneumático de la herramienta para obtener una succión segura de las semillas; 3) desarrollar el sistema de control y la lógica de trabajo para el sembrado de bandejas germinadoras; 4) Validar el diseño de la herramienta sembradora en virtual utilizando modelos CAD de un brazo robot (al que se le acoplara la herramienta) y bandejas germinadoras.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

A continuación, se presentan los trabajos de investigación considerados como antecedentes en la presente tesis.

Acosta (2014) en su tesis de pregrado “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”, Se menciona que la implementación de la sembradora inició con el diseño y dimensionamiento de los elementos mecánicos y de control como sensores y actuadores, siendo el principal objetivo de desarrollo la siembra automática de semillas de tomate y pimiento en charolas de 200 celdas. La eficiencia de siembra de la siembra automática es del 48%, superior a la de la siembra manual, y el número de operarios se reduce al 50%.⁶.

Loayza (2018) en su tesis de pregrado “Diseño e implementación de una línea semiautomática sembradora de semillas para el proceso de germinación de plántulas”. Diseña y fabrica una sembradora de presión donde selecciona componentes mecánicos, neumáticos y de control. Esta tesis se enfoca en la semilla de brócoli, las semillas son succionadas con un cilindro perforado y transportadas a la bandeja. La succión de semillas es generada por un generador de vacío¹⁹.

Lixin (2010) en su artículo de investigación “Application of Programmable Controller in Precision Seeder” Afirman que el uso de un controlador lógico programable (PLC) eleva el nivel de control automático de la sembradora de precisión. La investigación del equipo incluyó las pruebas de varios elementos de la siembra de precisión, incluido el tipo de vibración, succión, mecanismo y presión. Usando un controlador

programable de la serie F1 de Mitsubishi Co Ltd., se produce un gráfico trapezoidal. La capacidad del controlador programable para llevar a cabo la función de control deseada se demostró mediante el desarrollo de una estrategia novedosa⁷.

De Anda López (2018) en su tesis de maestría “Modelación y simulación de sistema dosificador de semillas para sembradora automática de charolas de germinación” modela una semilla como un cuerpo sólido y rígido y lo somete a distintas velocidades de aire (en una posición que ofrece la menor resistencia). Realiza diferentes simulaciones iterativas mediante un software de dinámica de fluidos obteniendo un modelo de succión de la semilla⁸.

Xu et al. (2023) se realizó un estudio sobre “Design and optimisation of seed-metering plate of air-suction vegetable seed-metering device based on DEM-CFD”, investigaron el problema de la siembra incorrecta en dispositivos de dosificación de semillas de succión de aire. Se optimizó un dispositivo y se utilizó un mecanismo de soporte de semillas auxiliar. Se realizaron pruebas a nivel micro para examinar la dosificación de semillas y se definieron índices de evaluación de rendimiento. Se empleó un modelo que combina elementos discretos y dinámica de fluidos para simular el proceso de trabajo del dispositivo. A nivel macro, se definieron índices de rendimiento y se realizaron experimentos para optimizar la placa dosificadora. Los resultados mostraron una mejora en la tasa de siembra con la placa optimizada en comparación con la placa original⁹.

2.2. Bases teóricas

A. Siembra de precisión en bandejas de germinación.

La siembra de precisión, también conocida como siembra mono gramo, se refiere al proceso de colocar una sola semilla en cada cono de una bandeja de germinación, que previamente ha sido llenada con sustrato¹⁰. Y consta de los siguientes elementos:

Sustrato. El sustrato es el entorno en el cual la semilla de la planta de hortaliza crecerá desde su etapa inicial de germinación hasta que desarrolle raíces. Desempeña un papel fundamental en el proceso de siembra, ya que su función principal es mantener las condiciones ideales para el crecimiento

de la semilla. Estas condiciones incluyen la densidad, la humedad, la porosidad y la salinidad¹¹.

Bandejas de germinación. Es un recipiente colectivo diseñado para albergar plántulas y permitir su cultivo durante las primeras etapas vegetativas. Estas bandejas o contenedores se utilizan principalmente para el cultivo de plantas delicadas. Su uso tiene varias ventajas, como facilitar la organización de otras tareas relacionadas con el cultivo y optimizar el espacio disponible en el invernadero para una mayor eficiencia¹².

Dependiendo del tipo de cosecha, el tamaño de la tarima y el material de construcción pueden variar. Este proyecto utiliza una bandeja de espuma de poliestireno como se muestra en la Figura 1. 1 es el más utilizado en viveros; la bandeja consta de 512 cavidades (32x16) con las siguientes dimensiones: largo 530 mm, ancho 262 mm. Los conos tienen una geometría cuadrada que mide 13,35 x 13,35 mm y se extienden hasta una profundidad de 27 mm, estrechándose desde la pared hasta alcanzar un cuadrado de 10 x 10 mm.



Fig. 1 Bandeja de germinación 512 agujeros

Fuente: Propia

Semillas. Una semilla es una estructura viva de una planta que se utiliza para la siembra o propagación. Para asegurar la calidad de la producción,

las semillas deben cumplir con ciertas características esenciales. En primer lugar, deben tener una alta capacidad de germinación, es decir, la habilidad para desarrollar una planta viable¹³. Además, es importante que las semillas tengan un tamaño adecuado y uniforme, lo que facilita su manejo y siembra. Asimismo, es fundamental que estén libres de enfermedades y otros residuos que puedan afectar su salud y desarrollo.

Tabla 1. Rango de tamaños de semillas hortalizas

Tamaño de Semilla	Rango de tamaño de semilla (mm)	Hortalizas
Pequeñas	Menos de 1 mm - 3 mm	Lechuga, Tomate, Zanahoria, Pimiento, Espinaca, Apio
Medianas	3 mm - 6 mm	Berenjena, Calabacín, Pepino, Cebolla, Remolacha
Grandes	Más de 6 mm	Calabaza, Sandía, Melón

Proceso de siembra. Puede ser manual o automatizada y en ambos casos se cumplen los siguientes seis pasos consecutivos: 1) cargado de sustrato; 2) punzonado; 3) colocación de las semillas y 4) recubrimiento con sustrato

La Siembra manual utiliza el 100% del recurso humano, se deposita con mayor precisión una semilla por cavidad, siempre y cuando esta semilla este considerado como semilla mediana o grande o en su defecto este paletizada¹⁴. En semillas pequeñas (apio, lechuga) en general, el recurso humano pierde su eficiencia haciendo que los viveros pequeños y medianos disminuyan su productividad.

Por otro lado, la siembra automatizada permite tener un tren continuo de los 4 pasos mencionados previamente con una intervención muy limitada del recurso humano. Sin embargo tiene la misma desventaja que la siembra manual con respecto a las semillas pequeñas.

B. Sistemas de control automático.

Para un proceso industrial, el control se refiere a establecer ciertas variables del proceso (llamadas variables de control) a un valor fijo, en o a un nivel fijo en relación con un cierto valor, por medio de un algoritmo de control. (también conocidas como colecciones). Esto se logra cambiando las variables de entrada (llamadas variables manipuladas) cuando sea necesario¹⁵. Se divide en dos tipos.

Control en lazo abierto: En un controlador, las señales de entrada se envían al controlador, que controla y genera salidas que controlan el sistema operativo (Fig. 2). En casos simples, el controlador puede incluir amplificadores, enlaces mecánicos, filtros u otras unidades de control. En casos avanzados, el controlador puede ser una computadora o una tarjeta electrónica¹⁶. Debido a su simplicidad y bajo costo, el software de código abierto se puede usar para muchas aplicaciones.



Fig. 2 Sistema de control en lazo abierto.

Fuente: propia

Control en lazo cerrado: En este punto, se realiza una realimentación de la señal controlada para compararla con la señal de entrada o de referencia (Fig. 3). Como resultado, la señal de salida del controlador es proporcional a la diferencia (error) entre la señal de entrada y la señal realimentada¹⁷.

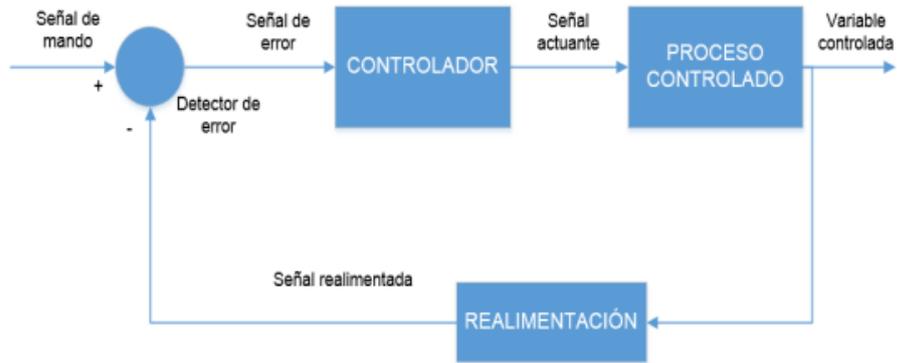


Fig. 3 Sistema de control en lazo cerrado

Fuente: propia

Elementos de control:

Sensor: Un dispositivo que convierte una salida en otra variable¹⁸, como desplazamiento, velocidad o voltaje, que se puede usar para comparar la salida con una señal de referencia.

Actuador: El actuador es responsable de recibir una señal de entrada y convertirla en un movimiento, fuerza o cambio físico correspondiente¹⁹. Puede haber diferentes tipos de actuadores, como motores eléctricos, cilindros neumáticos, servomotores, entre otros, cada uno adaptado para realizar una acción específica en función de la señal recibida.

Controlador: Un dispositivo con una salida variable para controlar un cambio de variable unidireccional²⁰. Un controlador manual ajusta automáticamente su salida en respuesta directa o indirecta a los cambios de dirección.

C. Electroneumática

La electroneumática es una disciplina que combina elementos de la neumática y automatización de sistemas industriales. Se basa en el uso de señales eléctricas para controlar actuadores neumáticos, como cilindros y válvulas, en lugar de utilizar componentes puramente mecánicos²¹. En la investigación el circuito electroneumático se divide en los siguientes componentes importantes:

Compresor: Un compresor de aire es un dispositivo que comprime el aire en el aire y aumenta la presión. Consiste en un motor que impulsa el sistema de aire comprimido y un tanque que almacena el aire comprimido²². Los compresores de aire se utilizan en diversas industrias y aplicaciones, proporcionando un suministro constante de aire comprimido para herramientas y equipos neumáticos. En teoría se pueden abordar diferentes tipos de compresores, sus funciones, aplicaciones, selección y manejo. También se pueden consultar las leyes y normas relacionadas con su uso seguro y adecuado.



Fig. 4 Compresor

Fuente: Moreno 2019

Generador de vacío: La máquina Venturi para aire comprimido es un dispositivo que utiliza la ley de Bernoulli y el principio del efecto Venturi. Al mover el aire comprimido a través de los tubos divisores y separadores, se crea menos aire en el camino hacia el generador²³. Estos se utilizan para recoger y transportar cosas. La máquina es pequeña, fácil de usar y no requiere electricidad, pero es importante considerar el uso de aire comprimido y la potencia para crear el vacío.

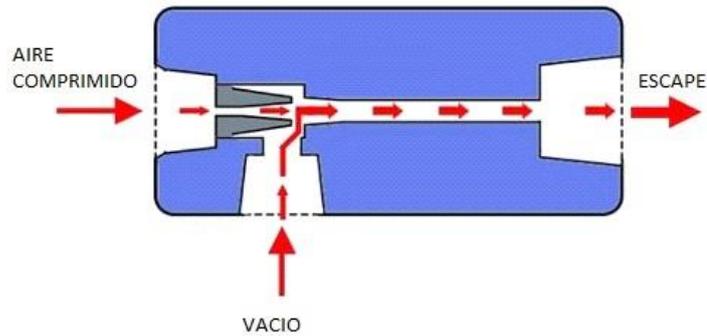


Fig. 5 Generador de vacío

Fuente: Moreno 2019

Regulador de presión: Un regulador de presión de aire comprimido es un dispositivo utilizado para controlar y regular la presión del aire en un sistema neumático industrial. Su propósito es mantener una presión constante y controlada en el área para evitar problemas que puedan dañar los componentes del sistema. Estos controladores están diseñados específicamente para manejar las altas presiones y las condiciones de flujo de aire asociadas con las aplicaciones industriales²⁴. Proporcionan precisión, estabilidad y protección de los componentes, asegurando el correcto funcionamiento y protección de los sistemas neumáticos.

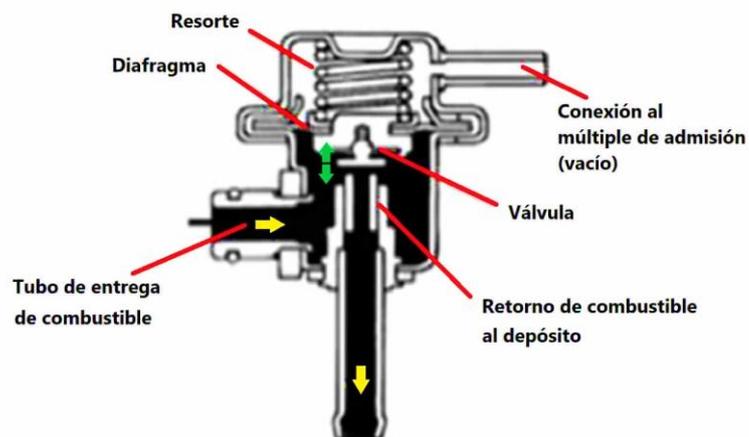


Fig. 6 Regulador de presión

Fuente: Moreno 2019

Electroválvula: Una válvula solenoide neumática es un dispositivo utilizado para controlar el flujo de aire en un sistema neumático²⁵. Se componen de una válvula eléctrica y una válvula neumática controlada por una señal eléctrica. Su función es permitir o bloquear el flujo de aire según la posición y se utiliza en máquinas industriales para controlar cilindros y flujo de aire. Proporcionan una respuesta rápida y precisa, lo que permite un control eficiente de los sistemas neumáticos.

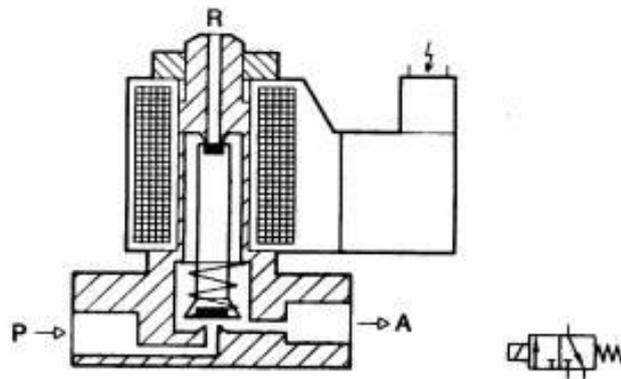


Fig. 7 Electroválvula

Fuente: Moreno 2019

D. Norma ISO 9409-1:2004

Esta norma española establece requisitos y dimensiones para las conexiones mecánicas en los manipuladores de robots. Define parámetros geométricos, carga y resistencia para garantizar la compatibilidad y seguridad de las interfaces²⁶. Esta norma facilita la integración de componentes y herramientas (Efectores finales), asegurando un rendimiento óptimo en aplicaciones industriales.

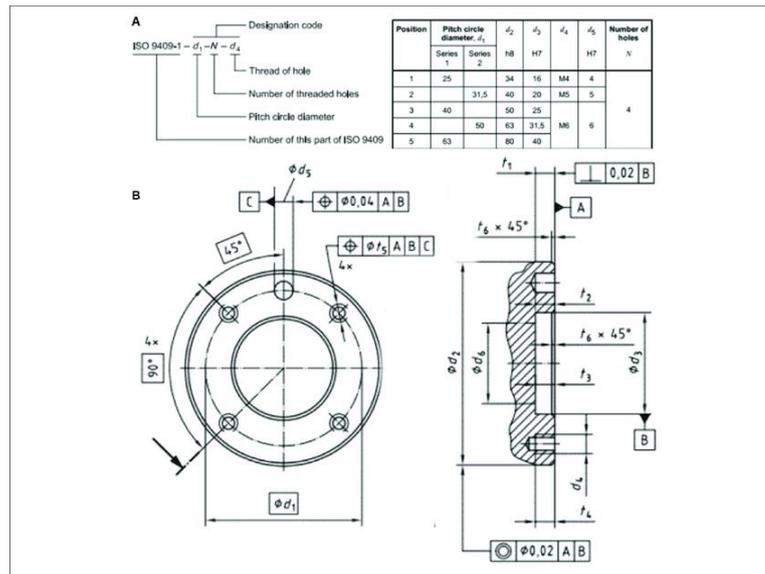


Fig. 8 Norma ISO 9409-1:2004

Fuente: Arribas 2017

E. Metodología de Diseño:

La metodología de diseño es un enfoque sistemático utilizado para resolver problemas de diseño²⁷. Consiste en etapas como la definición del problema, investigación, generación de ideas, evaluación, desarrollo, prototipado, implementación y evaluación continua. Proporciona un marco estructurado para desarrollar soluciones efectivas y fomenta la creatividad y eficiencia en el proceso de diseño.

En cualquier diseño, hay algunos factores que siempre deben tenerse en cuenta porque afectan la configuración general del sistema. Además, algunas de estas propiedades están directamente relacionadas con el tamaño, material, procesamiento y combinación de los elementos del sistema.

Al diseñar un elemento electroneumático, es fundamental conocer las características del material bajo fuerzas, cargas y condiciones ambientales. El desempeño mecánico de dicho material se manifiesta en su capacidad de respuesta y deformación frente a una fuerza o carga aplicada.

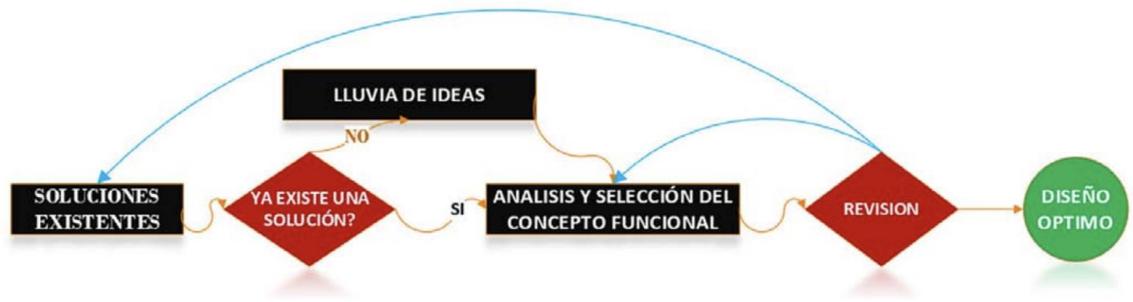


Fig. 9 Proceso del diseño mecánico conceptual

Fuente: Gutiérrez, Arriaga, Lazarini 2019

F. Simulación CFD

La dinámica de fluidos computacional (CFD) es un campo en crecimiento que utiliza métodos numéricos y técnicas computacionales para modelar y analizar flujos de fluidos. Se basa en los principios básicos de la física y utiliza las ecuaciones de conservación de la masa, el impulso y la energía para describir el flujo de un fluido en un dominio determinado⁹. Al discretizar y resolver estas ecuaciones, la CFD proporciona resultados detallados sobre las propiedades de los fluidos, como la velocidad, la presión y la temperatura. Las aplicaciones de CFD abarcan una amplia gama de campos industriales y científicos y permiten el análisis y la optimización de sistemas y componentes, la evaluación del diseño, la predicción del comportamiento del flujo y la visualización de fenómenos complejos. Los avances en la potencia informática y las técnicas algorítmicas y de modelado han ampliado aún más las capacidades de CFD.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación realizada es investigación aplicada con una orientación hacia la aplicación práctica de los resultados obtenidos. Su principal objetivo es proporcionar soluciones concretas y prácticas a problemas reales. Además, la investigación tuvo un alcance explicativo, es decir, buscó comprender las causas y los efectos de fenómenos específicos. Es recomendable analizar en profundidad las variables involucradas y establecer una relación causal clara y coherente. Para lograr esto, el estudio se basará en un diseño puramente experimental. Esto significa que se realizarán pruebas estrictamente controladas con un grupo control y otro experimental para evaluar el efecto de la variable independiente sobre la variable dependiente. Al combinar los tres aspectos de la investigación aplicada, el dominio explicativo y el diseño puramente experimental, se puede esperar que los resultados prácticos y significativos contribuyan al desarrollo y mejora del tema de investigación.

Tipo de investigación: Esta investigación será aplicada porque se utilizará conocimientos existentes de diseño para poder desarrollar la herramienta sembradora implementando técnicas de diseño mecánico eléctrico.

Diseño de investigación: El diseño es experimental pura.

3.2. Variable y operacionalización

Variable independiente:

La herramienta electroneumática (mm).

Variable dependiente:

siembra automatizada de semillas de pequeñas dimensiones en bandejas de germinación.

3.3. Población y muestra

Población: sembradores mecanizados para semillas de pequeñas dimensiones.

Muestra: Sembrador electroneumático para semillas de pequeñas dimensiones

Muestreo: No probabilístico intencionado

Unidad de análisis: Sembrador electroneumático

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Este proyecto de investigación utilizó cuatro técnicas de recolección de datos para obtener la información necesaria para lograr los objetivos de la investigación. Los métodos de adquisición son los siguientes:

Observación

La observación es una técnica útil para el analista durante la investigación e implica pensar en el operador mientras realiza el trabajo. Esta tecnología tiene múltiples propósitos porque puede determinar exactamente qué se hizo, cómo, quién lo hizo, cuándo se hizo, cuánto tiempo se hizo, por qué se hizo y dónde se hizo. Realizaremos unas visitas técnicas al vivero para conocer la actualidad de la empresa y observar el número de trabajadores realizando labores de siembra.

Entrevistas

Esta técnica consiste en realizar una serie de preguntas sencillas que nos permiten conocer un estado de actitud o hechos concretos.

La investigación será realizada por tesistas y estará dirigida a propietarios y trabajadores agrícolas.

Información bibliográfica

Para evaluar adecuadamente el diseño y construcción de la sembradora automática se utilizará tecnologías de información bibliográfica y se obtendrá información sobre el tema de fuentes bibliográficas que tendrán acceso a la información. La información proviene de Internet, libros, leyes y reglamentos, documentos, publicaciones, etc.

Análisis de documentos

Esta técnica es utilizada para alcanzar un estudio de los documentos recopilados (libros, tesis, publicaciones, etc.) Con el fin de obtener información precisa sobre el tema y así evaluar con precisión el diseño y construcción de las sembradoras automáticas.

3.5. Procedimientos

Para llevar a cabo el proyecto, se requiere seguir una serie de pasos clave. En primer lugar, es necesario realizar la recolección de información bibliográfica para fundamentar el desarrollo y tener un sólido respaldo teórico. Además, se realizarán entrevistas a viveros industriales con el fin de obtener información de primera mano sobre las prácticas y experiencias existentes en el campo. Estas entrevistas proporcionarán una visión detallada de los desafíos y oportunidades relacionados con el proyecto. Posteriormente, se procederá a generar configuraciones de diseño tentativas, explorando diferentes opciones y enfoques para abordar el problema planteado. Este proceso implicará evaluar las ventajas y desventajas de cada configuración, teniendo en cuenta factores como la eficiencia, la viabilidad. Una vez generadas las opciones de diseño, se seleccionará la mejor configuración, considerando criterios técnicos, económicos y operativos. Esta elección se basará en una cuidadosa evaluación y comparación de las alternativas disponibles. Luego, se empleará el software SolidWorks para modelar las piezas de acuerdo con la configuración seleccionada. Esta herramienta permitirá crear representaciones digitales precisas de los componentes del proyecto, facilitando la visualización y el análisis del diseño. Simultáneamente, se llevará a cabo un cálculo matemático para

determinar el volumen de la herramienta. Esto garantizará que el diseño cumpla con los requisitos aplicables, asegurando su calidad y funcionalidad. Por último, se procederá a seleccionar los sensores y actuadores eléctricos y neumáticos necesarios para el funcionamiento del proyecto. Esta elección se basará en criterios de precisión, confiabilidad y compatibilidad con el diseño general.

Siguiendo estos pasos (Fig.10), se podrá avanzar de manera efectiva en el desarrollo del proyecto, integrando la información bibliográfica, la perspectiva de los viveros industriales, las configuraciones de diseño, la modelación en SolidWorks, los cálculos matemáticos y la selección de sensores y actuadores.

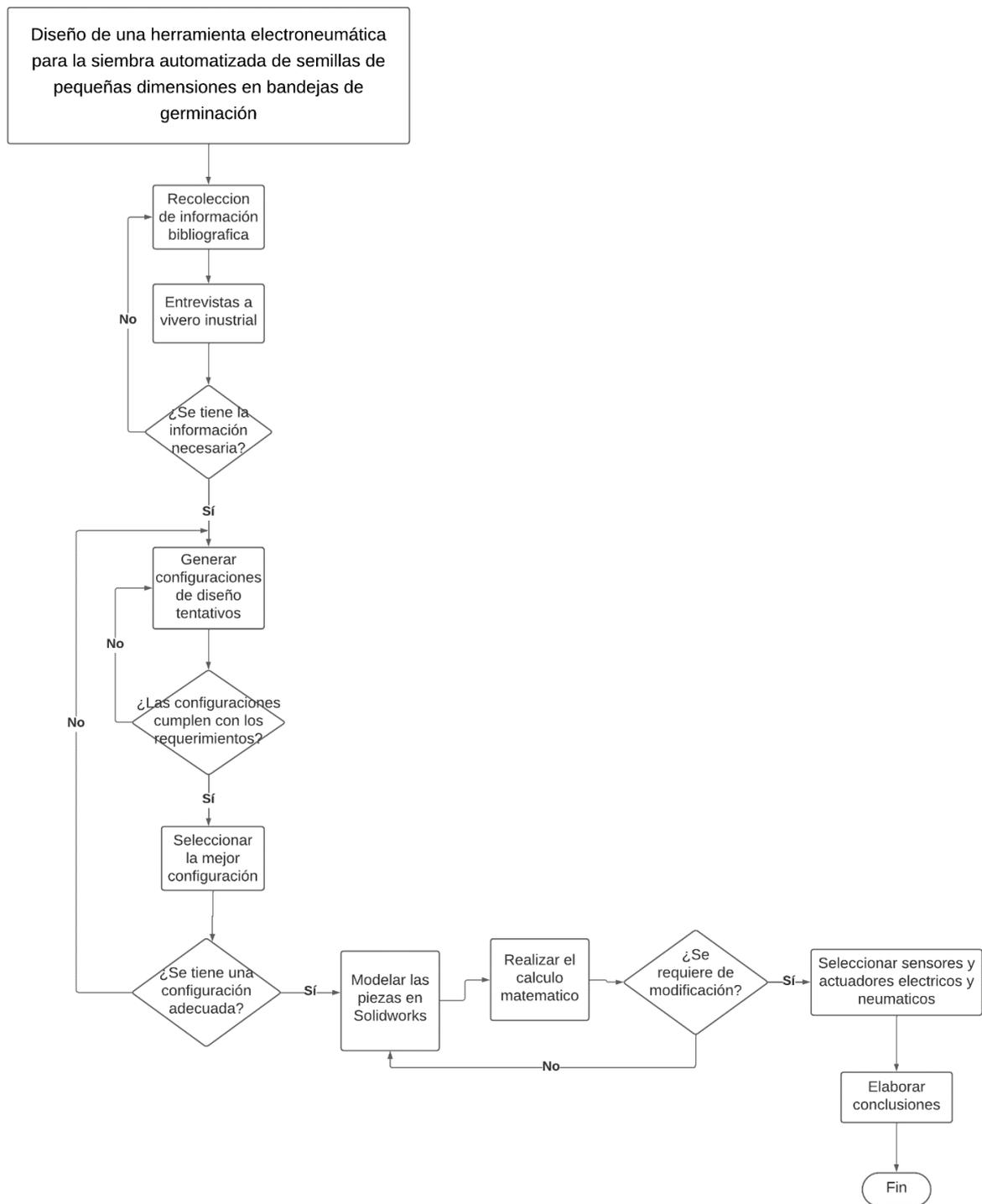


Fig. 10 Diagrama de flujo

Fuente: Propia

3.6. Métodos de análisis de datos

El análisis de datos utilizará los elementos básicos de las estadísticas descriptivas, incluidas las medias aritméticas, las tablas de distribución de frecuencias y otras estadísticas generales.

3.7. Aspectos éticos:

Este estudio se realizó de acuerdo con los principios éticos recomendados para este tipo de investigación, y dado que se trata de un trabajo inédito de los autores, las contribuciones o los datos registrados de otros autores se citarán de manera apropiada cuando estén disponibles.

IV. RESULTADOS

4.1. Análisis del proceso de sembrado de semillas de apio

Para el análisis del proceso de sembrado se realizaron unas primeras visitas a un vivero de la región para poder observar y analizar con exactitud el proceso de sembrado. El análisis y estudio de sembrado de semillas de apio de forma manual se realiza de forma visual, por lo que es necesario proyectar el espacio de trabajo real.

A. Proceso 1. Recepción de semilla

La semilla viene en bolsas de distintas presentaciones de acuerdo a la marca de la empresa encargada de empaquetar las semillas o la variedad de semilla. La bolsa tiene una capacidad de 100g (300 mil semillas aproximadamente) vienen selladas por lo que deben ser abiertas por los mismos operarios de trabajo, una vez abierta la bolsa se hecha desinfectante en polvo el cual tiende a tener color y varía de acuerdo a la marca (pueden ser de color rosado, verde o blanco), esto también sirve para que la semilla se pueda diferenciar del sustrato y tener un mejor control visual de las semillas colocadas en las bandejas de germinación. Las operarias agitan la bolsa para que el desinfectante se adhiera a la semilla. Seguidamente las operarias realizan el vaciado de las semillas en un recipiente de plástico para poder repartirla entre los operarios (Fig. 11).



Fig. 11 Bolsa de semilla de apio

Fuente: Propia

B. Proceso 2. Recepción de bandejas de germinación.

las bandejas de germinación para el sembrado de semillas de apio tienen dos versiones, la primera versión está hecha de una lámina de plástico de 2 mm de espesor poco rígido y la segunda versión está hecha de un plástico rígido las dimensiones se mantienen igual para ambas bandejas (540 mm * 270 mm) y 512 conos Fig. 12. Las bandejas se encuentran almacenadas y apiladas en un almacén, los operarios deben ir hasta el almacén y recoger las bandejas de apio como se muestra en la Fig. 13.



Fig. 12 Bandejas de germinación

Fuente: Propia



Fig. 13 Almacén de bandejas de germinación

Fuente: Propia

C. Proceso 3. Recepción de sustrato

El sustrato llega empaquetado y sellado por un plástico, las operarias deben cortar el plástico del empaque para luego arrojar el sustrato en el piso, luego de realizar ese procedimiento se procede a mezclar el sustrato con agua (Fig. 14) para que se pueda adherir de forma correcta en las bandejas de germinación.



Fig. 14 Corte de bolsa, vaciado y mezclado de sustrato

Fuente: Propia

Las operarias deben golpear el sustrato con un mazo para que los bloques de sustrato secos puedan deshacerse y el agua llegue a todo el sustrato de forma uniforme (Fig. 15).



Fig. 15 Mazado de sustrato

Fuente: Propia

D. Proceso 4. Llenado de sustrato en bandeja de germinación

Las operarias deben llenar las bandejas con sustrato el cual se encuentra en el piso como se muestra en la Fig. 16 las operarias con una palana pequeña deben ir llenando la bandeja hasta que todos los conos de la bandeja se encuentren totalmente tapados. Las operarias llevan las bandejas hasta la mesa de trabajo donde se llevará acabo el sembrado.



Fig. 16 Llenado de sustrato en bandeja de germinación

Fuente: Propia

E. Proceso 5. Punzado de sustrato en bandeja de germinación

Se utiliza un elemento metálico que tiene 512 punzones los cuales caben exactamente sobre la superficie de los conos, dicho elemento se coloca sobre la bandeja de germinación como se muestra en la Fig. 17, este proceso se lleva a cabo para generar una deformación convexa sobre el sustrato, esto servirá para dos cosas: la semilla queda unos milímetros bajo la superficie del sustrato y permite que la semilla caiga al centro del cono teniendo un óptimo crecimiento en su desarrollo como plantín.



Fig. 17 Punzador de sustrato

Fuente: Propia

F. Proceso 6. Sembrado de semillas de apio

La operadora se coloca un guante de látex en la mano donde tendrá las semillas. En la mano libre sostiene una pinza la cual sirve para poder quitar semillas de los conos donde terminaron dos o más semillas de apio y realizar el trabajo de centrar la semilla en caso de haber terminado fuera del área central. La operadora agarra una cantidad prudente de semillas con la mano donde tiene colocado el guante de látex. La operadora realiza movimientos circulares con los dedos pulgar e índice, donde el dedo pulgar arrastra las semillas sobre el dedo índice tratando de solo dejar una semilla sobre cada cono de la bandeja de germinación (Fig. 18).



Fig. 18 Sembrado de semillas de apio

Fuente: Propia

G. Proceso 7. Tapado de semillas en bandejas de germinación

Terminado el proceso 6, las operadoras llevan las bandejas de germinación ya sembradas hasta el lugar donde se encuentra el sustrato, con una palana proceden a pasar otra capa de sustrato sobre la bandeja, esto provocara que las semillas queden totalmente tapadas. Terminado este proceso las operarias proceden a llevar las bandejas hasta un lugar específico en el vivero para que pueda iniciar el proceso de germinación de las plantas. (Fig. 19)



Fig. 19 Tapado de semillas en bandejas de germinación

Fuente: Propia

Después de analizar los procesos del sembrado de la semilla, nos vamos a centrar en el proceso número 6 (Sembrado de semillas de apio) para el desarrollo del proyecto, ya que de forma notable la manipulación y sembrado de la semilla es un problema dentro del proceso en general, se consume mucho tiempo en dicho proceso. El tiempo es variable y dependerá de la experiencia que tenga el/la operaria en el sembrado de estas semillas. Podemos observar en la Tabla 2 la comparación de toma de tiempo entre un personal con experiencia y otra con poca experiencia. Para la toma de este tiempo se utiliza un cronometro simple, en la cual se toma el tiempo de 2 operarios, uno con 2 años experiencia y otro con 3 semanas de experiencia, el objetivo es sembrar 15 bandejas de germinación de germinación (7680

Semillas de apio), analizar el proceso y comparar la diferencia en los tiempos de sembrado.

Tabla 2. Datos tomados en el proceso de siembra

N° de bandeja	Personal con experiencia	Personal sin experiencia
	Tiempo (Min)	Tiempo (Min)
1	04:46	07:40
2	04:48	07:36
3	04:42	07:46
4	04:51	07:42
5	04:46	07:33
6	04:52	07:45
7	04:48	07:42
8	04:46	07:36
9	04:55	07:43
10	04:43	07:42
11	04:51	07:40
12	04:46	07:34
13	04:52	07:48
14	04:51	07:42
15	04:44	07:38
Promedio	04:48	07:40

Al tomar los datos de la tabla 2 se observó un aspecto importante, es común que el operador agregue más de una semilla por cono de forma no intencional, las semillas sobrantes son retiradas con pinzas (Fig. 20), esto se ve reflejado en los picos de tiempo más prominentes de las gráficas 1 y 2.



Fig. 20 Uso de pinzas para retiro de semillas

Fuente: Propia



Gráfico 1. Personal sin experiencia

Fuente: Propia



Gráfico 2. Personal con experiencia

Fuente: Propia

4.2. Semilla de apio

El primer atractivo de esta semilla es su tamaño, ya que a comparación con otras semillas del grupo hortalizas, esta es la más pequeña y su tamaño provoca un problema fundamental para los viveros industriales y artesanales. Tomaremos las medidas (ancho y largo) de 50 semillas al azar para determinar el tamaño promedio, las semillas son brindadas por el vivero del cual estamos obteniendo los datos e información. Como objeto de medida utilizaremos el Pie de rey (Fig. 21) para realizar las mediciones exactas, los resultados se muestran en la Tabla 3 Del ANEXO N°4.

Nota: La toma de estas medidas se realizaron en un ambiente de laboratorio. Se obtuvo una medida promedio de 0.6994 mm de ancho y 1.4878 mm de largo, este dato nos servirá para tener en cuenta la morfología de la semilla y el diseño de las boquillas.



Fig. 21 Toma de medidas con Pie de rey

Fuente: Propia

Para determinar la forma exacta de la semilla, utilizamos un microscopio digital modelo: AD106S, las imágenes obtenidas en la Fig. 22 revelan que la semilla tiene una superficie no uniforme, en el enmarcado A podemos determinar que la semilla se aproxima a una forma elipsoidal y en el enmarcado B las partículas del desinfectante.

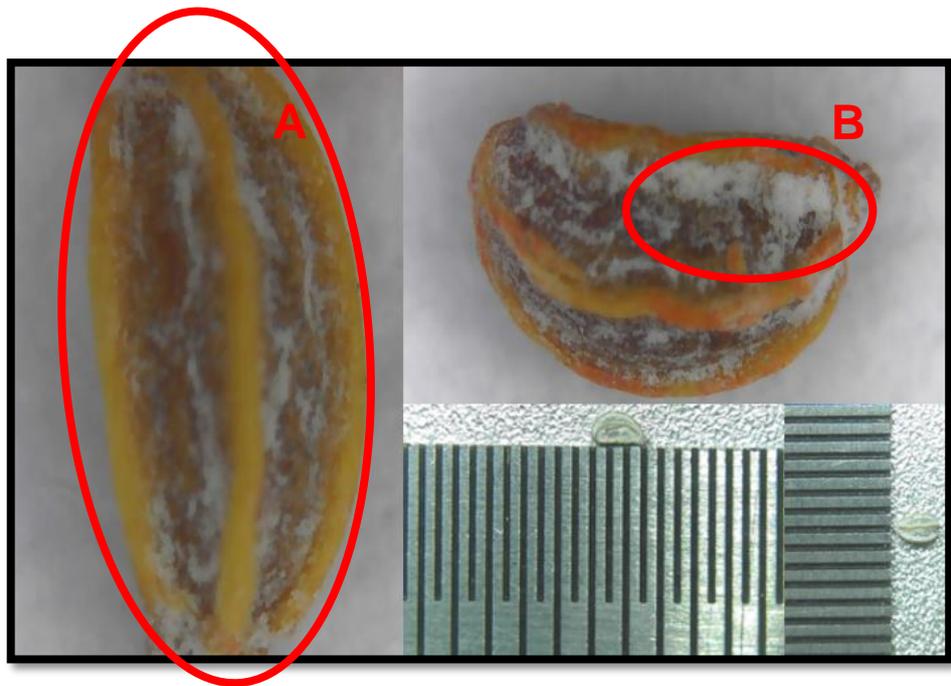


Fig. 22 Semilla de Apio en Microscopio Digital

Fuente: Propia

Los datos promedio tomados de la tabla 4 y el análisis en el microscopio digital, permite hacer el modelado 3D para analizar y estudiar a detalle la semilla. En la Fig. 23 se presenta el resultado final del modelado 3D.



Fig. 23 Modelado de semilla de Apio

Fuente: Propia

4.3. Bandeja de germinación

La bandeja de germinación, se utiliza para el proceso de germinación de la semilla y es donde será sembrada la semilla, por lo que debemos detallar sus medidas y forma, ya que la maquina deberá interactuar con la bandeja para la siembra. Se toman las dimensiones dadas por el fabricante de bandejas, también se corroboran las medidas por mediante una cinta métrica y una regla milimétrica. Los datos obtenidos son mostrados en la Tabla 4.

Tabla 3. Datos de bandeja de germinación

N ° de Modelo.		YB-512H	
Celda No.	512	Config	16 * 32
Estilo de celda	Cuadrado	Volumen de celda (cc)	4 4
Tamaño de celda (mm)	14 * 8	Altura de celda (mm)	25
Tamaño de bandeja (mm)	540 * 270	Material	Caderas

4.4. Alternativas de diseño de la herramienta

El diseño del elemento que soporta la boquilla, que permite aspirar las semillas por la punta, debe indicar que el material de su fabricación será aluminio o acero inoxidable, aluminio por ser un material ligero. También es un material que es tan difícil de corroer como el acero inoxidable, pero a un precio más bajo, esta propiedad anticorrosiva es importante porque la parte inferior de la boquilla de vacío estará en contacto directo con partículas de aire y agua. La parte es hueca por dentro y el orificio en la parte se rosca para que entre la boquilla y hay un orificio en la parte posterior para proporcionar presión positiva y negativa cuando sea necesario durante la siembra. La Fig. 24 muestra las dimensiones de las bandejas en base a los datos obtenidos en la Tabla 4.

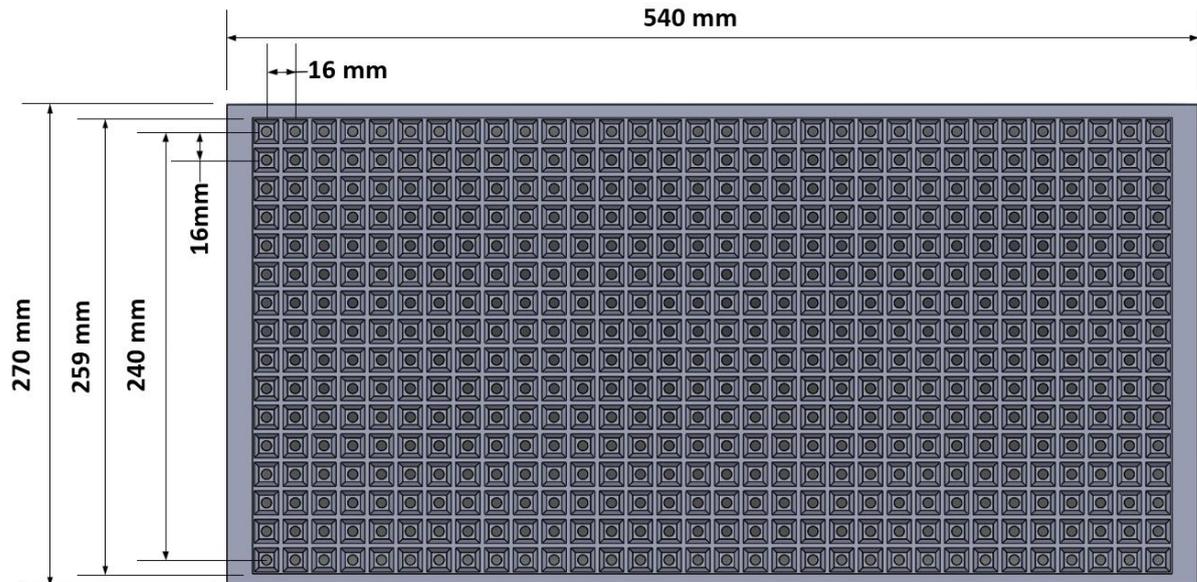


Fig. 24 Dimensionamiento de la bandeja de 512 orificios

Fuente: Propia

En el siguiente apartado se darán alternativas de sembrado tomando en cuenta la eficiencia, eficacia y las restricciones de diseño de la herramienta.

- **Alternativa 1: Sembrado cono por cono**

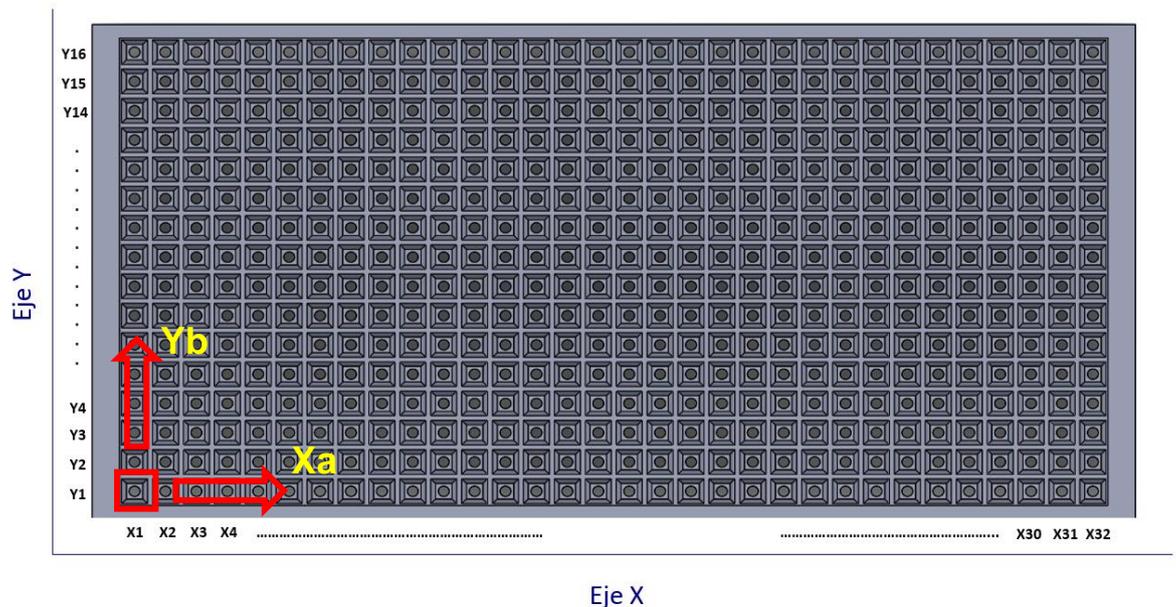


Fig. 25 Alternativa 1: Sembrado cono por cono

Fuente: Propia

Para interpretar este sembrado, demos considerar los ejes X y Y , esto quiere decir que el sembrado será dado por una coordenada resultante $XY (a, b)$, por tal motivo, al solo sembrar una sola cavidad podemos sembrar en cualquier punto resultante entre $XY (1,1)$ y $XY (32,16)$. Con esta alternativa se asegura que en cada cavidad exista una semilla, ya que existe la posibilidad que la semilla no sea sujeta por el sembrador, esto puede ser detectado mediante el desarrollo de un sistema artificial encargado de supervisar que exista la semilla en todas las cavidades, de no ser así el robot vuelve al punto indicado y agrega la semilla faltante en la cavidad indicada por el sistema de visión.

La desventaja principal de este sistema es que el robot tiene que hacer 512 ciclos para recoger y dejar la semilla, por tal razón el sistema bajaría completamente su eficiencia, ya que se tomaría un largo tiempo en sembrar toda la bandeja de germinación.

- **Alternativa 2: Sembrar en grupos de 4 x 4 cavidades.**

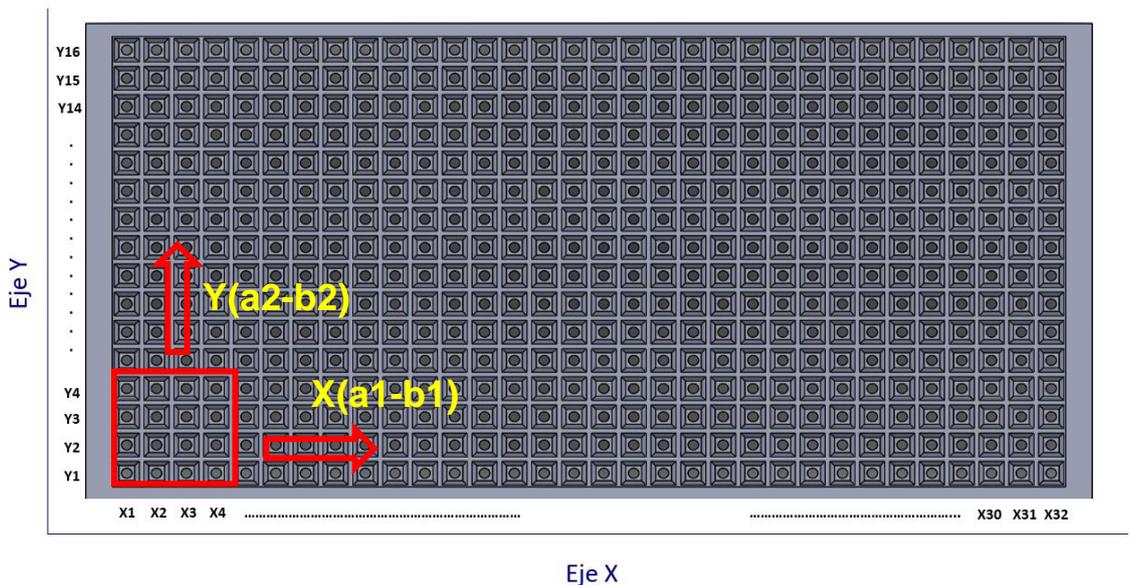


Fig. 26 Alternativa 2: Sembrar en grupos de 4 x 4 cavidades

Fuente: Propia

Para interpretar este sembrado, demos considerar los ejes X y Y , esto quiere decir que el sembrado será dado por una coordenada resultante XY , donde $X(a1 - b1)$ es la agrupación de conos en el eje X y $Y(a2 - b2)$ la agrupación de conos en el eje Y , entonces el grupo de conos resultantes estaría dado por la resultante $XY((a1 - b1) (a2 - b2))$. Con esta alternativa aumentamos la eficiencia ya que por cada ciclo de trabajo se sembraría 16 semillas por cada ciclo del robot. (Recoger y dejar la semilla). Este grupo de semillas puede aumentar si se diseña la pieza para sembrar grupos más grandes, por ejemplo: 8x8; 16x16 o 32x32.

La desventaja de esta alternativa es que no se puede controlar el ingreso de una sola semilla en las 512 cavidades, ya que hay una posibilidad que se pierda un cierto número de semillas por ciclo del robot, y por tal razón el sistema de visión detectaría el vacío en algunas cavidades de la bandeja, si el sistema quiere retroalimentar no se podrá ya que el sistema recogería varias semillas.

- **Alternativa 3: Sembrar en grupos de fila**

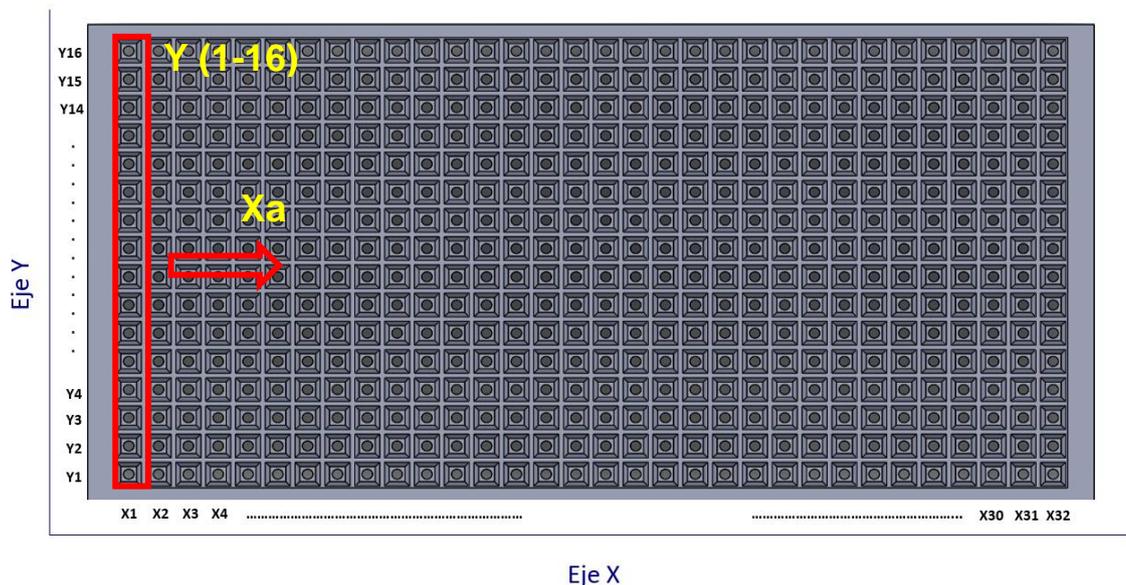


Fig. 27 Alternativa 3: Sembrar en grupo de fila

Fuente: Propia

Para interpretar este sembrado, demos considerar los ejes X y Y , esto quiere decir que el sembrado será dado por una coordenada resultante XY , donde X a es la fila respecto al eje X y Y (1 – 16) la agrupación de conos en el eje Y , esta agrupación siempre será la misma. Se sabe que la bandeja es de 16 Cavidades de ancho por 32 cavidades, la ventaja de sembrar linealmente es: Se puede tener una alta eficiencia y por tal razón el robot hará 32 ciclos de trabajo.

Para la selección de la forma de sembrado vamos a considerar 3 puntos principales, numero de ciclos del robot, aplicación de técnica para no tener más de 1 semilla por cavidad, retroalimentación de semillas que no fueron sembradas y la posibilidad de colisionar con el entorno de la estructura principal del robot.

Tabla 4. Comparación de alternativas

	Numero de ciclos del robot	Retroalimentación de semillas que no fueron sembradas	Movimiento del robot sin posibilidad de colisionar
Alternativa 1	512	Si	Si
Alternativa 2	32	No	Si
Alternativa 3	32	Si	Si

Viendo los resultados de la tabla 5 podemos decir que la alternativa 3 es la indicada para poder aplicarla en sistema robótico ya que aplica con todas las características y necesidades del proyecto.

4.5. Diseño de la porta boquillas

Los requerimientos técnicos para el diseño y construcción de la base de las boquillas de succión de las semillas, estarán limitados al tipo de bandeja de 512 orificios, en la Tabla 6 se especifican las medidas acordes a las dimensiones de la bandeja de germinación mencionada, tomando como principal medida el Ancho B1 de la bandeja. Fig. 28

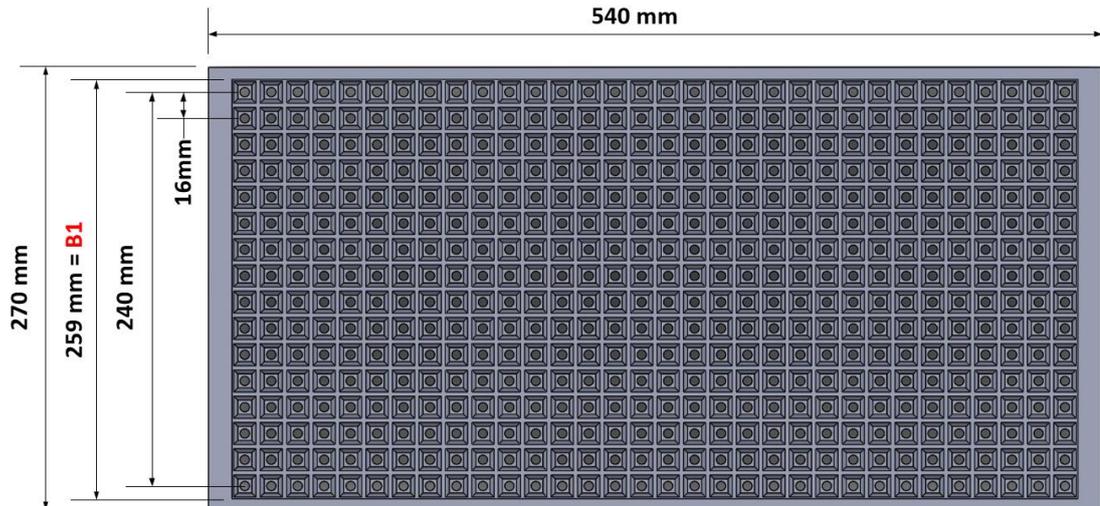


Fig. 28 Dimensionamiento de la bandeja de 512 orificios

Fuente: Propia

Tabla 5. Características del soporte de las boquillas

Característica	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Material
Dimensión	259	12.7	12.7	Aluminio/Acero inoxidable

Se realiza el software de diseño para modelar parte del frente para determinar el diseño basado en las dimensiones de la Tabla 5. A continuación se muestra una vista de la última parte.

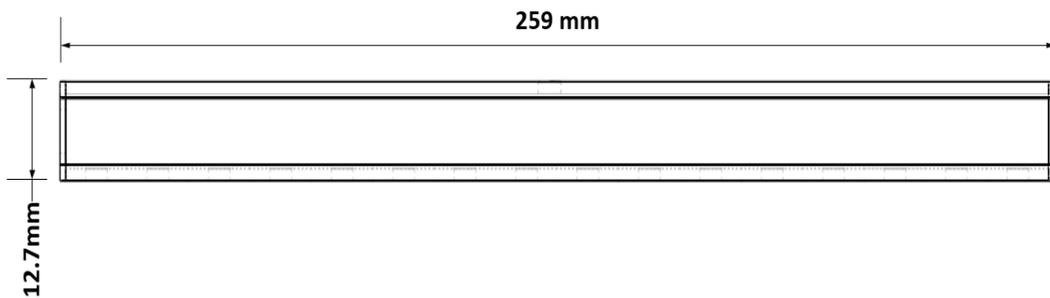


Fig. 29 Vista frontal del distribuidor

Fuente: Propia

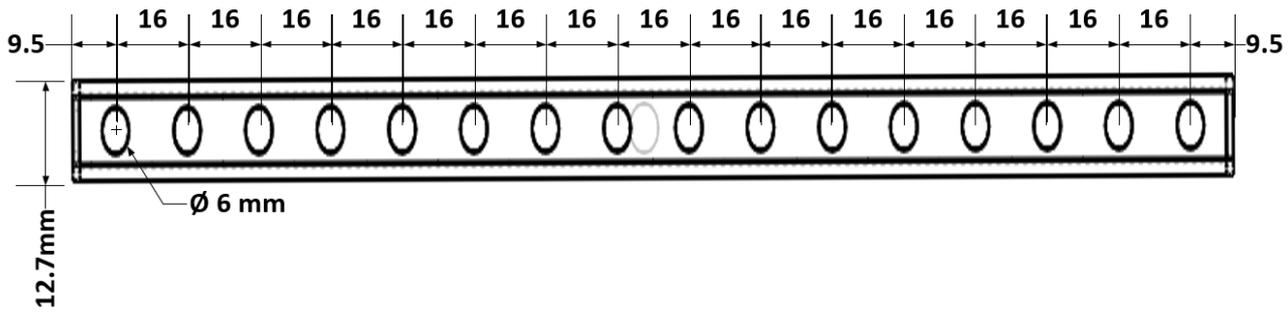


Fig. 30 Vista inferior del distribuidor

Fuente: Propia

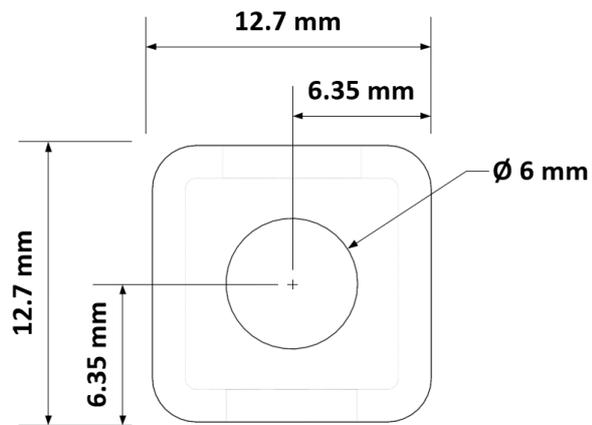


Fig. 31 Vista lateral derecha del distribuidor

Fuente: Propia

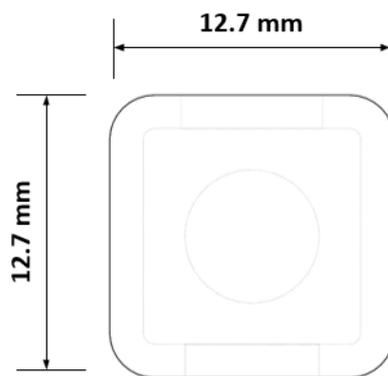


Fig. 32 Vista lateral Izquierda del distribuidor

Fuente: Propia

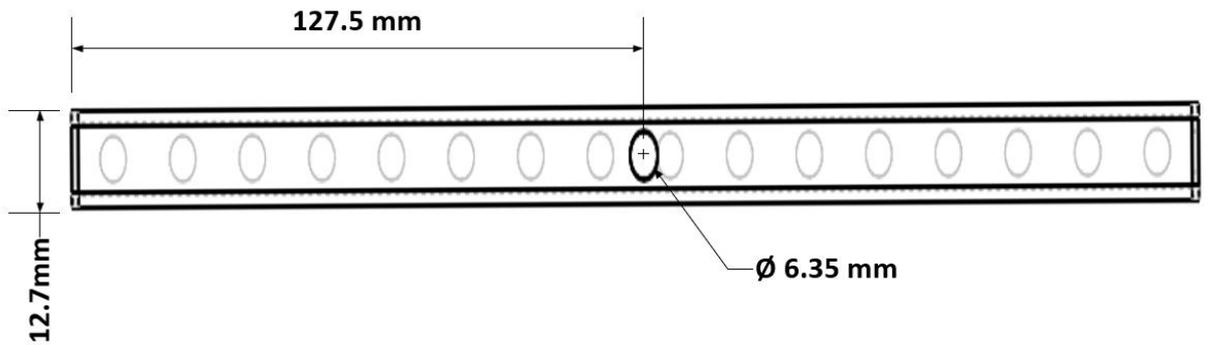


Fig. 33 Vista superior del distribuidor

Fuente: Propia

Una vez que se determina la vista de la pieza a formar, se puede calcular el volumen total de la pieza para determinar las propiedades del brazo robótico que permitirá que la pieza se mueva para realizar la función prevista de la herramienta de siembra. Calcule el área de cada porción de la sección del dispensador.

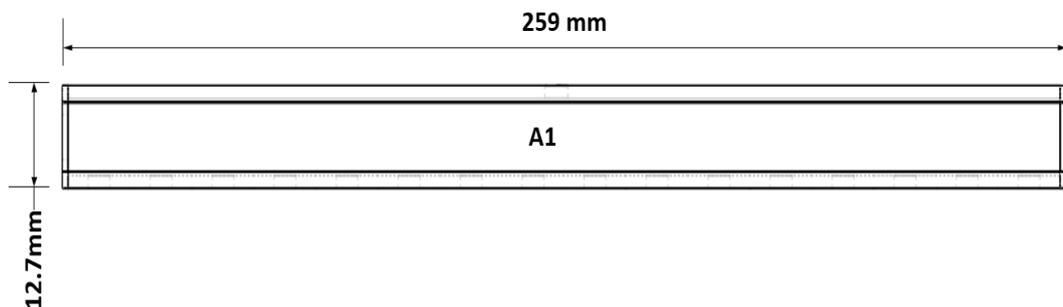


Fig. 34 Área 1 del distribuidor

Fuente: Propia

$$A_1 = L * A \quad (1)$$

Donde:

- A_1 = Área de la sección 1 en mm^2
- L = Longitud del largo de la sección rectangular en mm
- A = Longitud del ancho de la sección en mm

Entonces:

$$A_1 = 259 * 12.7$$

$$A_1 = 3289.3 \text{ mm}^2$$

$$A_{Distribuidor} = \sum \text{Áreas} \quad (2)$$

Donde:

- $A_{Distribuidor} = \text{Área total del distribuidos en mm}^2$

Entonces:

$$A_{Distribuidor} = A_1$$

$$A_{Distribuidor} = 3289.3 \text{ mm}^2$$

Teniendo el Área total del Distribuidor, se calcula el volumen y se determina de la siguiente manera:

$$V_{Distribuidor} = A_{Distribuidor} * h \quad (3)$$

Dónde:

- $V_{Distribuidor} = \text{Volumen total del distribuidoe en mm}^3$
- $h = \text{Altura de la pieza en mm}$

Entonces:

$$V_{Distribuidor} = 3289.3 * 12.7$$

$$V_{Distribuidor} = 41774.11 \text{ mm}^3$$

El distribuidor de semillas es una pieza hueca y además posee orificios donde estarán las boquillas de succión y el orificio donde ingresará el aire de presión negativa y positiva. Se debe restar al volumen total, el volumen de los orificios mencionados, toda la parte interna del distribuidor. Se realiza un corte de la vista frontal (Fig. 36) para visualizar las áreas huecas.

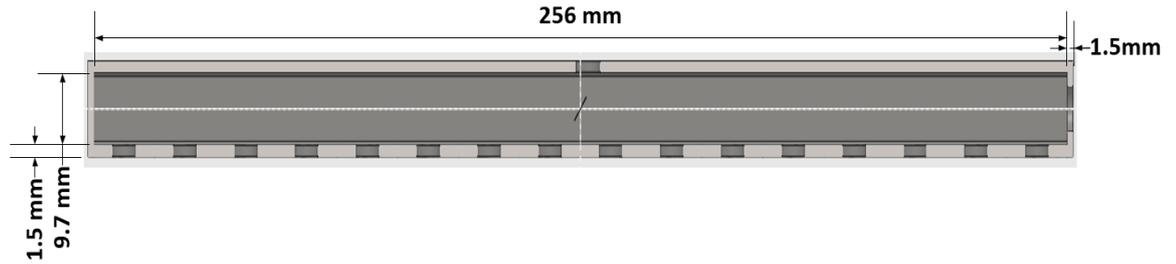


Fig. 35 Corte de vista frontal

Fuente: Propia

Se calcula el volumen total del orificio donde irán las boquillas de succión:

$$A_{\text{Orificio de boquilla}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (4)$$

Dónde:

- $A_{\text{Orificio de boquilla}}$ = Área del orificio de las boquilla en mm^2
- π = Costante 3.1416
- d = Diametro del orificio de boquillas en mm

Entonces:

$$A_{\text{Orificio de boquilla}} = \frac{\pi * (6)^2}{4}$$

$$A_{\text{Orificio de boquilla}} = 28.2743 \text{ mm}^2$$

En total son 17 boquillas de succión, debemos multiplicar el área resultante por la cantidad de boquilla, el valor resultante del área total de los orificios de boquillas es:

$$A_{\text{Orificio de boquilla Total}} = A_{\text{Orificio de boquilla}} * 17 \quad (5)$$

Dónde:

- $A_{\text{Orificio de boquilla Total}}$ = Área total de orificios de las boquillas en mm^2

Entonces:

$$A_{\text{Orificio de boquilla Total}} = 28.2743 * 17$$

$$A_{\text{Orificio de boquilla Total}} = 480.6636 \text{ mm}^2$$

$$V_{\text{Orificio de boquilla Total}} = A_{\text{Orificio de boquilla Total}} * L_{\text{Orificio de boquillas}} \quad (6)$$

Dónde:

- $V_{\text{Orificio de boquilla Total}}$ = Volumen de los orificios de boquillas en mm^3
- $L_{\text{Orificio de boquillas}}$ = Longitud del espesor de orificio de la boquilla en mm

Entonces:

$$V_{\text{Orificio de boquilla Total}} = 480.6636 * 1.5$$

$$V_{\text{Orificio de boquilla Total}} = 720.9955 \text{ mm}^3$$

Ahora se calcula el área de orificio donde ingresará el aire de presión negativa y positiva:

$$A_{\text{Orificio de aire}} = \frac{\pi * d^2}{4} \quad (7)$$

Dónde:

- $A_{\text{Orificio de aire}}$ = Área del orificio de entrada de aire en mm^2
- π = Constante 3.1416
- d = Diametro del orificio de entrada de aire en mm

Entonces:

$$A_{\text{Orificio de boquilla}} = \frac{\pi * (6.35)^2}{4}$$

$$A_{\text{Orificio de boquilla}} = 31.6692 \text{ mm}^2$$

En total es orificios de entrada de aire es solamente 1, el resultado hallado es vendría a ser el área total para este orificio.

$$V_{\text{Orificio de aire}} = A_{\text{Orificio de aire}} * L_{\text{Orificio de aire}} \quad (8)$$

Dónde:

- $V_{\text{Orificio de aire}} = \text{Volumen de los orificios de entrada de aire en mm}^3$
- $L_{\text{Orificio de aire}} =$
Longitud del espesor de orificio de entrada de aire en mm

Entonces:

$$V_{\text{Orificio de aire}} = 31.6692 * 1.5$$

$$V_{\text{Orificio de boquilla Total}} = 47.5038 \text{ mm}^3$$

Se calcula el volumen de la sección hueca del distribuidor de aire:

$$A_{\text{Seccion hueca}} = L_{\text{Seccion hueca}} * A_{\text{Seccion hueca}} \quad (9)$$

Dónde:

- $A_{\text{Seccion heeca}} = \text{Área de la sección hueca en mm}^2$
- $L_{\text{Seccion hueca}} =$
Longitud del largo de la sección hueca rectangular en mm
- $A_{\text{Seccion hueca}} = \text{Longitud del ancho de la sección hueca en mm}$

Entonces:

$$A_{\text{Seccion hueca}} = 256 * 9.7$$

$$A_{\text{Seccion hueca}} = 2483.2 \text{ mm}^2$$

Con el Área total del área hueca del Distribuidor, se calcula el volumen y se determina de la siguiente manera:

$$V_{\text{seccion hueca}} = A_{\text{seccion hueca}} * h \quad (10)$$

Dónde:

- $V_{\text{Seccion hueca}} =$
Volumen total de la seccion hueca distribuido en mm}^3
- $h = \text{Altura de la seccion hueca del distribuidor en mm}$

Entonces:

$$V_{\text{seccion hueca}} = 2483.2 * 9.7$$

$$V_{\text{Seccion hueca}} = 24087.04 \text{ mm}^3$$

Con todos los volúmenes calculados, hallamos el volumen total del distribuidor de aire:

$$V_{Total\ del\ distribuidor} = V_{Distribuidor} - V_{orificios\ de\ boquillas\ total} - V_{Orificio\ de\ aire\ total} - V_{Seccion\ hueca} \quad (11)$$

Dónde:

- $V_{Total\ del\ distribuidor} = \text{Volumen total del distribuidor de aire en mm}^3$

Entonces:

$$V_{Total\ del\ distribuidor} = 41774.11 - (24855.54)$$

$$V_{Total\ del\ distribuidor} = 16918.5707 \text{ mm}^3$$

$$V_{Total\ del\ distribuidor} = 1.691857 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

Para calcular la masa del distribuidor de succión, se multiplica el valor del volumen total de la pieza por el valor de la densidad del material, en este caso realizaremos el cálculo con dos tipos de materiales, Aluminio y Acero inoxidable.

$$m_{total\ distribuidor} = \rho_{material} * V_{total\ del\ distribuidor} \quad (12)$$

Dónde:

- $m_{total\ distribuidor} = \text{Masa total del distribuidor en kg}$
- $\rho_{material} = \text{Densidad del material en } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Se calcula la masa con el material Aluminio $\rho = 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$m_{total\ distribuidor} = 2700 * 1.691857 * 10^{-5}$$

$$m_{total\ distribuidor} = 0.04568 \text{ kg}$$

se calcula la masa con el material Acero inoxidable $\rho = 7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$m_{total\ distribuidor} = 7900 * 1.691857 * 10^{-5}$$

$$m_{total\ distribuidor} = 0.1336\ kg$$

4.6. Diseño de las boquillas de succión

Estas boquillas serán diseñadas de aluminio ya que estará en contacto directo con el sustrato y también con el aire de presión el cual es húmedo. Las boquillas tendrán una rosca para poder ser intercambiadas tanto para mantenimiento, averías o trabajar con otras semillas. Se debe considerar que solo debe sostener una sola semilla por ciclo.

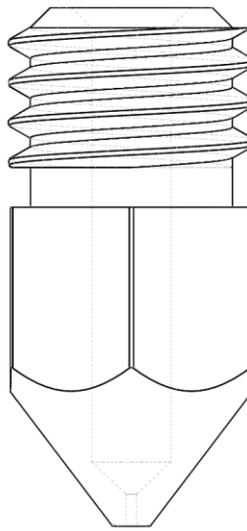


Fig. 36 Boquilla de succión de semillas

Fuente: Propia

Para la el diseño de la boquilla de succión se solicita los siguientes requerimientos técnicos acorde al distribuidor de aire diseñado. Las especificaciones se dan en la **tabla 2.1**.

Tabla 6. Características de las boquillas

Características	Diámetro de rosca (mm)	Diámetro de tuerca (mm)	Alto (mm)	Material
Dimensión	6	6	13	Aluminio

En la siguiente figura se muestran las dimensiones de la boquilla de succión

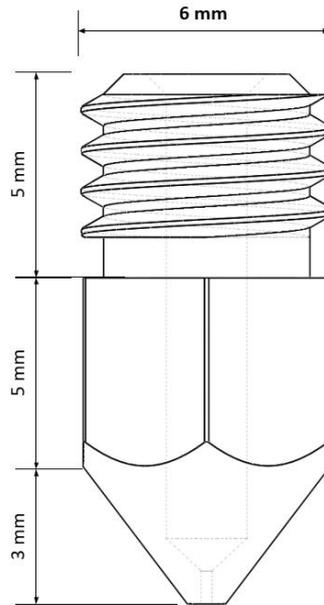


Fig. 37 Dimensionamiento de Boquilla de succión de semillas

Fuente: Propia

Se divide la boquilla en áreas para poder realizar el cálculo del volumen total, las áreas se demuestran en la Fig. 38.

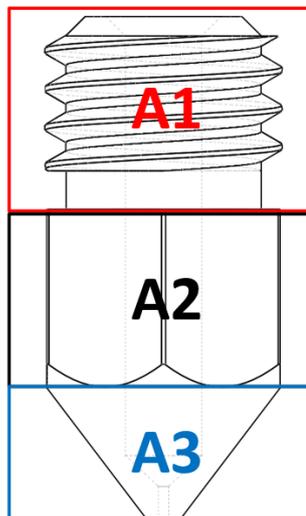


Fig. 38 Áreas de la boquilla de succión

Fuente: Propia

El cálculo del área total permitirá hallar la masa de la boquilla de las semillas, iniciamos por calcular el Área 1 "A1" (Fig. 39) de la boquilla.

$$A_1 = \frac{\pi * d^2}{4} \quad (13)$$

Dónde:

- A_1 = Área 1 de la boquilla de semillas mm^2
- π = Costante 3.1416
- d = Diametro de la seccion roscada en mm

Entonces:

$$A_1 = \frac{\pi * (6)^2}{4}$$

$$A_1 = 28.2743 \text{ mm}^2$$

Para calcular el volumen vamos a despreciar el área roscada, el volumen no será afectado, entonces vamos a calcular el volumen como si fuera un cilindro.

$$V_1 = A_1 * h_1 \quad (14)$$

Dónde:

- V_1 = Volumen total del área 1 en mm^3
- h_1 = Altura total del área 1 en mm

Entonces:

$$V_1 = 28.2743 * 5$$

$$V_1 = 141.3715 \text{ mm}^3$$

Ahora Calculamos el Área 2 “A2”:

Se calcula el Área 2 “A2” (Fig. 39) Esta parte de la boquilla permite dar un ajuste final para que no exista alguna fuga de aire mientras la herramienta está trabando, mejorando la eficiencia energética de la máquina.

$$A_1 = \frac{\pi * d^2}{4} \quad (15)$$

Dónde:

- A_1 = Área 2 de la boquilla de semillas mm^2
- π = Costante 3.1416
- d = Diametro de la seccion de ajuste en mm

Entonces:

$$A_1 = \frac{\pi * (6)^2}{4}$$

$$A_1 = 28.2743 \text{ mm}^2$$

Para calcular el volumen vamos a desprejar el área plana para el acople de alguna herramienta de ajuste, el volumen no será afectado, entonces vamos a calcular el volumen como si fuera un cilindro.

$$V_2 = A_2 * h_2 \quad (16)$$

Dónde:

- $V_2 = \text{Volumen total del área 2 en mm}^3$
- $h_2 = \text{Altura total del área 2 en mm}$

Entonces:

$$V_2 = 28.2743 * 5$$

$$V_2 = 141.3715 \text{ mm}^3$$

El Área 3 (A3) (Fig.39) tiene una forma cónica, entonces debemos hacer el cálculo en base a esta a la siguiente formula:

$$V_3 = \frac{\pi * d^2 * h_3}{12} \quad (17)$$

Dónde:

- $V_3 = \text{Volumen del Area 3 en mm}^3$
- $\pi = \text{Costante } 3.1416$
- $h_3 = \text{Altura del area 3 de la boquilla en mm}$

Entonces:

$$V_3 = \frac{\pi * (6)^2 * 3}{12}$$

$$V_3 = 28.2743 \text{ mm}^3$$

Se calcula el volumen total de la boquilla de sembrado:

$$V_{\text{Total de la boquilla}} = V_1 + V_2 + V_3 \quad (18)$$

Dónde:

- $V_{\text{Total de la boquilla}} =$
Volumen total de la boquilla de sembrado en mm^3

Entonces:

$$V_{\text{Total de la boquilla}} = 141.3715 + 141.3715 + 28.2743$$

$$V_{\text{Total la boquilla}} = 311.0173 \text{ mm}^3$$

Para determinar el volumen total de las boquillas de succión, debemos hallar también el área del orificio de succión, a continuación, se hace un corte frontal a la piza para poder visualizar los detalles.

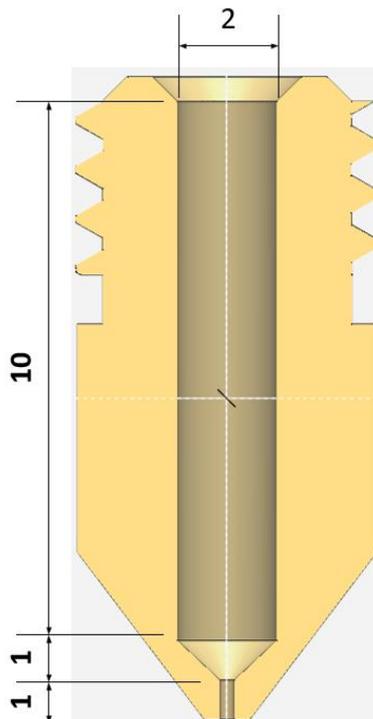


Fig. 39 Vista frontal de la boquilla de succión de semillas

Fuente: Propia

Se halla el volumen de la zona hueca de la boquilla de succión, para ello dividimos la boquilla en 3 áreas (Fig. 40) para poder determinar el volumen hueco.

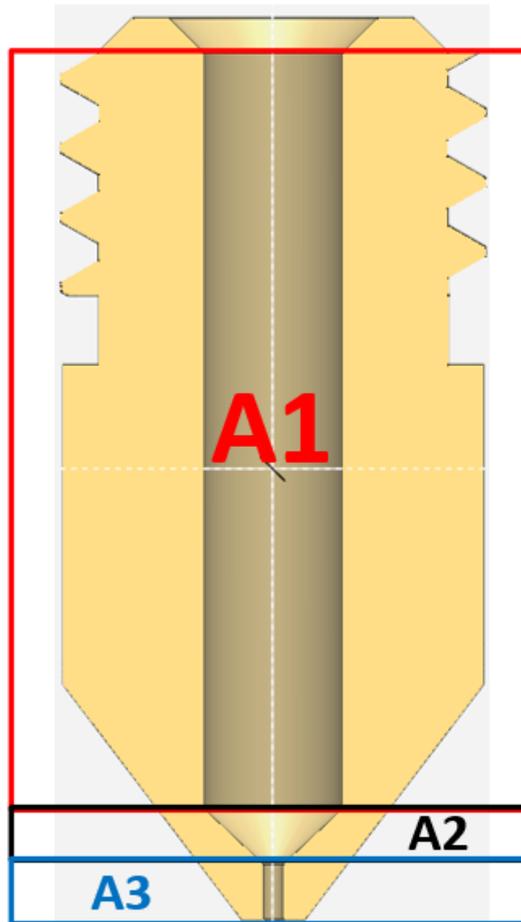


Fig. 40 Vista frontal de las áreas de las boquillas

Fuente: Propia

Se calcula el volumen del área 1 (A1) aplicando la siguiente fórmula:

$$V_{1 \text{ hueco}} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h_{1 \text{ hueco}}}{4} \quad (19)$$

Dónde:

- $V_{1 \text{ hueco}}$ = Volumen hueco del Area 1 en mm^3
- π = Costante 3.1416
- $h_{1 \text{ hueco}}$ = Altura hueca del area 1 de la boquilla en mm

Entonces:

$$V_{1 \text{ hueco}} = \frac{\pi * (2)^2 * 10}{4}$$

$$V_{1 \text{ hueco}} = 31.4159 \text{ mm}^3$$

Se calcula el volumen del área 2 (A2) aplicando la siguiente formula, tener en cuenta que tiene una forma cónica:

$$V_{2 \text{ hueco}} = \frac{\pi * d^2 * h_{2 \text{ hueco}}}{12} \quad (20)$$

Dónde:

- $V_{2 \text{ hueco}}$ = Volumen hueco del Area 2 en mm^3
- π = Costante 3.1416
- $h_{2 \text{ hueco}}$ = Altura hueca del area 2 de la boquilla en mm

Entonces:

$$V_{2 \text{ hueco}} = \frac{\pi * (2)^2 * 1}{12}$$

$$V_{2 \text{ hueco}} = 1.0472 \text{ mm}^3$$

Se calcula el volumen del área 3 (A3) aplicando la siguiente formula:

$$V_{1 \text{ hueco}} = \frac{\pi * d^2 * h_{3 \text{ hueco}}}{4} \quad (21)$$

Dónde:

- $V_{3 \text{ hueco}}$ = Volumen hueco del Area 3 en mm^3
- π = Costante 3.1416
- $h_{3 \text{ hueco}}$ = Altura hueca del area 3 de la boquilla en mm

Entonces:

$$V_{3 \text{ hueco}} = \frac{\pi * (0.3)^2 * 1}{4}$$

$$V_{3 \text{ hueco}} = 0.07068 \text{ mm}^3$$

Se calcula el área hueca total de la boquilla:

$$V_{\text{hueco total boquilla}} = V_1 + V_2 + V_3 \quad (22)$$

Dónde:

- $V_{\text{hueco total}} = \text{Volumen total hueco de la boquilla de sembrado en mm}^3$

Entonces:

$$V_{\text{hueco total boquilla}} = 31.4159 + 1.0472 + 0.07068$$

$$V_{\text{hueco total de la boquilla}} = 32.5337 \text{ mm}^3$$

Sabiendo que son 17 boquillas, entonces:

$$V_{\text{hueco total de las boquillas}} = V_{\text{hueco total de la boquilla}} * 17 \quad (23)$$

$$V_{\text{hueco total de las boquillas}} = 553.07 \text{ mm}^3$$

Con los datos del volumen de la boquilla total y volumen hueco, calculamos el volumen real de la boquilla de sembrado, esto se halla restando ambas variables con la siguiente formula:

$$V_{\text{boquilla}} = V_{\text{total de la boquilla}} - V_{\text{hueco total boquilla}} \quad (24)$$

Dónde:

- $V_{\text{boquilla}} = \text{Volumen total real de la boquilla de sembrado en mm}^3$

Entonces:

$$V_{\text{boquilla}} = 311.0173 - 32.5337$$

$$V_{\text{boquilla}} = 278.48 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{boquilla}} = 2.7848 * 10^{-7} \text{ m}^3$$

Se sabe que el sembrador contará con 17 boquillas en el sembrador, entonces el resultado obtenido debemos multiplicarlo por esta cantidad.

$$V_{\text{boquillas}} = V_{\text{boquilla}} * 17 \quad (25)$$

Dónde:

- $V_{boquillas} = \text{Volumen total real de la boquillas de sembrado en mm}^3$

Entonces:

$$V_{boquillas} = 2.7848 * 10^{-7} * 17$$

$$V_{boquillas} = 4.681 * 10^{-6} m^3$$

Para hallar la masa de las boquillas de succión, multiplicaremos el volumen obtenido por la densidad del material, en este caso utilizaremos aluminio. Con la siguiente ecuación calculamos la masa total:

$$m_{total \text{ de boquillas}} = \rho_{material} * V_{boquillas} \quad (26)$$

Dónde:

- $m_{total \text{ de boquillas}} = \text{Masa total del las boquillas en kg}$
- $\rho_{material} = \text{Densidad del material en } \frac{kg}{m^3}$

Se calcula la masa con el material Aluminio $\rho = 2700 \frac{kg}{m^3}$

$$m_{total \text{ boquillas}} = 2700 * 4.68197 * 10^{-6}$$

$$m_{total \text{ boquillas}} = 0.01264 \text{ kg}$$

Como dato para el diseño del brazo, calcularemos la masa total del sembrador, haremos uso de la siguiente formula donde sumamos la masa del distribuidor y la masa de las boquillas.

$$m_{total \text{ del sembrador}} = m_{masa \text{ toal del distribuidor}} + m_{total \text{ de boquillas}} \quad (27)$$

Dónde:

- $m_{total \text{ del sembrador}} = \text{Masa total del sembrador de semillas en kg}$

Masa total con el distribuidor de aluminio:

$$m_{total \text{ del sembrador}} = 0.04568 \text{ kg} + 0.01264 \text{ kg}$$

$$m_{total\ boquillas} = 0.05832\ kg$$

Masa total con el distribuidor de Acero inoxidable:

$$m_{total\ del\ sembrador} = 0.1336\ kg + 0.01264\ kg$$

$$m_{total\ sembrador} = 0.14624\ kg$$

4.7. Diseño de la bandeja porta semillas

Para el diseño de la bandeja de semillas, se debe tener en cuenta que las semillas son pequeñas y para optimizar y garantizar el agarre de las semillas en toda la boquilla, las semillas deben permanecer siempre en un grupo. Para el diseño de la base de semillas se hizo referencia a las dimensiones obtenidas de la herramienta de sembrado (Fig. 41), que permiten encontrar la distancia exacta para que la herramienta se mueva libremente en la bandeja que contiene las semillas para que la boquilla de succión puede absorber mejor las semillas. El material con el que se construirá será acero inoxidable, ya que es un material altamente resistente a la corrosión, que es la característica principal elegida ya que la bandeja de la semilla estará en contacto con frecuencia con partículas de agua.

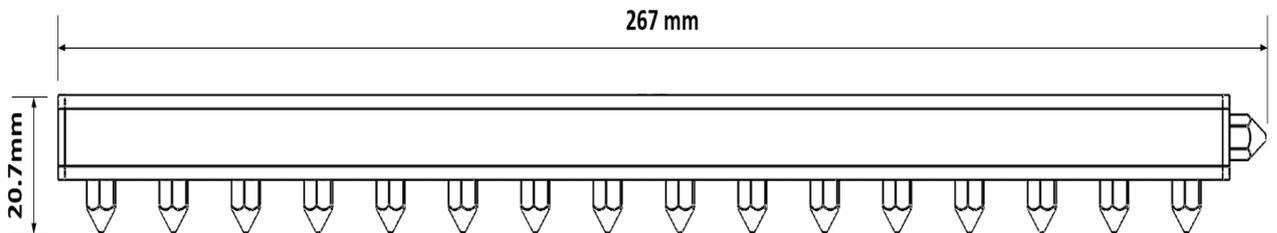


Fig. 41 Vista frontal de la herramienta

Fuente: Propia

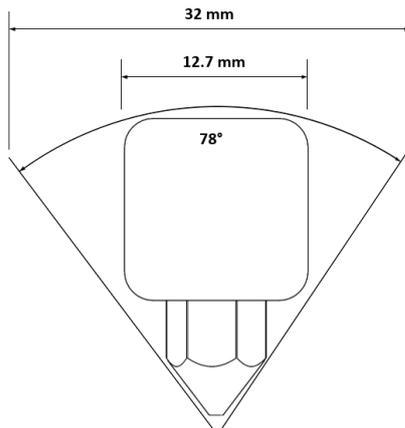


Fig. 42 Vista lateral derecha de la herramienta

Fuente: Propia

En la Fig. 43 se toma como dato el ángulo de impacto generado boquillas de succión y el ancho generado por el ángulo y la altura de la herramienta.

Para asegurar el agarre de la semilla en a la bandeja porta semillas, el robot que porta la herramienta neumática deberá generar un movimiento en el eje X dentro del porta semillas como se muestra en la Fig. 43. Punto inicial (Posición 1), izquierda 8 mm (Posición 2), derecha 16 mm (Posición 3) e izquierda 8 mm (Posición 4).

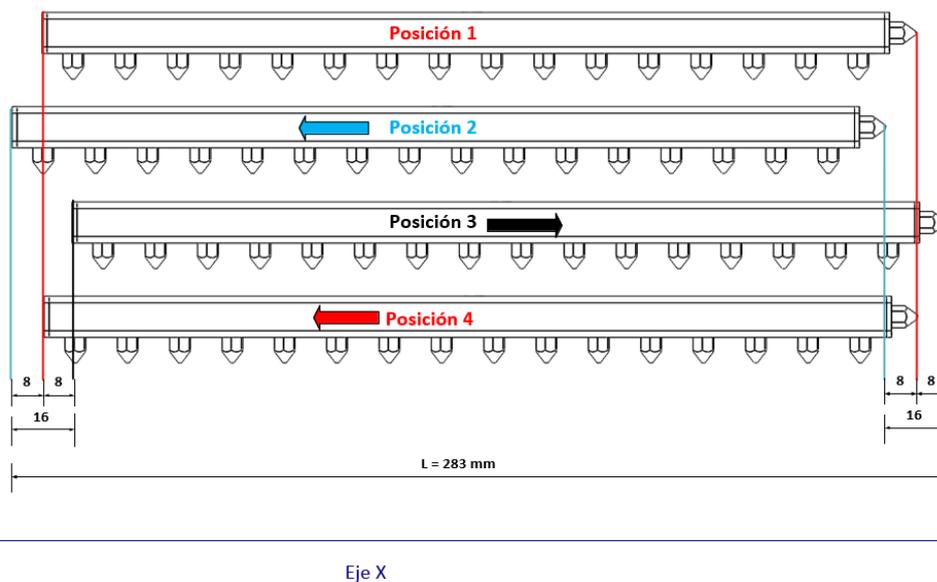


Fig. 43 Posiciones de la herramienta en la porta semillas

Fuente: Propia

Determinado el movimiento de la herramienta dentro de la bandeja porta semillas, se toma la longitud $L = 283$ mm para el largo total de la bandeja porta semillas, damos un margen de tolerancia del 1.7 mm para evitar que la herramienta toque por los lados con la bandeja porta semillas. Se tiene como resultado de la Longitud total de la bandeja porta semillas es de 300 mm.

Tabla 7. Características de la bandeja porta semillas

Característica	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Material
Dimensión	300	32	20.7	Acero inoxidable

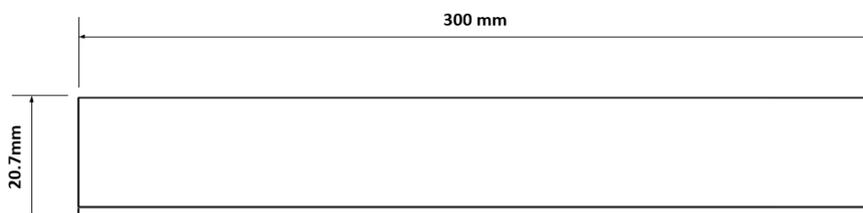


Fig. 44 Vista frontal de la bandeja porta semillas

Fuente: Propia

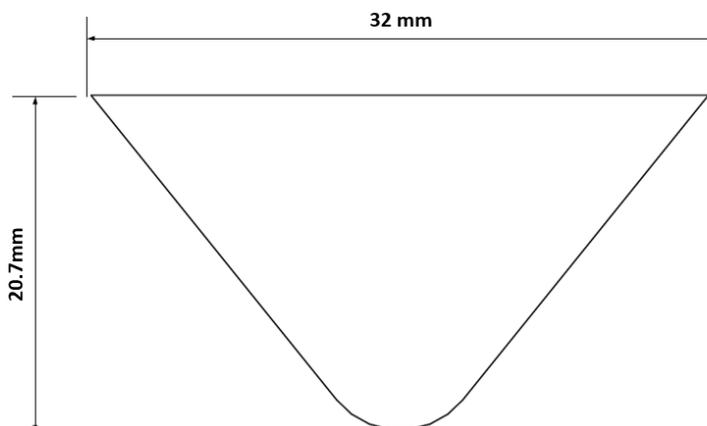


Fig. 45 Vista lateral derecha de la bandeja porta semillas

Fuente: Propia

Se calcula el volumen total de la bandeja porta semillas para poder determinar la cantidad de semillas necesarias para llenar la bandeja y así poder asegurar el llenado de un número determinado de bandejas de germinación por un ciclo de llenado.

$$V_{P.Semillas} = \frac{A \cdot h \cdot L}{2} \quad (28)$$

Dónde:

- $V_{P.Semillas}$ = Volumen de la bandeja porta semillas en mm^3
- A = Ancho en mm
- h = Altura en mm
- L = Longitud en mm

Entonces:

$$V_{P.Semillas} = \frac{32 \cdot 20.7 \cdot 300}{2}$$

$$V_{P.Semillas} = 99360 \text{ mm}^3$$

$$V_{P.Semillas} = 99.36 \cdot 10^{-6} m^3$$

Se calcula la masa de semillas que pueden ingresar en la bandeja porta semillas. *Densidad de la semilla de apio* = $950 \frac{kg}{m^3}$.

$$m_{en\ semillas} = V_{P.Semillas} (m^3) \cdot \rho_{semilla\ de\ apio} \frac{kg}{m^3} \quad (29)$$

Dónde:

- $m_{en\ semillas}$ = Masa total en el volumen del recipiente en kg

Entonces:

$$m_{en\ semillas} = 99.36 \cdot 10^{-6} \cdot 950$$

$$m_{en\ semillas} = 0.09439 \text{ kg}$$

$$m_{en\ semillas} = 94.39 \text{ gramos}$$

1 bolsa que trae 100 g de semillas y equivale a 300 mil semillas de apio (Dato obtenido del vivero industrial).

$$N_{\text{semillas}} = \frac{m_{\text{en semillas}} * N_{\text{de semillas por bolsa}}}{m_{\text{por bolsa}}} \quad (30)$$

Dónde:

- $m_{\text{por bolsa}}$ = Masa total de las semillas por bolsa en gramos
- $N_{\text{de semillas por bolsa}}$ = Numero total de semillas por bolsa
- N_{semillas} = Total de semillas que entran en la bandeja porta semillas

Entonces:

$$N_{\text{semillas}} = \frac{94.39 * 300\,000}{100}$$

$$N_{\text{semillas}} = 283170 \text{ semillas}$$

Se calcula el número de bandejas de germinación que se pueden procesar por cada ciclo de llenado de la bandeja porta semillas.

$$N_{\text{bandejas}} = \frac{N_{\text{semillas}}}{N_{\text{semillas por bandeja}}} \quad (31)$$

Dónde:

- N_{bandejas} = Cantidad de bandejas procesadas por cada ciclo de
- $N_{\text{semillas por bandeja}}$ = Numero de semillas por bandeja de germinación

Entonces:

$$N_{\text{bandejas}} = \frac{(283170)}{512}$$

$$N_{\text{bandejas}} = 553 \text{ bandejas}$$

Para calcular la masa de la bandeja porta semillas, el valor del volumen total del bloque multiplicado por el valor de la densidad del material..

$$V_{\text{solido}} = \frac{A * h * L}{2} \quad (32)$$

Dónde:

- V_{solido} = Volumen solido de la bandeja porta semillas en mm^3
- A = Ancho en mm

- h = Altura en mm
- L = Longitud en mm

Entonces:

$$V_{solido} = \frac{35 * 23.7 * 303}{2}$$

$$V_{solido} = 125669.25 \text{ mm}^3$$

$$V_{solido} = 125.669 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

Para hallar la de la bandeja porta semilla, restamos el volumen del solido menos el volumen de la porta semillas.

$$V_{bandeja \text{ porta semillas}} = V_{solido} - V_{P.Semillas}$$

$$V_{bandeja \text{ porta semillas}} = 125.669 * 10^{-6} - 99.36 * 10^{-6}$$

$$V_{bandeja \text{ porta semillas}} = 2.6309 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$m_{porta \text{ semillas}} = \rho_{material} * V_{bandeja \text{ porta semillas}} \quad (33)$$

Dónde:

- $m_{porta \text{ semillas}}$ = Masa total de la bandeja porta semillas en kg
- $\rho_{material}$ = Densidad del material en $\frac{kg}{m^3}$

Entonces:

$$\text{la masa con el material Acero inoxidable } \rho = 7900 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{total \text{ distribuidor}} = 7900 * 2.6309 * 10^{-6}$$

$$m_{total \text{ distribuidor}} = 0.20784 \text{ kg}$$

4.8. Masa de la semilla de Apio

Para elegir la potencia de trabajo requerida del generador de vacío, es necesario determinar el dimensionamiento de las semillas y algunas características acorde a lo que se quiere lograr. Primero calcularemos la masa de la semilla de Apio y luego la de lechuga.

$$m_{\text{Apio}} = \frac{\pi * d_1 * d_2 * \text{Ancho} * \rho_{\text{semilla}}}{4} \quad (34)$$

Dónde:

- π = Contante 3.1415
- ρ_{semilla} = Densidad de la semilla $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- d_1 = Diametro 1 de la semilla en mm
- d_2 = Diametro 2 de la semilla en mm
- **Ancho** = Ancho de la semilla en mm
- m_{Apio} = Masa de la semilla de apio en Kg

Acorde a las mediciones tomadas en el laboratorio, también de los datos tomados del modelamiento de la semilla, se obtiene los datos mostrados en la siguiente figura:

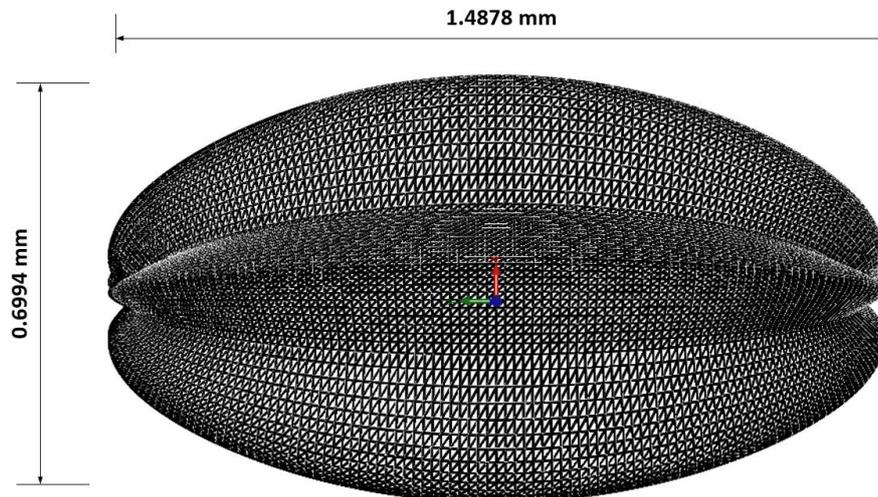


Fig. 46 Tamaño de la semilla de Apio

Fuente: Propia

Entonces la masa de la semilla del Apio es la siguiente sabiendo que la densidad de la semilla de apio es 950 kg/m³.

$$m_{\text{Apio}} = \frac{\pi * 0.0014878 * 0.0006994 * 0.0006994 * 950}{4}$$

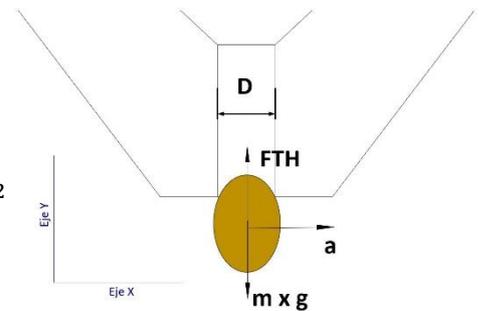
$$m_{\text{Apio}} = 5.4301 * 10^{-7} \text{ kg}$$

El cálculo de la masa de la semilla permite determinar la fuerza de retención de la punta, lo que nos permite saber si la punta que succiona la semilla está cumpliendo bien su función. Este cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$F_{TH} = m * (g + a) * S \quad (35)$$

Dónde:

- F_{TH} = Fuerza de Retención en N
- S = Factor de seguridad
- a = Aceleración del brazo robotico en m/s^2
- g = Aceleración de la gravedad $9.81 m/s^2$
- m = Masa de la semilla de apio en Kg



Para determinar la fuerza de retención teórica, tenemos que saber la velocidad máxima que puede alcanzar el brazo robótico, tenemos como dato que el brazo alcanza una aceleración de $5 m/s^2$ y vamos a tener un factor de seguridad de 2, esto para asegurar la adherencia de la semilla a la boquilla.

Entonces:

$$F_{TH} = 5.4301 * 10^{-7} * (9.81 + 5) * 2$$

$$F_{TH} = 1.608 * 10^{-5} \text{ N}$$

El dato obtenido nos permite determinar la fuerza de aspiración requerida para succionar las semillas. Otro dato importante a calcular es la fuerza de aspiración y está determinada por la siguiente formula.

$$F_S = \frac{F_{TH}}{n} \quad (36)$$

Dónde:

- F_{TH} = Fuerza de Retención en N
- F_S = Fuerza de aspiración en N
- n = Numero de boquillas

Entonces:

$$F_S = \frac{F_{TH}}{n}$$

$$F_S = \frac{1.608 * 10^{-5}}{17}$$

$$F_S = 9.4588 * 10^{-7} N$$

4.9. Diseño de la pieza para asegurar el acople de la herramienta electroneumática al robot. norma ISO 9409-1:2004

La norma ISO 9409-1:2004 define las dimensiones principales, designación y mercado de los platos circulares usados como interfaces mecánicas. Trata de asegurar la intercambiabilidad y mantener la orientación de los efectores finales montados manualmente. El acople debe ser diseñado acorde a las dimensiones dadas por esta norma (Fig. 48).

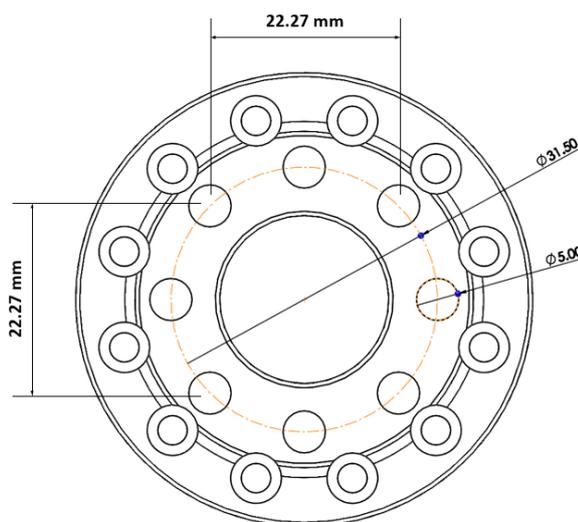


Fig. 47 Dimensiones del plato circular del robot

Fuente: Norma ISO 9409-1:2004

El acople debe asegurar que la herramienta electroneumática quede totalmente fijada al plato circular del robot. El acople debe ser parte de la herramienta electroneumática, la forma de sujeción no puede ser mediante pernos, ya que la herramienta no se puede perforar, la forma correcta es aplicando soldadura asegurando la fusión sin perforar el material. La ubicación de estos acoples estará ubicada en la parte superior de la herramienta de sembrado, deben estar correctamente centradas.

Tabla 8. Características de los acoples de la herramienta de sembrado

Característica	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Material
Dimensión	32.27	10	2	Acero inoxidable

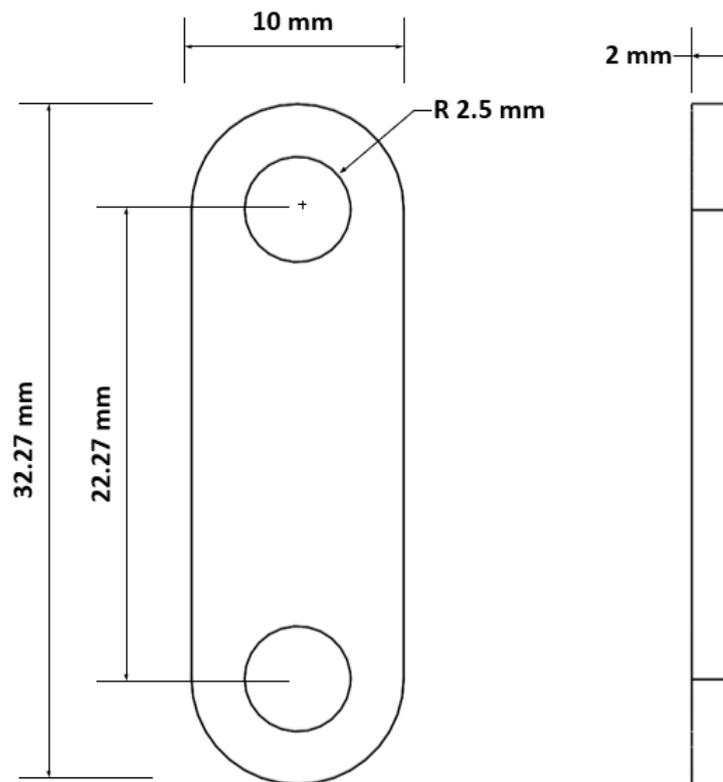


Fig. 48 Dimensiones del del acople

Fuente: Propia

Se calcula el volumen solido del acople, despreciamos las esquinas ya que no generará diferencia notable en el resultado.

$$V_{Acople\ Solido} = L * A * h \quad (37)$$

Dónde:

- $V_{Acople\ Solido}$ = Volumen del acople solido en mm^3
- A = Ancho en mm
- h = Altura en mm
- L = Longitud en mm

Entonces:

$$V_{Acople} = 32.27 * 10 * 2$$

$$V_{Acople} = 645.4 \text{ mm}^3$$

Se calcula el volumen hueco del acople:

$$V_{Acople\ hueco} = \pi * r^2 * h \quad (38)$$

Dónde:

- $V_{Acople\ hueco}$ = Volumen del acople hueco en mm^3
- r = radio en mm
- h = Altura en mm
- π = Costante 3.1416

Entonces:

$$V_{Acople\ hueco} = \pi * 2.5^2 * 2$$

$$V_{Acople\ hueco} = 39.26 \text{ mm}^3$$

Se tiene 2 áreas huecas, entonces:

$$V_{Acople\ hueco} = 39.26 * 2$$

$$V_{Acople\ hueco} = 78.5398 \text{ mm}^3$$

Se calcula el volumen del acople:

$$V_{Acople} = V_{Acople} - V_{Acople\ hueco} \quad (39)$$

Dónde:

- $V_{Acople} = \text{Volumen del acople } mm^3$

Entonces:

$$V_{Acople} = 645.4 - 78.5398$$

$$V_{Acople} = 566.86 \text{ } mm^3$$

$$V_{Acople} = 5.668 * 10^{-7} \text{ } m^3$$

Se calcula la masa del acople:

$$m_{Acople} = \rho_{material} * V_{Acople} \quad (40)$$

Dónde:

- $m_{Acople} = \text{Masa total del acople en kg}$
- $\rho_{material} = \text{Densidad del material en } \frac{kg}{m^3}$

Entonces:

la masa con el material Acero inoxidable $\rho = 7900 \frac{kg}{m^3}$

$$m_{Acople} = 7900 * 5.668 * 10^{-7}$$

$$m_{Acople} = 0.00447 \text{ } kg$$

Se tiene 2 acoples, entonces:

$$m_{Acople} = 0.00447 * 2$$

$$m_{Acople} = 0.008955 \text{ } kg$$

$$m_{Acople} = 8.95 \text{ } \textit{gramos}$$

Ahora se calcula la masa agregada por la soldadura:

Para soldar acero inoxidable se utiliza la soldadura TIG.

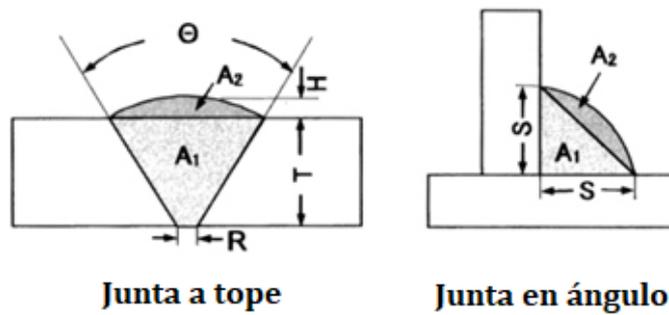


Fig. 49 Tipo de juntas de soldadura TIG

Fuente: Kabelco

El tipo de junta que vamos a realizar en la junta por Angulo, ya que el acople está ubicado en perpendicular a la herramienta de sembrado.

Dónde:

- S = Altura y ancho del cordón de soldadura en mm
- $A1$ = Area 1 del cordón de soldadura en mm^2
- $A2$ = Area 2 del cordón de soldadura en mm^2

Se calcula el A1 del cordón de soldadura

$$A1 = \frac{S^2}{2} \tag{41}$$

Entonces:

$$A1 = \frac{1^2}{2}$$

$$A1 = 0.5 \text{ mm}^2$$

En la Fig. 50 se muestra la forma correcta de hallar el A2. Se sabe que la soldadura es en ángulo y posición plana.

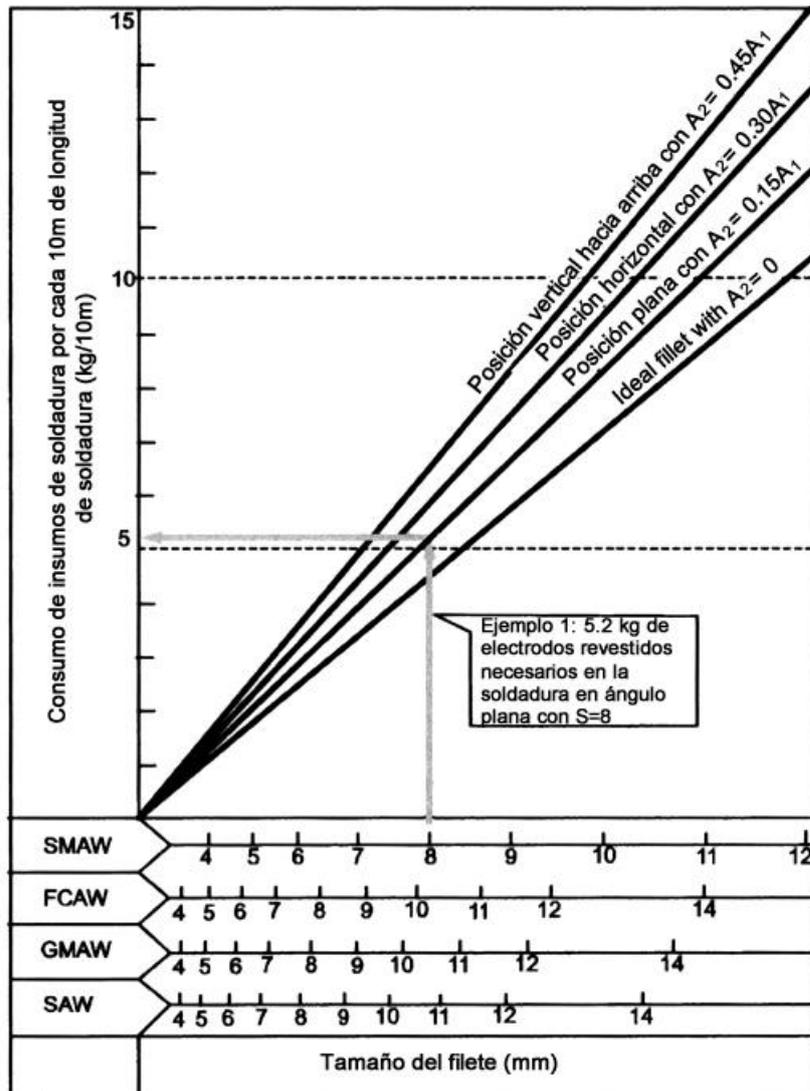


Fig. 50 Calculo de la cantidad de electrodos en Kg

Fuente: Kabelco

Entonces:

$$A2 = A1 * 0.15$$

$$A2 = 0.075 \text{ mm}^2$$

Se calcula el volumen del cordón de soldadura:

$$V_{Cordon} = (A1 + A2) * L \tag{42}$$

Dónde:

- V_{Cordon} = Volumen del cordon de soldadura en mm^3
- L = Longitud de soldadura en mm

Se sabe que la longitud de la soldadura es igual al ancho de la herramienta de sembrado $L = 12.7 \text{ mm}$

Entonces:

$$V_{\text{Cordon}} = (0.5 + 0.075) * 12.7$$

$$V_{\text{Cordon}} = 7.3025 \text{ mm}^3$$

La soldadura se aplicará a los dos acoples, por lo que se aplicaran 4 líneas de soldadura iguales.

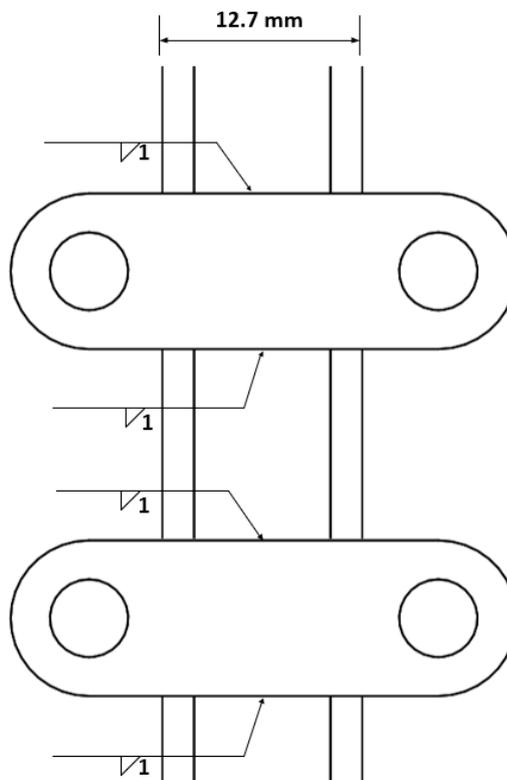


Fig. 51 Vista superior de la herramienta de sembrado.

Fuente: Propia

Entonces:

$$V_{\text{Cordon}} = 7.3025 * 4$$

$$V_{\text{Cordon}} = 29.21 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{Cordon}} = 2.921 * 10^{-8} \text{ m}^3$$

Se calcula la masa del cordón de soldadura

$$m_{Cordon} = \rho_{material} * V_{Cordon} \quad (43)$$

Dónde:

- m_{Cordon} = Masa total del cordon de soldadura kg
- $\rho_{material}$ = Densidad del material en $\frac{kg}{m^3}$

Entonces:

calculamos la masa con el material Acero inoxidable $\rho = 7900 \frac{kg}{m^3}$

$$m_{cordon} = 7900 * 2.921 * 10^{-8}$$

$$m_{Cordon} = 0.000230 \text{ kg}$$

$$m_{Cordon} = 0.230 \text{ gramos}$$

4.10. Selección de equipos neumáticos.

4.10.1. Generador de vacío

Para seleccionar el generador de vacío que se utilizará para succionar las semillas, es necesario definir su potencia de succión en función de la distancia a la que serán succionadas las semillas, principalmente el diámetro del cabezal de succión. El generador de vacío que se utilizará, se puede definir de acuerdo con las necesidades o requisitos existentes para realizar la función de succión de las semillas.

$$Q_{Succión} = \frac{(V_{Total} * 60)}{T} \quad (44)$$

Dónde:

- $Q_{Succión}$ = Caudal de succión L/min
- V_{total} = Volumen total del sistema en Litros
- T = Tiempo necesario para alcanzar la presión de vacío final en seg

Para calcular el volumen total de sistema sumaremos el volumen hueco total de la herramienta de sembrado, volumen hueco de las boquillas y el volumen hueco de la manguera flexible.

$$V_{total} = V_{huevo\ boquillas} + V_{huevo\ distribuidor} + V_{manguera} \quad (45)$$

Dónde:

- $V_{manguera}$ = Volumen total de la manguera flexible en mm^3

Se halla el volumen de la manguera, sabiendo que tendrá una distancia aproximada de 1.5 metros desde la herramienta hasta el generador de vacío

$$V_{manguera} = \frac{\pi * d^2 * L}{4} \quad (46)$$

Dónde:

- L = Distancia de la manguera en mm
- π = Costante 3.1416
- d = diametro interno de la manguera mm

Entonces:

$$V_{manguera} = = \frac{\pi * 3.5^2 * 1500}{4}$$

$$V_{manguera} = = 14431.69 \text{ mm}^3$$

Se aplica la ecuación 46:

$$V_{total} = 553.07 + 24844.5393 + 14431.69$$

$$V_{total} = 39840.2993 \text{ mm}^3$$

$$V_{total} = 0.0398 \text{ L}$$

Se aplica la ecuación 44, teniendo en cuenta un tiempo de acción para alcanzar la presión de vacío de 100 ms a 500 ms y debe ser constante, tomamos el promedio.

$$Q_{\text{Succión}} = \frac{0.0398 * 60}{0.1}$$

$$Q_{\text{Succión}} = 23.88 \text{ L/min}$$

Para hallar el caudal máximo se considera un factor de seguridad de 3.

$$Q_{\text{max}} = 3 * Q_{\text{Succión}} \quad (47)$$

Dónde:

- Q_{max} = Caudal máximo de succión en L/min

Entonces:

$$Q_{\text{max}} = 3 * 23.88$$

$$Q_{\text{max}} = 71.64 \text{ L/min}$$

La ficha técnica del generador de vacío seleccionado se encuentra en el Anexo N° 5.

4.10.2. Compresor neumático recomendado

El compresor debe suministrar suficiente aire para mantener la unidad funcionando durante la siembra. El análisis determinó los parámetros de presión y caudal que debe mantener el compresor para hacer funcionar el eyector. El monto de la recaudación del depósito se calcula utilizando la siguiente ecuación.

$$V_{\text{Compresor}} = \frac{T * C * P_{\text{atm}}}{P_1 - P_2} \quad (48)$$

Dónde:

- T = Tiempo entre arranques consecutivos del compresor en min
- C = Consumo de aire
- P_{atm} = Preción atmosférica en kPa
- P_1 = Preción máxima del compresor en kPa
- P_2 = Preción mínima del compresor en kPa
- $V_{\text{Compresor}}$ = Columen del compresor en L

Entonces:

La presión de trabajo del generador de vacío es de 6 bares; el caudal consumido es de 71 l/min. El valor normalizado de la presión atmosférica es de 1 bar, y el número máximo de arranques por hora es de 12, es decir, cada 6 minutos.

$$V_{Compresor} = \frac{5 * 71 * 100}{600 - 100}$$

$$V_{Compresor} = 71 L$$

La ficha técnica del compresor seleccionado se encuentra en el Anexo N° 9.

4.10.3. Electroválvula

Se utilizarán dos válvulas 2/2 neumáticas de 2 direcciones y dos posiciones de control (Fig. 53). La primera válvula solenoide está conectada a la línea del generador de vacío y se activa para aspirar la semilla fuera de la bandeja de semillas. Luego se activa otra válvula solenoide conectada al tubo de la planta sin el generador de vacío y permite que el aire comprimido pase y empuje las semillas desde las boquillas hasta la bandeja de germinación. Las válvulas son accionadas por electroválvulas de 24 voltios CC y las líneas de suministro están conectadas a un módulo de relés que recibe señales del Delta PLC. Ver ficha técnica del Anexo N° 4.

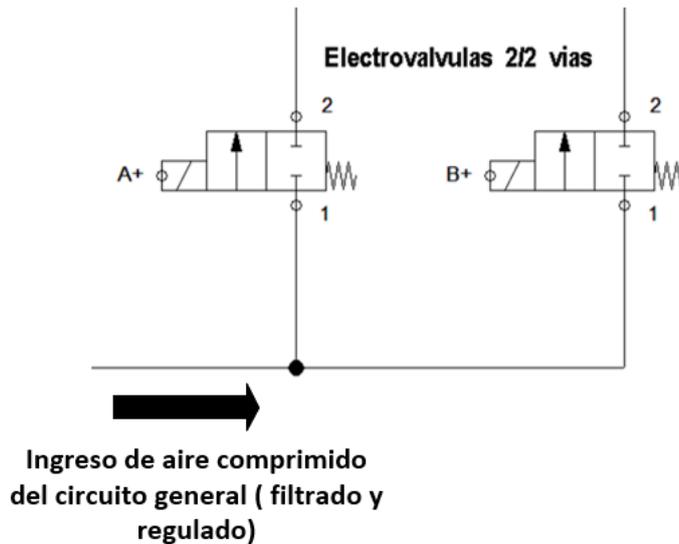


Fig. 52 Electroválvulas 2/2 vías

Fuente: Propia

4.10.4. Regulador de presión

Con 2 reguladores de presión, la fuerza de succión y expulsión en la sembradora se puede calibrar manualmente. Un regulador de 0 - 6 bar está ubicado en la salida de la válvula solenoide para permitir que el aire comprimido fluya hacia el generador de vacío. Además, se coloca otro regulador de presión 1 - 6 bar a la salida de la electroválvula para permitir que el aire comprimido empuje las semillas, haciendo la transmisión en un rango de muy baja presión (0,5 bar). evita la siembra Cuando las semillas rebotan en el sustrato. Ver ficha técnica del Anexo N° 7.

4.10.5. Selección de manguera

Las conexiones entre el regulador de presión, generador de vacío, válvula de conmutación y boquillas dosificadoras que componen el sistema de aspiración se realizarán mediante mangueras de poliuretano de 6 mm de diámetro para instalaciones de aire comprimido. Los acoples son conectores rápidos, también de 6mm, y estarán ubicados en la entrada y salida de cada unidad.

4.11. Diagrama de conexión neumática:

Este circuito neumático (Fig. 54) consta de varios componentes clave que trabajan juntos para proporcionar un rendimiento óptimo. El compresor de aire entrega aire comprimido a través de un filtro regulador de presión que asegura un suministro constante y controlado. La válvula solenoide direccional (válvula solenoide) es el corazón del circuito neumático ya que controla el flujo de aire al actuador neumático. La válvula se activa y se cierra mediante una señal eléctrica del controlador, lo que garantiza una implantación precisa y controlada.

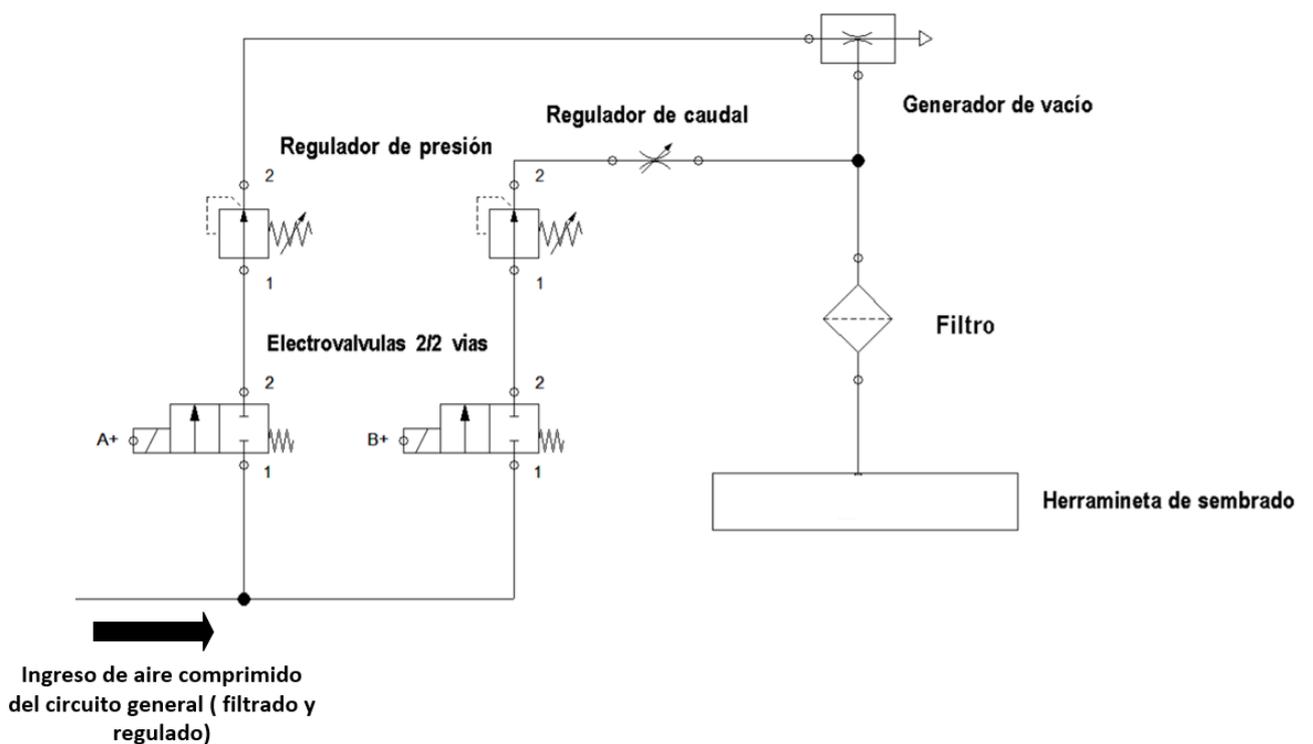


Fig. 53 Diagrama de conexión neumática

Fuente: Propia

4.12. Diagrama de conexión eléctrica

El diagrama muestra la conexión entre el controlador (PLC) y la válvula solenoide de control direccional. Estas válvulas son activadas por una señal eléctrica del regulador que controla el flujo de aire comprimido al actuador neumático. Esta conexión eléctrica asegura que las válvulas se accionen sincrónicamente y en el momento adecuado, lo que permite un control preciso del movimiento del mecanismo de siembra.

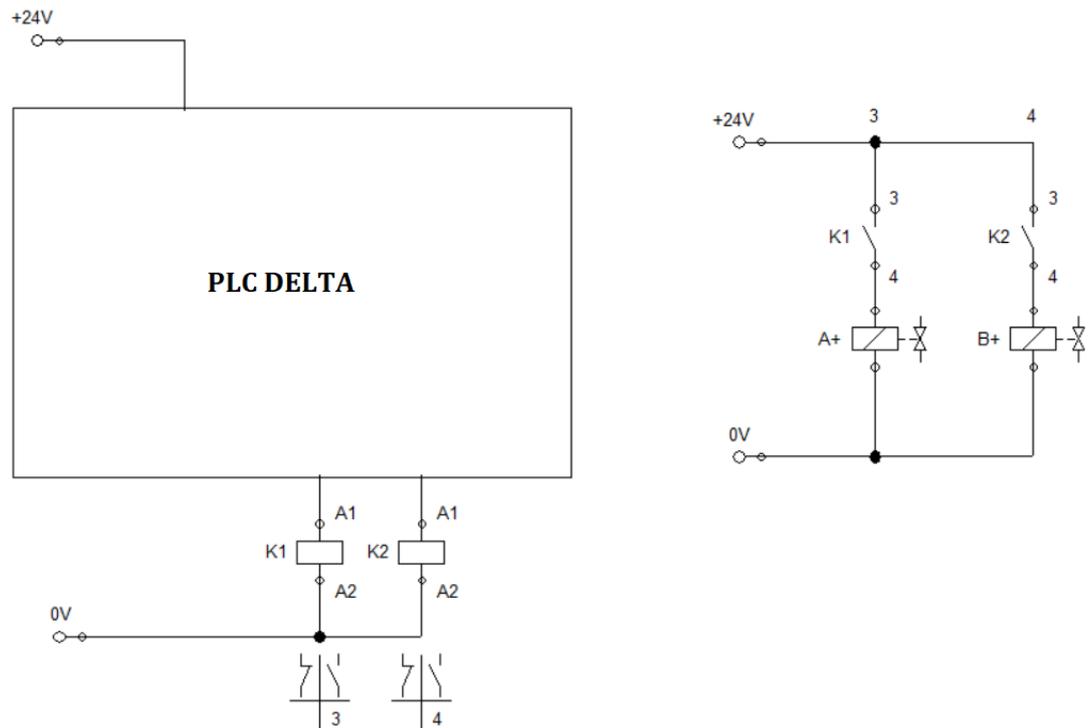


Fig. 54 Diagrama de conexión eléctrica

Fuente: Propia

4.13. Diagrama de control

El sistema de control de la sembradora automática se basa en un diagrama que muestra en detalle la interacción de los componentes eléctricos y neumáticos. El controlador es un PLC (Controlador Lógico Programable) que envía señales eléctricas a las respectivas válvulas solenoides para controlar el flujo de aire comprimido y aire de succión. En primer lugar, cuando el brazo del robot está en la posición de recogida en la porta semillas, se activa una válvula solenoide de 2/2 vías que permite que el aire fluya hacia el actuador. Esto le permite chupar y agarrar las semillas. Luego, el sistema mantiene la succión hasta que el brazo del robot indica que ha alcanzado la posición de caída de semillas. En este punto, la válvula solenoide de succión se desactiva y otra válvula solenoide de 2/2 vías se activa inmediatamente, lo que permite que entre aire comprimido en el sistema para una inyección precisa de semillas. El diagrama de control (Fig. 56) proporciona una comprensión clara e intuitiva de cómo controlar el proceso de plantación

automatizado, lo que garantiza un funcionamiento eficiente y fiable de la sembradora. Además, las señales de posición del brazo robótico proporcionan retroalimentación al controlador, lo que permite un control preciso y garantiza un sembrado preciso en las bandejas de semillas.

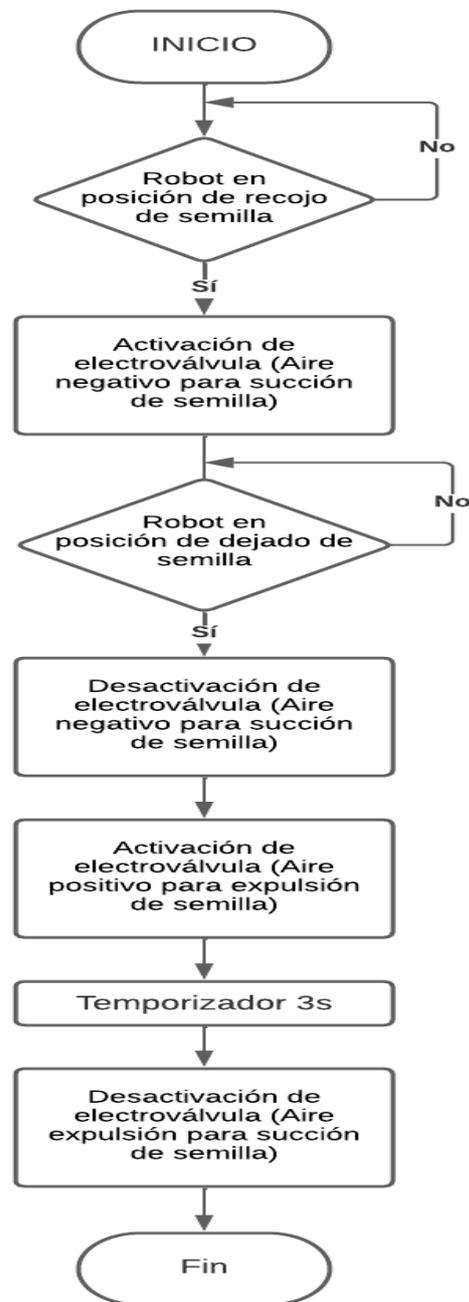


Fig. 55 Diagrama de control

Fuente: Propia

Una vez finalizado el proceso de expulsión de las semillas en las bandejas de germinación, se emplea un algoritmo de visión artificial para evaluar los

orificios o conos de las bandejas. Este algoritmo tiene la capacidad de analizar imágenes capturadas por una cámara u otro dispositivo de visión instalado en el sistema. El algoritmo de visión artificial procesa las imágenes para detectar y reconocer los orificios vacíos en las bandejas de germinación. Utilizando técnicas de procesamiento de imágenes, como segmentación, detección de contornos y análisis de texturas, el algoritmo identifica aquellos orificios que no contienen semillas. Una vez que se obtiene esta información, el sistema de control del sembrador utiliza los datos proporcionados por el algoritmo de visión artificial para determinar los puntos específicos donde se deben realizar las siguientes siembras. El brazo robótico se dirige a estos puntos y la herramienta de sembrado realiza la siembra en los orificios vacíos detectados.

La integración del algoritmo de visión artificial en el proceso de siembra automatizada mejora la eficiencia y precisión del sistema. Al detectar los orificios vacíos, se evita la sobre siembra en aquellos puntos que ya están ocupados, lo que optimiza el uso de las semillas y garantiza un crecimiento uniforme de las plántulas.

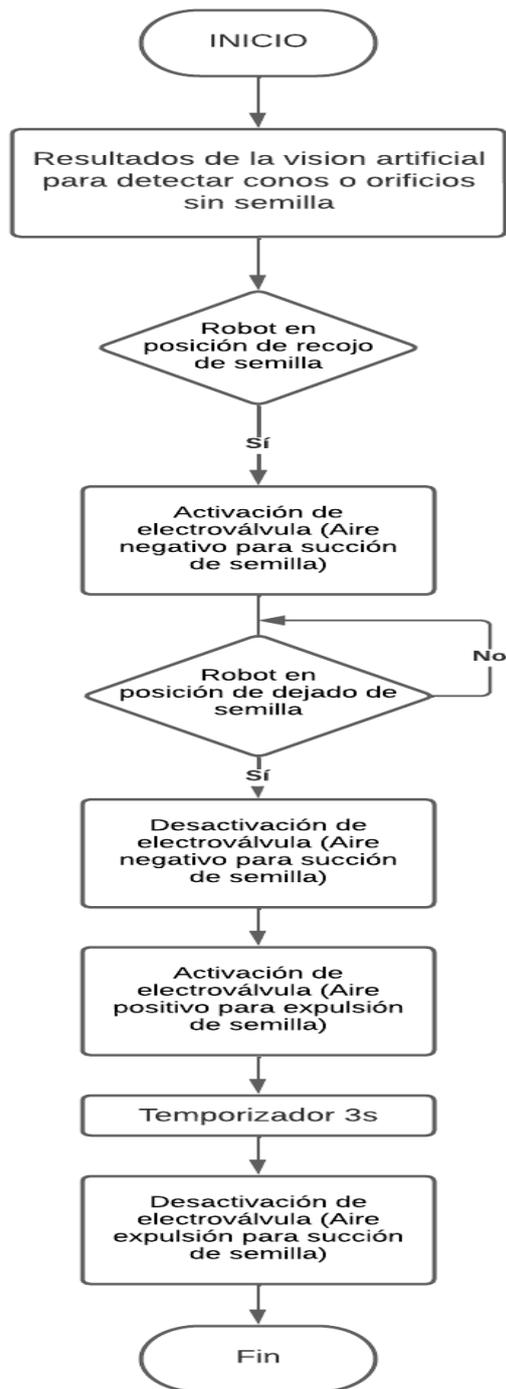


Fig. 56 Diagrama de control para relleno de semillas

Fuente: Propia

4.14. Modelación y simulación

Para asegurar un funcionamiento eficiente y preciso de la herramienta de sembrado, se lleva a cabo un proceso de modelación y simulación (Fig. 57). Esto permite evaluar y perfeccionar el diseño de la herramienta.

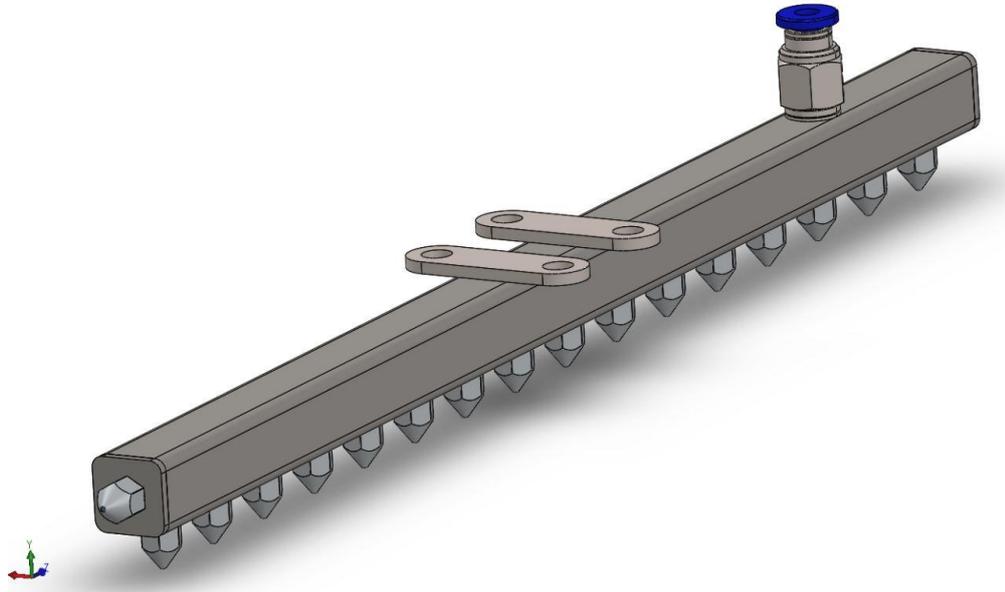


Fig. 57 Modelado de herramienta en 3D

Fuente: Propia

La modelación de la herramienta de sembrado se realiza utilizando software de diseño asistido por computadora especializado. En esta etapa, se generan modelos en tres dimensiones (3D) que representan fielmente la geometría y características físicas de la herramienta. Se consideran aspectos como el tamaño y forma de la boquilla de siembra, la estructura del mecanismo de expulsión de semillas y los elementos de agarre y sujeción.

Mediante la definición de parámetros como el flujo de aire, la presión de succión y la fuerza de expulsión, se simula el comportamiento y funcionamiento de la herramienta en diferentes escenarios. En la Fig. 58 se tiene como resultado el comportamiento de la velocidad del aire dentro de la herramienta, mientras que en la Fig. 59 el comportamiento de la presión.

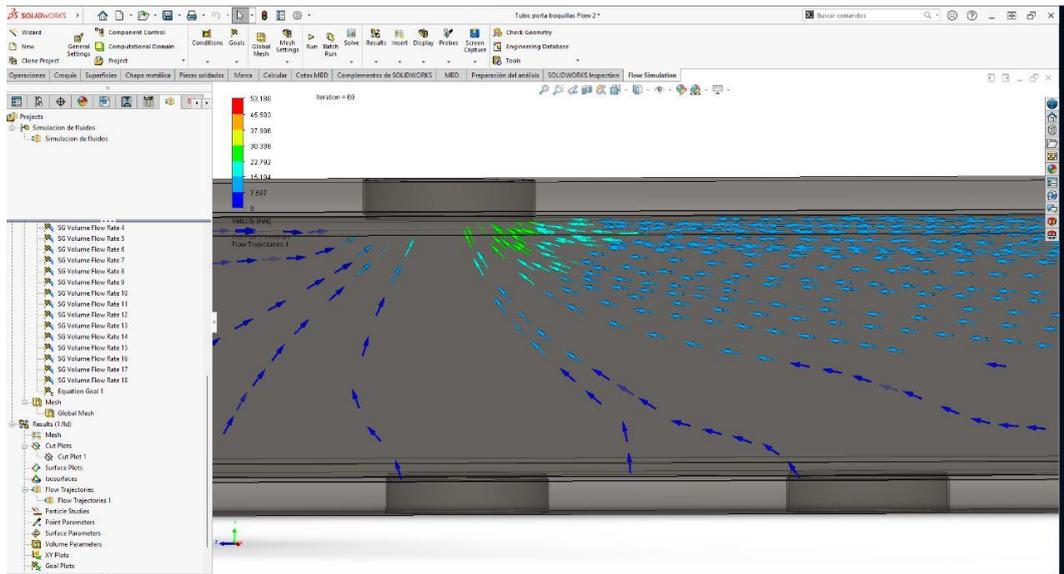


Fig. 58 Análisis de velocidad

Fuente: Propia



Fig. 59 Análisis de presión

Fuente: Propia

En los resultados de la simulación, se obtiene que la velocidad máxima a un caudal de 70 L/min es de 22.7 m/s en la salida y 7.59 m/s en cada boquilla, un dato importante en el diseño de la herramienta es la presión la cual debe ser constante e igual en toda la herramienta, en la simulación se puede observar que la presión negativa suficiente para sujetar las semillas es de 103 Kpa equivalentes a 1 bar, sabemos que el compresor entrega una presión de 0 a 6 bar por lo que estamos dentro del margen. En la Fig. 60 se

puede visualizar el comportamiento de la presión de una sola boquilla donde la presión va acorde de toda la herramienta, 1 bar.

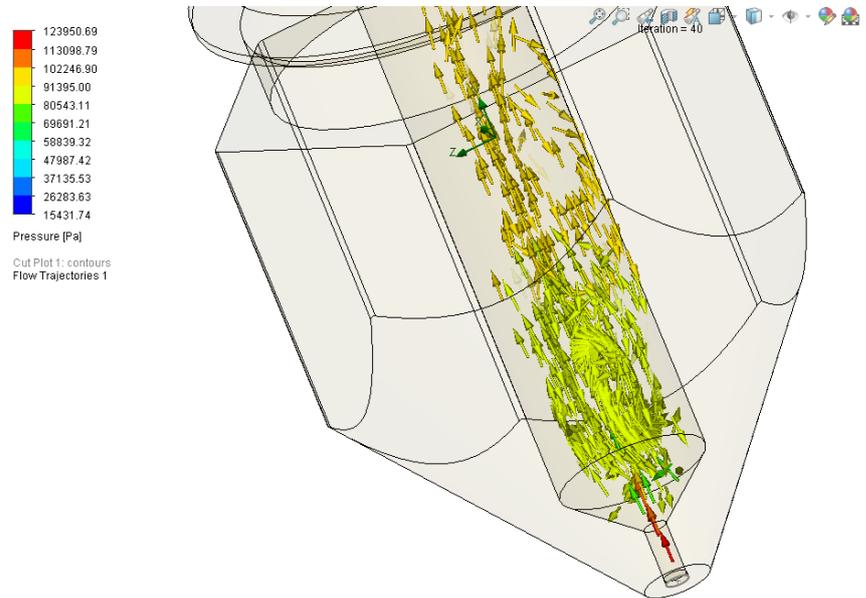
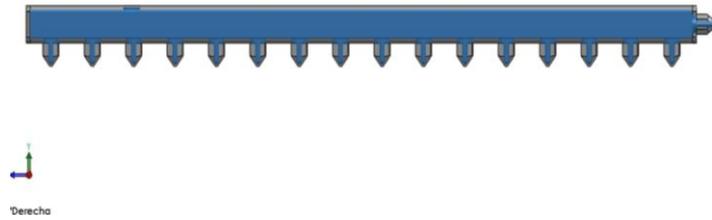


Fig. 60 Análisis de boquilla

Fuente: Propia

La simulación de la herramienta de sembrado proporciona valiosa información sobre su desempeño y permite identificar posibles áreas de mejora. Basándose en los resultados obtenidos, se pueden realizar ajustes en el diseño, como la optimización de los componentes, la modificación de parámetros de control o la implementación de nuevas características.

La simulación también permite corroborar los resultados de los volúmenes calculados en el diseño de la herramienta (Fig. 61). Los resultados arrojaron que el volumen de succión total es de $2.35 * 10^{-5} m^3$ mientras que en el cálculo realizado es de $1.98 * 10^{-5} m^3$ esta diferencia se debe a que en el CAD 3D se toma en cuenta las rocas de las boquillas donde se acumula un aire.



Results
Status: SUCCESSFUL. Problems detected and fixed
Invalid contacts unresolved: 93
Analysis type: Internal
Fluid volume: 2.35514e-05 m ³
Solid volume: 0.000172095 m ³
Check completed

Fig. 61 Análisis de volumen

Fuente: Propia

Para el acople se realiza un análisis de Von Mises para determinar cuál es la presión generada por la fuerza o carga de la herramienta en N/m^2 , esta simulación se realiza ya que el acople es la unión entre la herramienta de sembrado y el brazo robótico, en la simulación de la Fig. 62 se puede observar que la presión máxima es de $2.61 \times 10^4 N/m^2$.

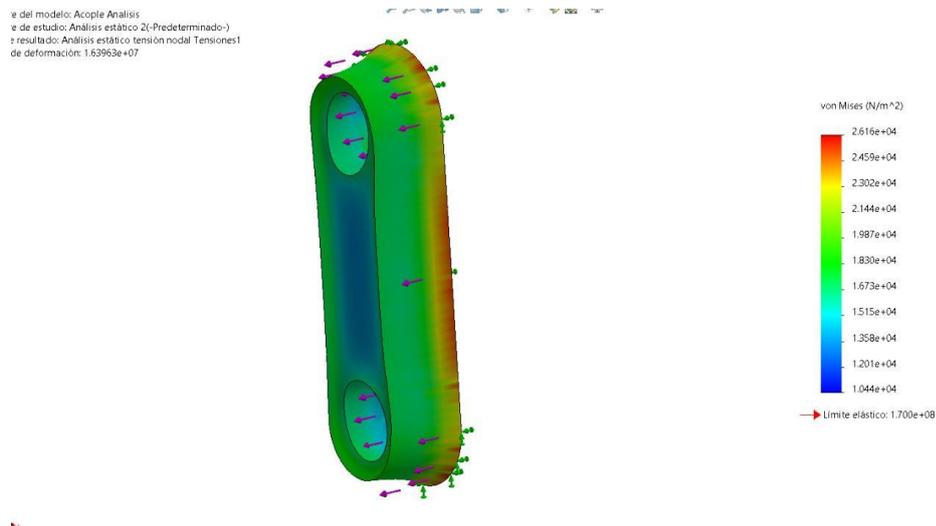


Fig. 62 Análisis de Von Mises

Fuente: Propia

V. DISCUSIÓN

La caracterización detallada de las semillas de apio proporciona información crucial para el diseño de la herramienta de siembra. Los criterios de diseño y las necesidades funcionales se determinan a partir de aspectos como el tamaño, forma, peso y comportamiento de las semillas. A Diferencia de Acosta (2014) que trabaja con semillas de tomate y pimiento las cuales son semillas de (4 mm x 2.5 mm) y (4.6 mm x 3.5 mm) respectivamente, en esta tesis se trabajó con la semilla de apio con una dimensión de 0.6 mm * 1.4 mm. Estos datos permiten establecer parámetros precisos para el sistema de succión y aseguran una manipulación adecuada de las semillas durante el proceso de siembra.

La correcta configuración del sistema mecánico y electroneumático de la herramienta es esencial para lograr una succión segura de las semillas de apio. Esto implica la selección de componentes adecuados, como electroválvulas y actuadores, así como la implementación de un sistema de control eficiente. En Loayza (2018) el autor realiza el cálculo para para determinar la fuerza de succión de la semilla (F_{TH}), al tratarse de semillas distintas el autor tiene un resultado de 0.981 N, ya que su propuesta es para un sembrador de tipo cilindro de 169 boquillas, en esta tesis se tiene un resultado de $1.608 * 10^{-5} N$ al solo tener 17 boquillas. El diseño óptimo garantiza la precisión y confiabilidad de la succión, evitando problemas como la obstrucción o daño a las semillas.

El sistema de control y la lógica de trabajo son elementos clave para la automatización del proceso de siembra en las bandejas de germinación. Se requiere un algoritmo de control que coordine las acciones del brazo robótico, las electroválvulas y otros dispositivos relevantes. La lógica de trabajo determina la secuencia de operaciones, como la activación de la succión en la posición de recojo y la expulsión de las semillas en la posición de dejado. Lixin (2010) incluyó las pruebas de varios elementos de la siembra de precisión, succión, mecanismo y presión. Usando un controlador programable de la serie F1 de Mitsubishi, en esta tesis como se menciona, la herramienta diseñada es parte del proyecto “Desarrollo e Implementación

de una Máquina Automatizada Multifuncional para la Siembra de Semillas de Diferentes Tamaños en bandejas multicelda y Repique de Plantines según calidad de Crecimiento” el cual trabaja con un PLC de la marca Delta el cual se programa en el lenguaje Ladder, nos aseguramos que en el diseño del hardware sea compatible con los equipos seleccionados en esta tesis. La eficiencia y precisión del sistema de control garantizan una siembra automatizada efectiva.

Validación del diseño mediante simulación: La simulación de fluidos basada en modelos CAD proporciona una herramienta eficaz para evaluar y validar el diseño de la herramienta sembradora. El autor Xu et al. (2023) empleó un modelo que combina elementos discretos y dinámica de fluidos para simular el proceso de trabajo del dispositivo y De Anda López (2018), somete a distintas velocidades de aire (en una posición que ofrece la menor resistencia), por lo que en esta tesis se tomó ambas referencias obteniendo los resultados del comportamiento del aire de succión en la herramienta, como también el análisis de la boquilla de succión, modelando su comportamiento. Los cálculos de fuerza de succión se ingresaron al programa para obtener resultados más precisos del comportamiento del fluido dentro de la herramienta. Esto permite identificar posibles problemas, ajustar parámetros y optimizar el diseño antes de la implementación física. La validación del diseño mediante simulación garantiza la eficiencia y precisión del proceso de siembra automatizada.

VI. CONCLUSIONES

1. La caracterización detallada de las semillas de apio permitió obtener criterios de diseño precisos y necesidades funcionales para el desarrollo de la herramienta de siembra. Estos datos fueron fundamentales para garantizar una succión segura y una manipulación adecuada de las semillas durante el proceso de siembra automatizada.
2. El diseño mecánico y electroneumático de la herramienta, considerando los componentes adecuados, se calculó el volumen hueco de la herramienta ($0.0398 L$), para seleccionar los equipos neumáticos y electroneumáticos. Se sabe que los brazos robóticos son diseñados acorde a la carga que tendrán en el efector final por lo que, con el volumen hueco de la herramienta, se halla la masa total ($m_{total\text{ sembrador}} = 0.14624 kg$).
3. Se modeló la semilla de apio para determinar sus características y así determinar la fuerza de succión de la herramienta de $F_{TH} = 1.608 * 10^{-5} N$. para lograr una succión precisa y confiable de las semillas. También, se diseñó la bandeja porta semillas el cual tiene una capacidad para sembrar 563 bandejas de germinación. La selección adecuada de electroválvulas, actuadores y otros elementos permitió optimizar el desempeño de la herramienta y evitar posibles obstrucciones o daños a las semillas.
4. En el algoritmo de control coordinó las acciones del brazo robótico y las electroválvulas, asegurando una secuencia adecuada de operaciones y una siembra precisa en los puntos deseados en las bandejas de germinación.
5. La simulación de fluidos basada en modelos CAD fue una herramienta valiosa para validar el diseño de la herramienta sembradora antes de su implementación física. Mediante la simulación, se identificaron posibles problemas, se ajustaron parámetros y se optimizó el diseño, lo que resultó en un proceso de siembra automatizada más eficiente y preciso. También, se logró corroborar algunos resultados matemáticos del diseño como el volumen hueco y la masa de la herramienta.

VII. RECOMENDACIONES

Continuar investigando y desarrollando técnicas de caracterización de semillas más precisas y específicas para diferentes tipos de cultivos. Esto permitirá obtener criterios de diseño aún más detallados y adaptados a las necesidades de cada semilla.

Explorar y evaluar diferentes opciones de componentes mecánicos y electroneumáticos para la herramienta de siembra, considerando su desempeño, durabilidad y costo. Esto garantizará la selección de los elementos más adecuados para cada aplicación y optimizará la funcionalidad de la herramienta.

Investigar y desarrollar algoritmos de control más avanzados y sofisticados que permitan una mayor precisión en la siembra automatizada. La incorporación de técnicas de visión artificial y aprendizaje automático puede mejorar aún más la detección y ubicación de los puntos de siembra en las bandejas de germinación.

Realizar pruebas y experimentos a nivel físico para validar y optimizar el diseño de la herramienta sembradora. Esto incluye la implementación del brazo robótico, la herramienta de siembra y la interacción con las bandejas de germinación. La retroalimentación obtenida de estas pruebas contribuirá a mejorar aún más el rendimiento y la eficiencia del sistema.

REFERENCIAS

1. SANCHEZ MANAYAY, Reynaldo. El agro en cifras. Boletín estadístico mensual. 2023, 2021-08064.
2. Actividad económica. Notas de estudios del BCRP. 2023, 1(13), 3.
3. LOYOLA, Nelly. Plan estratégico de recursos humanos para la mejora de las relaciones laborales en Camposol s.a. Resumen extendido de Tesis de postgrado, Universidad del pacifico, 2016.
4. TELLO, Mario. Productividad, capacidad tecnológica y de innovación, y difusión tecnológica en la agricultura comercial moderna en el Perú: un análisis exploratorio regional. Economía. 2016, 1(77), 114.
5. ÁLVAREZ, Miriam. La simulación en la industria. Tesis de pregrado, FICA - EISIC, 2018.
6. ACOSTA JARAMILLO, Carlos Andrés. 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. Pregrado, Universidad técnica del norte, 2014 [consultado el 5 de julio de 2023].
7. ZHAO LIXIN, Zhang Jietai. Application of programmable controller in precision seeder. International journal of engineering research and technology. 2010, 1(5), 4 [consultado el 5 de julio de 2023].
8. DE ANDA LÓPEZ, Rosa María. Modelación y simulación de sistema dosificador de semillas para sembradora automática de charolas de germinación. Tesis de postgrado, CIATEQ, 2018 [consultado el 3 de marzo de 2023].
9. XU, Jian et al. Design and optimisation of seed-metering plate of air-suction vegetable seed-metering device based on DEM-CFD. Biosystems Engineering [en línea]. 2023, 230, 277–300 [consultado el 11 de julio de 2023]. ISSN 1537-5110. Disponible en: doi:10.1016/j.biosystemseng.2023.04.018.
10. BARRIONUEVO ORTIZ, Freddy Gonzalo. Diseño y construcción de una máquina sembradora automática de semillas en bandejas con control de

- proceso para la empresa hortifresh. Tesis de pregrado, Universidad de las fuerzas armadas, 2015 [consultado el 3 de julio de 2023].
11. GUERRA ORDOÑEZ, Marco Santiago. Diseño y construcción de un sistema de sembrado automático para semillas de tomate en bandejas de germinación. Tesis de pregrado, Universidad politécnica salesiana, 2022 [consultado el 2 de marzo de 2023].
 12. GUALLICHICO CONCHAMBAY, Miguel Alejandro. Desarrollo de una máquina sembradora lineal en bandejas de germinación para la fundación cambugán. Tesis de pregrado, Universidad politécnica salesiana sede quito, 2019 [consultado el 8 de julio de 2023].
 13. SANCHEZ MOYA, Jonatan Francisco. Efecto de aplicacion del biofertilizante humega en tres diferentes dosis en la produccion del apio (*apium graveolens* l var. bonanza), en condiciones del valle de santa catalina. Tesis de pregrado, Universidad privada antenor orrego, 2017 [consultado el 11 de mayo de 2023].
 14. CORREA BRAVO, Cristhian Alexander. Desarrollo de una máquina electrónica automatizada para el sembrado en bandejas de dos tipos de semillas. Tesis de pregrado, Universidad politécnica salesiana sede quito, 2022 [consultado el 3 de mayo de 2023].
 15. VARGAS TAMANI, Bruno. Efectos del retardo en el control de lazo cerrado de plantas sobreamortiguadas. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*. 2012, 1(15), 11 [consultado el 2 de julio de 2023]. ISSN 1560-9146.
 16. SOLER, Joan, Manuel GÓMEZ y José RODELLAR. Un algoritmo para el diseño de un controlador en lazo abierto en canales. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería* [en línea]. 2011, 27(4), 304–318 [consultado el 12 de julio de 2023]. ISSN 0213-1315. Disponible en: doi:10.1016/j.rimni.2011.08.003.
 17. ASTUDILLO CORTEZ, Vicente Paul. Desarrollo de una máquina semiautomática para la colocación de semillas de 5 mm hasta 10 mm en almácigos de 28x28 cm. Pregrado, Escuela superior politécnica de chimborazo, 2018 [consultado el 11 de julio de 2023].

18. MILTON JAVIER, Nata Telenchana. Sembradora semiautomática de semillas de hortalizas crucíferas y su influencia en la producción de la empresa agrofuturo. Tesis de pregrado, Universidad técnica de ambato, 2016 [consultado el 1 de julio de 2023].
19. LOAYZA MONTALVO, Santiago Martin. Diseño e implementación de una línea semiautomática sembradora de semillas para el proceso de germinación de plántulas. Tesis de pregrado, Universidad de las fuerzas armadas, 2018 [consultado el 7 de julio de 2023].
20. JUAN GABRIEL, Fonseca Villena. Estudio de métodos tecnológicos alternativos para la siembra de semillas de tomate en bandejas y su incidencia en el tiempo de siembra en los viveros de la pilonera “cunchibamba” de la ciudad de ambato. Tesis de pregrado, Universidad técnica de ambato, 2011 [consultado el 7 de julio de 2023].
21. SUN, Xinping, LI, Hua, QI, Xindan, NYAMBURA, Samuel Mbugua, YIN, Jiaqiao, MA, Yunlong and WANG, Jinshuang. Performance Parameters Optimization of a Three-Row Pneumatic Precision Metering Device for Brassica chinensis. Agronomy [online]. 23 April 2022. Vol. 12, no. 5, p. 1011. DOI 10.3390/agronomy12051011. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12051011>.
22. Análisis experimental y modelado de compresores a espiral en aplicaciones hvac/r. Scientia et Technica. 2010, 1(44), 7 [consultado el 8 de julio de 2023]. ISSN 0122-1701.
23. SHARABY, Noureldin, Artyom DOROSHENKO y Andrey BUTOVCHENKO. Modelling and verification of sesame seed particles using the discrete element method. Journal of Agricultural Engineering [en línea]. 2022, 53(2) [consultado el 11 de julio de 2023]. ISSN 2239-6268. Disponible en: doi:10.4081/jae.2022.1286
24. GAIKWAD, B. B. y N. P. S. SIROHI. Design of a low-cost pneumatic seeder for nursery plug trays. Biosystems Engineering [en línea]. 2008, 99(3), 322–329 [consultado el 11 de julio de 2023]. ISSN 1537-5110. Disponible en: doi:10.1016/j.biosystemseng.2007.10.017.
25. GAIKWAD, B. B. y N. P. S. SIROHI. Design of a low-cost pneumatic seeder for nursery plug trays. Biosystems Engineering [en línea]. 2008, 99(3), 322–

- 329 [consultado el 11 de julio de 2023]. ISSN 1537-5110. Disponible en: doi:10.1016/j.biosystemseng.2007.10.017
26. WAN, Fang y Chaoyang SONG. Flange-Based hand-eye calibration using a 3D camera with high resolution, accuracy, and frame rate. *Frontiers in Robotics and AI* [en línea]. 2020, 7 [consultado el 12 de julio de 2023]. ISSN 2296-9144. Disponible en: doi:10.3389/frobt.2020.00065.
27. GUTIÉRREZ BRAVO, Jorge Armando, Isaac HERNÁNDEZ ARRIAGA y Jose Guadalupe CABRERA LAZARINI. Diseño mecánico ágil: nueva propuesta metodológica enfocada a proyectos de desarrollo tecnológico. *Posgrado CIATEQ A.C.* 2019, 6(4), 11 [consultado el 10 de marzo de 2023].
28. NAIK, Dhairyashil. Design and analysis of an automated seeder for small scale sowing applications for tray plantation method. *International journal of engineering research and technology.* 2017, 10(1), 2. ISSN 0974-3154.
29. LIU, Rui et al. Optimization and experiment of a disturbance-assisted seed filling high-speed vacuum seed-metering device based on DEM-CFD. *Agriculture* [en línea]. 2022, 12(9), 1304 [consultado el 12 de julio de 2023]. ISSN 2077-0472. Disponible en: doi:10.3390/agriculture12091304.
30. XU, Jian et al. Key structure design and experiment of air-suction vegetable seed-metering device. *Agronomy* [en línea]. 2022, 12(3), 675 [consultado el 12 de julio de 2023]. ISSN 2073-4395. Disponible en: doi:10.3390/agronomy12030675.
31. DU, Xin y Cailing LIU. Design and testing of the filling-plate of inner-filling positive pressure high-speed seed-metering device for maize. *Biosystems Engineering* [en línea]. 2023, 228, 1–17 [consultado el 11 de julio de 2023]. ISSN 1537-5110. Disponible en: doi:10.1016/j.biosystemseng.2023.02.008.

ANEXOS

Anexo N°1

MODELO DE ENTREVISTA

Nombre y Apellidos : _____

Cargo : _____

INSTRUCCIONES:

- Lea cuidadosamente cada una de las preguntas, luego proceda a responder en la respectiva hoja su respuesta.

CUESTIONARIO

Pregunta 1: ¿Qué semillas son las que más se utilizan la región de la libertad?

Respuesta:

Pregunta 2: ¿En los viveros pequeños y medianos que semillas se producen con más frecuencia y cuales con las más complicadas de sembrar?

Respuesta:

Pregunta 3: ¿Cuánto tiempo requiere un operario para lograr el despartí que lo califique como experto?

Respuesta:

Pregunta 4: Los operarios que inician ¿cuántos se mantienen en el trabajo?

Respuesta:

Pregunta 5: ¿Cuál es la producción de un operario de un operario experto y un junior? ¿Cuál es la producción que exige la demanda del mercado?

Respuesta:

Pregunta 6: ¿Aproximadamente cuanta oferta del mercado no se aprovecha por falta de personal capacitado?

Respuesta:

Pregunta 7: ¿Cuántas semillas deben ir por cono y por qué? ¿Cómo se observa que existen más de las semillas requeridas por cono?

Respuesta:

Pregunta 8: Pensando en una máquina, ¿cuál sería el rendimiento óptimo de esta máquina para que se caracterice como eficiente?

Respuesta:

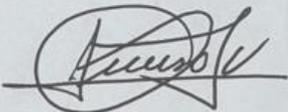
Pregunta 9: ¿Cuál es el precio de las maquinas que existen actualmente en los viveros industriales y en cuanto tiempo cree que pueda recuperar su inversión con una máquina de este tipo?

Respuesta:

Anexo N°2

Validación de instrumentos de recolección de datos

Identificación del experto

Nombre y Apellidos	Jorge Antonio Inciso Vásquez
Filiación (ocupación, grado académico y lugar de trabajo)	Docente. Doctor en Administración Universidad Cesar Vallejo
e-mail	Jinciso@ucv.edu.pe
Teléfono o celular	976 914508
Fecha de la validación (día, mes y año)	15 Junio 2023
Firma	

Muchas gracias por su valiosa contribución a la validación de este instrumento

Anexo N°3

Variables de operacionalización

Tabla 9. Variables de operacionalización

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de Medición
Herramienta electroneumática	Dispositivo diseñado para realizar la siembra automatizada de semillas de pequeñas dimensiones en bandejas de germinación.	- Tamaño de la herramienta (longitud, ancho, altura).	- Geométrica (mm)	- Medición en milímetros (mm)	Razón
Siembra automatizada de semillas de pequeñas dimensiones en bandejas de germinación	Proceso de sembrar las semillas de manera automática en las bandejas de germinación.	- Precisión de la siembra: Porcentaje de semillas sembradas correctamente en los puntos deseados.	- Porcentaje (%)	- Medición del porcentaje de semillas correctamente sembradas.	Razón
		- Uniformidad de la siembra: Variabilidad en la distribución de las semillas en las celdas de las bandejas de germinación.	- Variabilidad (índice específico)	- Medición del índice de variabilidad en la distribución de las semillas en las bandejas.	Escala de intervalo
		- Eficiencia de siembra: Tiempo requerido para completar la siembra de una bandeja de germinación.	- Temporal (minutos)	- Medición del tiempo requerido para la siembra de una bandeja de germinación.	Razón

Anexo N°4

Tabla 10. Datos morfológicos de la semilla de apio

N° de semilla	Ancho (mm)	Largo (mm)	Forma
1	0.68	1.44	No uniforme
2	0.75	1.48	No uniforme
3	0.7	1.48	No uniforme
4	0.65	1.33	No uniforme
5	0.79	1.53	No uniforme
6	0.7	1.58	No uniforme
7	0.69	1.48	No uniforme
8	0.68	1.48	No uniforme
9	0.69	1.52	No uniforme
10	0.68	1.53	No uniforme
11	0.75	1.58	No uniforme
12	0.7	1.48	No uniforme
13	0.65	1.48	No uniforme
14	0.79	1.44	No uniforme
15	0.7	1.53	No uniforme
16	0.69	1.58	No uniforme
17	0.68	1.48	No uniforme
18	0.69	1.48	No uniforme
19	0.69	1.48	No uniforme
20	0.68	1.33	No uniforme
21	0.69	1.53	No uniforme
22	0.68	1.58	No uniforme
23	0.75	1.48	No uniforme
24	0.7	1.48	No uniforme
25	0.69	1.52	No uniforme
26	0.68	1.48	No uniforme
27	0.69	1.33	No uniforme
28	0.68	1.53	No uniforme
29	0.75	1.58	No uniforme
30	0.69	1.48	No uniforme
31	0.68	1.48	No uniforme
32	0.69	1.52	No uniforme
33	0.68	1.48	No uniforme
34	0.75	1.33	No uniforme
35	0.7	1.53	No uniforme
36	0.69	1.58	No uniforme
37	0.68	1.44	No uniforme

38	0.69	1.48	No uniforme
39	0.68	1.48	No uniforme
40	0.7	1.33	No uniforme
41	0.69	1.53	No uniforme
42	0.68	1.58	No uniforme
43	0.69	1.48	No uniforme
44	0.68	1.48	No uniforme
45	0.68	1.52	No uniforme
46	0.75	1.53	No uniforme
47	0.7	1.58	No uniforme
48	0.68	1.48	No uniforme
49	0.75	1.33	No uniforme
50	0.7	1.53	No uniforme
Promedio	0.6994	1.4878	

Anexo N° 4

Ficha técnica de electroválvula 2/2 Vías

MiCRO

Electroválvulas 2/2 y 3/2

Serie 213 - 1/8"

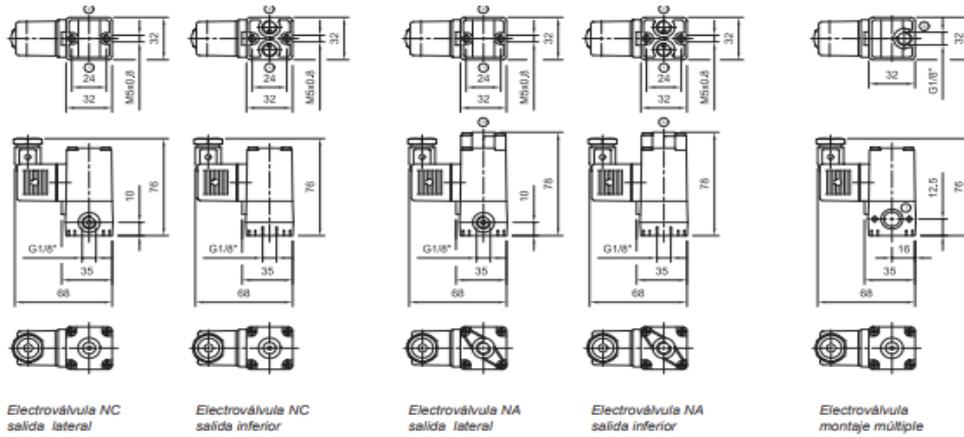
Tipo.....	Válvulas 2/2 y 3/2 de actuación eléctrica, con actuador manual monoestable		
Conexiones.....	Laterales, inferiores o para montaje múltiple mediante el kit manifold		
Conexión eléctrica.....	Ficha DIN 43650 - A		
Temperatura ambiente....	-5...50 °C (23...122 °F)		
Temperatura del fluido....	-10...60 °C (14...140 °F)		
Fluido.....	Aire comprimido filtrado - Gases inertes		
Presión de trabajo.....	0...2,5 bar (0...36 psi)	0...10 bar (0...145 psi)	0...16 bar (0...232 psi)
Caudal nominal.....	78 l/min(*) (0,08 Cv)	115 l/min (0,12 Cv)	40 l/min (0,04 Cv)
Frecuencia máx.....	23 Hz (1,5 bar)	17 Hz (6 bar)	13 Hz (10 bar)
Materiales.....	Cuerpo de zamac, bobina encapsulada en resina epoxi, tubo guía y tragante de acero inoxidable		
Ejecución especial.....	Uso hidráulico o neumático hasta 30 bar (435 psi)		

(*) Con $p = 2,5 \text{ bar}$, $\Delta p = 0,5 \text{ bar}$



Códigos en **Negrita**: entrega inmediata, salvo ventas.

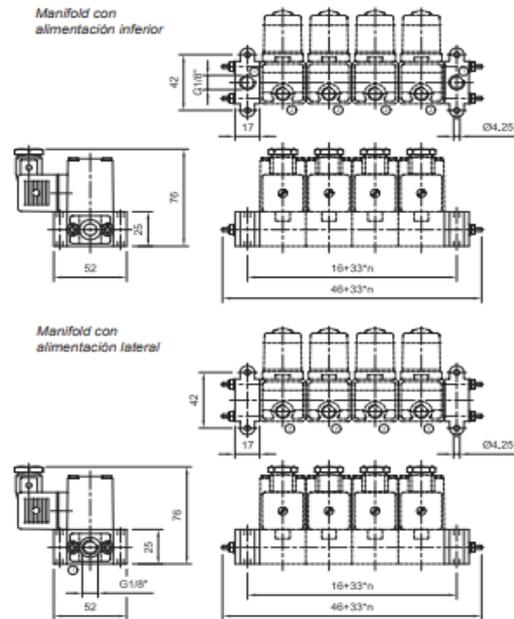
Descripción	Conexión	0...2,5 bar	0...10 bar	0...16 bar
 Electroválvula 2/2 normal cerrada	Lateral	0.210.003.911 / ---	0.210.004.011 / ---	0.210.004.111 / ---
	Inferior	0.210.004.211 / ---	0.210.004.311 / ---	0.210.004.411 / ---
	Múltiple	0.210.006.311 / ---	0.210.006.411 / ---	0.210.006.511 / ---
 Electroválvula 2/2 normal abierta	Lateral	0.210.004.511 / ---	0.210.004.611 / ---	0.210.004.711 / ---
	Inferior	0.210.004.811 / ---	0.210.004.911 / ---	0.210.005.011 / ---
 Electroválvula 3/2 normal cerrada	Lateral	0.210.005.111 / ---	0.210.005.211 / ---	0.210.005.311 / ---
	Inferior	0.210.005.411 / ---	0.210.005.511 / ---	0.210.005.611 / ---
	Múltiple	0.210.006.611 / ---	0.210.006.711 / ---	0.210.006.811 / ---
 Electroválvula 3/2 normal abierta	Lateral	0.210.005.711 / ---	0.210.005.811 / ---	0.210.005.911 / ---
	Inferior	0.210.006.011 / ---	0.210.006.111 / ---	0.210.006.211 / ---



Kit Manifold

Cantidad de válvulas	Kit manifold alimentación inferior	Kit manifold alimentación lateral
2	0.200.000.472	0.200.000.462
3	0.200.000.473	0.200.000.463
4	0.200.000.474	0.200.000.464
5	0.200.000.475	0.200.000.465
6	0.200.000.476	0.200.000.466
7	0.200.000.477	0.200.000.467
8	0.200.000.478	0.200.000.468
9	0.200.000.479	0.200.000.469
10	0.200.000.480	0.200.000.470

Al especificar un manifold, solicitar "n" válvulas y el kit manifold para las "n" válvulas.
Solo puede armarse un manifold con válvulas NC.



Accesorios	MiCRO
Separador de presión	0.200.000.053
Guarnición separadora	0.000.010.013
Actuador manual	0.200.000.089
Conexión roscada superior	0.200.000.040

Anexo N° 5

Ficha técnica de Generador de vacío



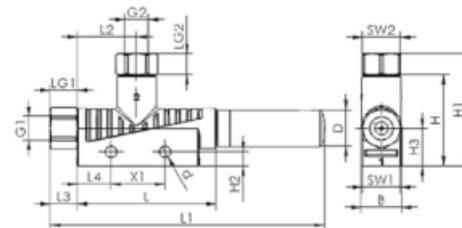
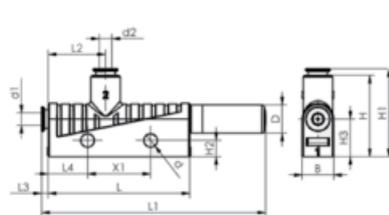
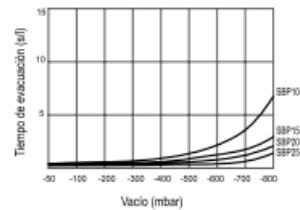
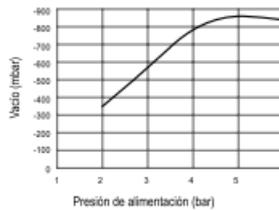
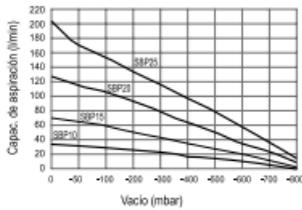
Eyectores básicos SBP

- Generador de vacío con tobera de una etapa en seis niveles de potencia 1,0 - 2,5 mm.
- Carcasa de una pieza de plástico ligero y resistente a los golpes.
- Conexión de aire comprimido y vacío mediante conexiones roscadas o instantáneas.
- Adecuado diseño industrial.
- Fijación en horizontal mediante agujeros roscados.



Tipo	MiCRO		Repuesto Silenciador de escape	Ø Venturi mm	Máx. vacío % (*)	Capac. aspiración NI/min	Consumo NI/min	Presión bar
	SBP 10 SDA S2	0.320.100.565						
Con conexión instantánea	SBP 15 SDA S2	0.320.100.566	0.320.100.540	1,0	85	37,7	48	3...6
	SBP 20 SDA S3	0.320.100.567	0.320.100.540	1,5		71	105	
	SBP 25 SDA S3	0.320.100.568	0.320.100.719	2,0		127	197	
	SBP 25 SDA S3	0.320.100.568	0.320.100.719	2,5		215	311	
Con conexión roscada	SBP 10 SDA G2	0.320.100.601	0.320.100.540	1,0	85	37,7	48	3...6
	SBP 15 SDA G2	0.320.100.602	0.320.100.540	1,5		71	105	
	SBP 20 SDA G3	0.320.100.603	0.320.100.719	2,0		127	197	
	SBP 25 SDA G3	0.320.100.604	0.320.100.719	2,5		215	311	

(*) Valores de medición a la altura del mar, 20°C y 1013 mbar (condiciones nominales)



Tipo	B	d	d1	d2	D	G1	G2	H	H1	H2	H3	L	L1	L2	L3	L4	LG1	LG2	SW1	SW2	X1
SBP 10/15	15	4,2	6	8	14	G1/8"	G1/8"	34	42	5,2	14	51,5	102	22	10	12,5	8	8	14	14	20
SBP 20/25	20	4,2	8	10	20	G1/4"	G3/8"	39	53,5	5,2	17	86,5	176	24,5	13	12,5	9	10	17	19	20

Anexo N° 6

Ficha técnica de regulador de caudal

MiCRO

Reguladores de caudal en línea

Serie VA - M5 a 1/2"

Tipo..... Reguladores de caudal serie VA. Se emplean para controlar la velocidad de desplazamiento de los cilindros neumáticos. El modelo unidireccional restringe el paso del aire en un solo sentido, mientras que el bidireccional lo hace simultáneamente en ambos sentidos de circulación del fluido

Posición de trabajo..... Indiferente

Montaje..... Indistintamente en línea o en tableros

Fluido..... Aire comprimido filtrado, con o sin lubricación

Temperaturas..... -20...80 °C (-4...176 °F)

Presión de trabajo..... 0,5...10 bar (8...145 psi)

Conexiones..... M5, G1/8", G1/4" y G1/2" (G3/4" a pedido)

Materiales..... Cuerpo de zamac (M5 de aluminio), tornillo de registro de latón, guarniciones de NBR

Caudal..... Solicitar información a cad@micro.com.ar



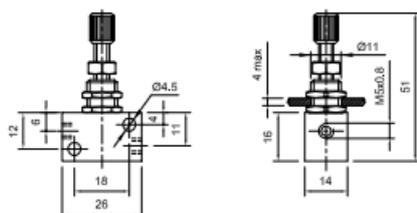
Códigos en **Negrita**: entrega inmediata, salvo ventas.

Reguladores de caudal

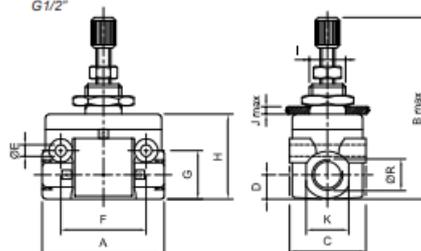
	Regulador de caudal unidireccional	Ø R	Kit de reparación
		0.400.001.700	M 5
	0.400.001.711	G 1/8"	0.400.010.132
	0.400.001.722	G 1/4"	0.400.010.133
	0.400.001.744	G 1/2"	0.400.010.134

	Regulador de caudal bidireccional	Ø R	Kit de reparación
		0.400.001.800	M 5
	0.400.001.811	G 1/8"	0.400.010.136
	0.400.001.822	G 1/4"	0.400.010.137
	0.400.001.844	G 1/2"	0.400.010.138

M5



G1/8"
G1/4"
G1/2"



Ø R	A	B	C	D	E	F	G	H	Ø I	J	K
G 1/8"	40	55	25	8,5	4,5	28	16	28	13	5,5	14
G 1/4"	52	71	30	11	5,5	35	22	36	17	5,5	14
G 1/2"	90	115	56	18,5	8,5	62	37	61	31	7	32

Anexo N° 7

Ficha técnica de regulador de presión

Preparation unit——GA Series



GAR Series Regulator



Symbol

No reflux valve is attached



Reflux valve is attached



Product feature

1. Circular square pressure gauge which with clip and magnifier is used to save installation space.
2. The pressed-in self-locking mechanism can prevent the abnormal movement of the set pressure caused by external interfere.
3. Balanced design is adopted for the pressure adjustment mechanism.
4. In addition to panel installation, the bracket is optional for installation.

Specification

Model	GAR200-06	GAR200-08	GAR300-08	GAR300-10	GAR300-15	GAR400-10	GAR400-15	GAR500-20	GAR600-20	GAR600-25
Fluid	Air									
Port size [Note1]	1/8"	1/4"	1/4"	3/8"	1/2"	3/8"	1/2"	3/4"	3/4"	1"
Pressure range	0.05~0.9MPa(7~130psi)									
Max. pressure	1.0MPa(145psi)									
Proof pressure	1.5MPa(215psi)									
Temperature range	-20~70°C									
Weight	170g		300g			570g		580g		1390g

[Note1] G thread is available.

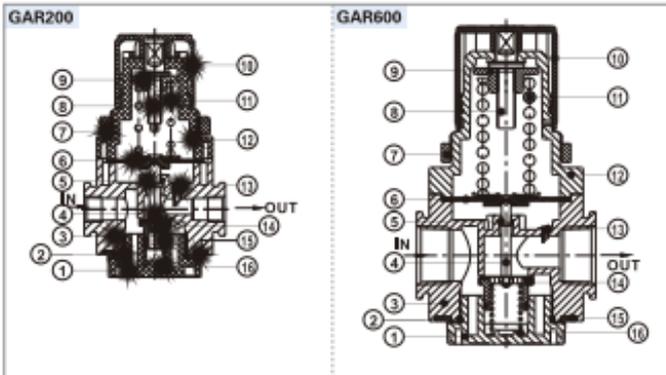
Ordering code

GAR300 10 S □ □ G K						
① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦						
① Model	② Port size	③ Type code	④ Accessories	⑤ Pressure gauge	⑥ Thread type	⑦ Code of reflux valve
GAR200:GA200 Series regulator	06: 1/8" 08: 1/4"	S: Standard L: Lower pressure [Note1]	Blank: Bracket J: No bracket	Blank: Circular N: No gauge [Note2]	G: G Thread (bar/MPa)	Blank: No reverse flow valve is attached K: Reverse flow valve is attached [Note2]
GAR300:GA300 Series regulator	08: 1/4" 10: 3/8" 15: 1/2"					
GAR400:GA400 Series regulator	10: 3/8" 15: 1/2"					
GAR500:GA500 Series regulator	20: 3/4"	S: Standard				
GAR600:GA600 Series regulator	20: 3/4" 25: 1"					

[Note1]The work pressure of lower pressure type is 0.05~0.4MPa(7~58psi) ; [Note2] Please refer to page 234 for details of seating plate installation and reflux valve.

Inner structure

No.	Item	Material
1	Valve cap	Aluminum alloy (GR600) / POM (others)
2	O-ring	NBR
3	Body	Aluminum alloy
4	Spool	Brass (GR600) / POM (others)
5	O-ring	NBR
6	Diaphragm	NBR
7	Fixed ring	Aluminum alloy (GR600) / POM (others)
8	Adjusting spindle	Steel
9	Regulator nut	Steel
10	Pressure knob	POM
11	Pressure spring	SWPB
12	Adjusting seat	Aluminum alloy (GR600) / POM (others)
13	Feed back tube	POM
14	Pressure plug	Aluminum alloy & steel
15	Bottom cover	POM
16	Spring	SWPB

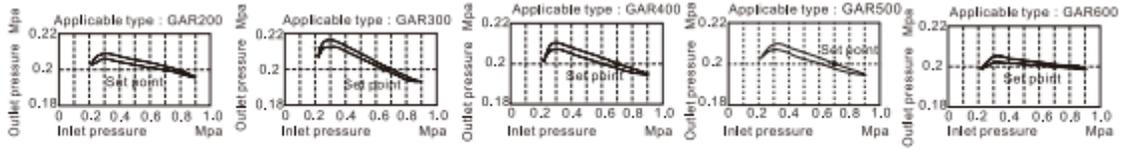


Preparation unit—GA Series

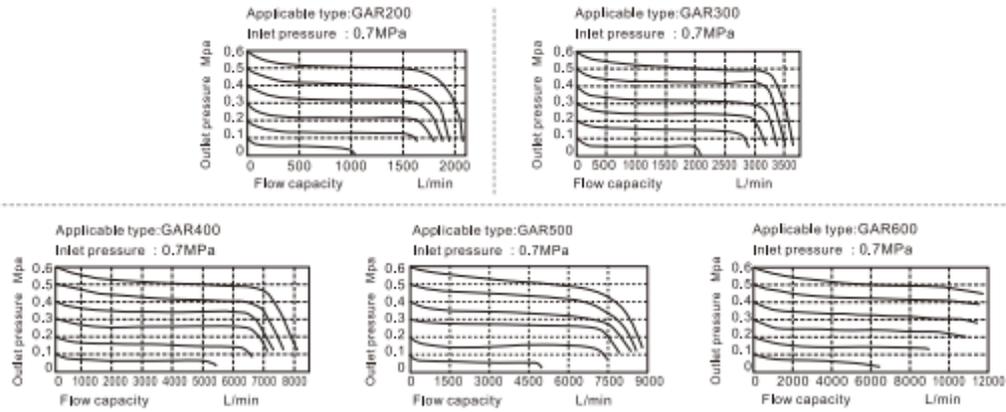


GAR Series Regulator

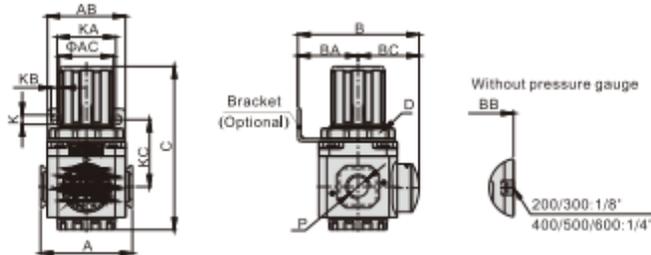
Pressure chart



Flow chart



Dimensions



Model/Item	A	AB	AC	B	BA	BB	BC	C	D	K	KA	KB	KC	P
GAR200-06	52.5	55	31	69	30	51.5	39	91	M33x1.5	5.4	34	15.4	45	1/8"
GAR200-08	52.5	55	31	69	30	51.5	39	91	M33x1.5	5.4	34	15.4	45	1/4"
GAR300-08	62.5	53	38	82.5	41	67.5	41.5	112	M40x1.5	6.5	40	8	46	1/4"
GAR300-10	62.5	53	38	82.5	41	67.5	41.5	112	M40x1.5	6.5	40	8	46	3/8"
GAR300-15	62.5	53	38	82.5	41	67.5	41.5	112	M40x1.5	6.5	40	8	46	1/2"
GAR400-10	80	72	52	99	50	84	49	140.5	M55x2.0	8.5	55	11	53	3/8"
GAR400-15	80	72	52	99	50	84	49	140.5	M55x2.0	8.5	55	11	53	1/2"
GAR500-20	82	72	52	100	50	85	50	140.5	M55x2.0	8.5	55	11	53	3/4"
GAR600-20	100	90	59	128	70	113	58	179.5	M62x1.5	11	66	13	73.5	3/4"
GAR600-25	100	90	59	128	70	113	58	179.5	M62x1.5	11	66	13	73.5	1"

Anexo N° 8

Ficha técnica de Unidad de mantenimiento

Unidades de preparación



F.R.L. combinación Series GAC100



Símbolo

No hay válvula de reflujó conectada



Dimensiones

Modelo	GAC100M5	GAC10006
Fluido	Aire	
Tamaño del puerto [Note 1]	M5	PT1/8
Grado de filtrado	40µm o 5µm	
Rango de presión	0,15-0,9MPa(20-130psi)	
Max. presión	1,0MPa(145psi)	
Presión de prueba	1,5MPa(215psi)	
Rango de temperatura	-5-70°C (descongelar)	
Capacidad del vaso de drenaje	6CC	
Capacidad del vaso de aceite	9CC	
Lubricante recomendado	ISO VG 32 o equivalente	
Peso	216g	
Componentes	Filtro	GAF100M5 GAF10006
	Regulador	GAR100M5 GAR10006
	Lubricador	GAL100M5 GAL10006

[Note] Rosca G y Rosca NPT están disponibles.

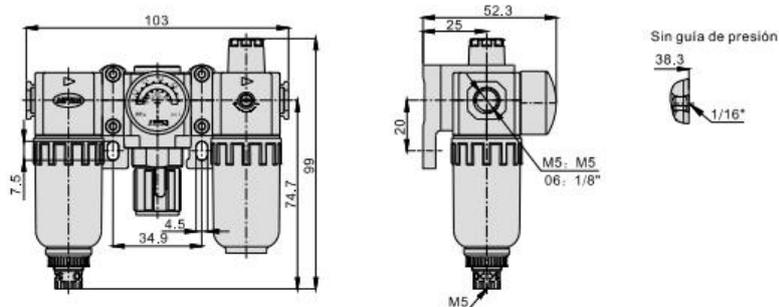
Código de pedido

GAC100 □ 06 □ S □ W G □								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Modelo	2 Material del vaso	3 Tamaño del puerto	4 Tipo de drenaje	5 Código de tipo	6 Presión	7 Grado de filtrado	8 Tipo de Rosca [Note]	9 Código de válvula de reflujó
GAC100: Unidad F.R.L. Series GA100	En blanco: vaso de PC	M5: M5 06: 1/8"	En blanco: drenaje semiautomático + drenaje manual	S: estándar L: baja presión [Nota 1]	En blanco: circular N: sin medidor	En blanco: 40µm W: 5µm	En blanco: PT (MPa / psi) G: Rosca G(bar/MPa) T: Rosca NPT(psi/bar)	En blanco: no hay una válvula de reflujó conectada

[Nota1] El rango de presión de trabajo del tipo de presión más baja es 0,15-0,4MPa (20-58 psi).

[Nota 2] Tipo de rosca significa rosca de conexión y escalas del manómetro mientras que el tamaño del puerto es M5.

Dimensiones



Anexo N° 9

Ficha técnica de compresor

BauKer®

ESPAÑOL

Descripción técnica

Electrocompresor de pistón lubricado

Modelo	Euro 6	Euro 225	Euro 250	AB 100-248 M
RPM (r/min)	2 300	2 850	2 850	1 330
Sonoridad (dB)	73	73	73	72
Presión de trabajo MPa (psi/bar)	0.6 a 0.8 (86 a 116/6 a 8)	0.6 a 0.8 (86 a 116/6 a 8)	0.6 a 0.8 (86 a 116/6 a 8)	0.8 a 1 (116 a 145/8 a 10)
Presión máxima MPa (psi/bar)	0.8 (116/8)	0.8 (116/8)	0.8 (116/8)	1 (145/10)
Potencia de trabajo (HP/kW)	1 / 0,75	2 / 1,5	2 / 1,5	2 / 1,5
Potencia Máxima (HP/kW)	1,5 / 1,1	3,0 / 2,25	3,0 / 2,25	3,5 / 2,6
Caudal de entrada máximo (CFM-L/min)	5 / 140	5 / 140	5 / 140	9,4 / 265
Protección	Protector térmico	Protector térmico	Protector térmico	Corta corriente automático
Desplazamiento (CFM-L/min) @ 90 PSI - 6,2 bar	1,94 / 55	2,65 / 75	2,65 / 75	5,23 / 148
Desplazamiento (CFM-L/min) @ 40 PSI - 3 bar	2,75 / 77	3,28 / 93	3,28 / 93	6,67 / 189
Capacidad del tanque (l/gal)	6 / 1,3	24 / 6,3	50 / 13,2	100 / 26,4
Peso (kg)	11	24	31,5	61,5

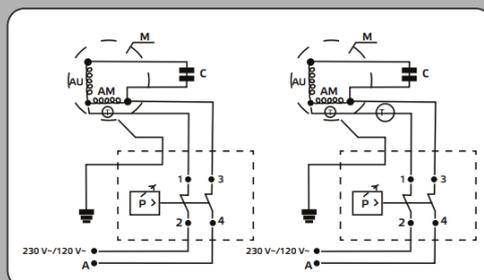
Electrocompresor de pistón lubricado

Modelo	Euro 6	Euro 225	Euro 250	AB 100-248 M
RPM (r/min)	2 300	3 450	3 450	1 330
Sonoridad (dB)	73	75	75	72
Presión de trabajo MPa (psi/bar)	0.6 a 0.8 (86 a 116/6 a 8)	0.6 a 0.8 (86 a 116/6 a 8)	0.6 a 0.8 (86 a 116/6 a 8)	0.8 a 1 (116 a 145/8 a 10)
Presión máxima MPa (psi/bar)	0.8 (116/8)	0.8 (116/8)	0.8 (116/8)	1 (145/10)
Potencia de trabajo (HP/kW)	1 / 0,75	2 / 1,5	2 / 1,5	2 / 1,5
Potencia Máxima (HP/kW)	1,5 / 1,1	3,0 / 2,25	3,0 / 2,25	3,5 / 2,6
Caudal de entrada máximo (CFM-L/min)	5 / 140	6 / 170	6 / 170	9,4 / 265
Protección	Protector térmico	Protector térmico	Protector térmico	Corta corriente automático
Desplazamiento (CFM-L/min) @ 90 PSI - 6,2 bar	1,94 / 55	3,18 / 90	3,18 / 90	5,23 / 148
Desplazamiento (CFM-L/min) @ 40 PSI - 3 bar	2,75 / 77	4 / 113	4 / 113	6,67 / 149
Capacidad del tanque (l/gal)	6 / 1,3	24 / 6,3	50 / 13,2	100 / 26,4
Peso (kg)	11	24	31,5	61,5

BauKer®

Esquema eléctrico

- A = Alimentación
- P = Presostato
- T = Protección térmica automática
- Tm = Protección amperimétrica manual
- 1-2-3-4 = Borne de conexión conductores
- C = Condensador
- M = Motor
- Au = Devanado auxiliar
- Am = Devanado de marcha



Esquema eléctrico

País	Voltaje (Tensión)	Frecuencia	Enchufe
Chile	220 V ~	50 Hz	
Colombia	110 V ~	60 Hz	
Perú	220 V / 240 V ~	50 Hz / 60 Hz	
Argentina	220 V / 240 V ~	50 Hz / 60 Hz	
Uruguay	230 V ~	50 Hz	
Brasil	127 V ~ / 220 V ~	60 Hz	
México	120 V ~	60 Hz	

* El valor del nivel sonoro puede aumentar de 1 dB (A) a 10 dB (A) en función del ambiente en que se ha instalado el compresor.

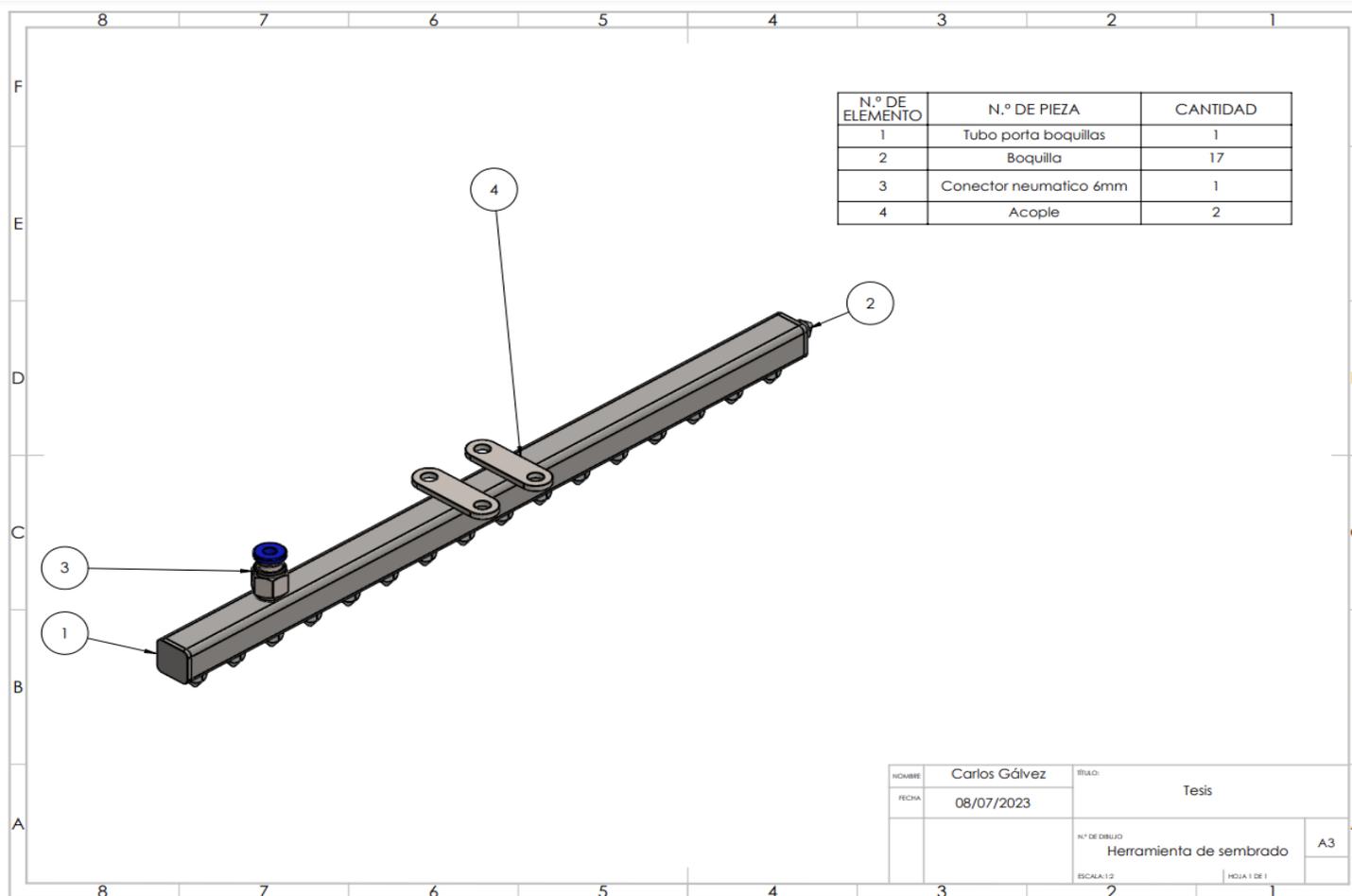
Nivel sonoro medido en campo libre a 1 m de distancia 3 dB (A) a la máxima presión de trabajo, (tab. 3)
Los compresores eléctricos sobre ruedas con potencia mayor o igual a 3 HP (2 250 W) se destinan a uso en interiores.

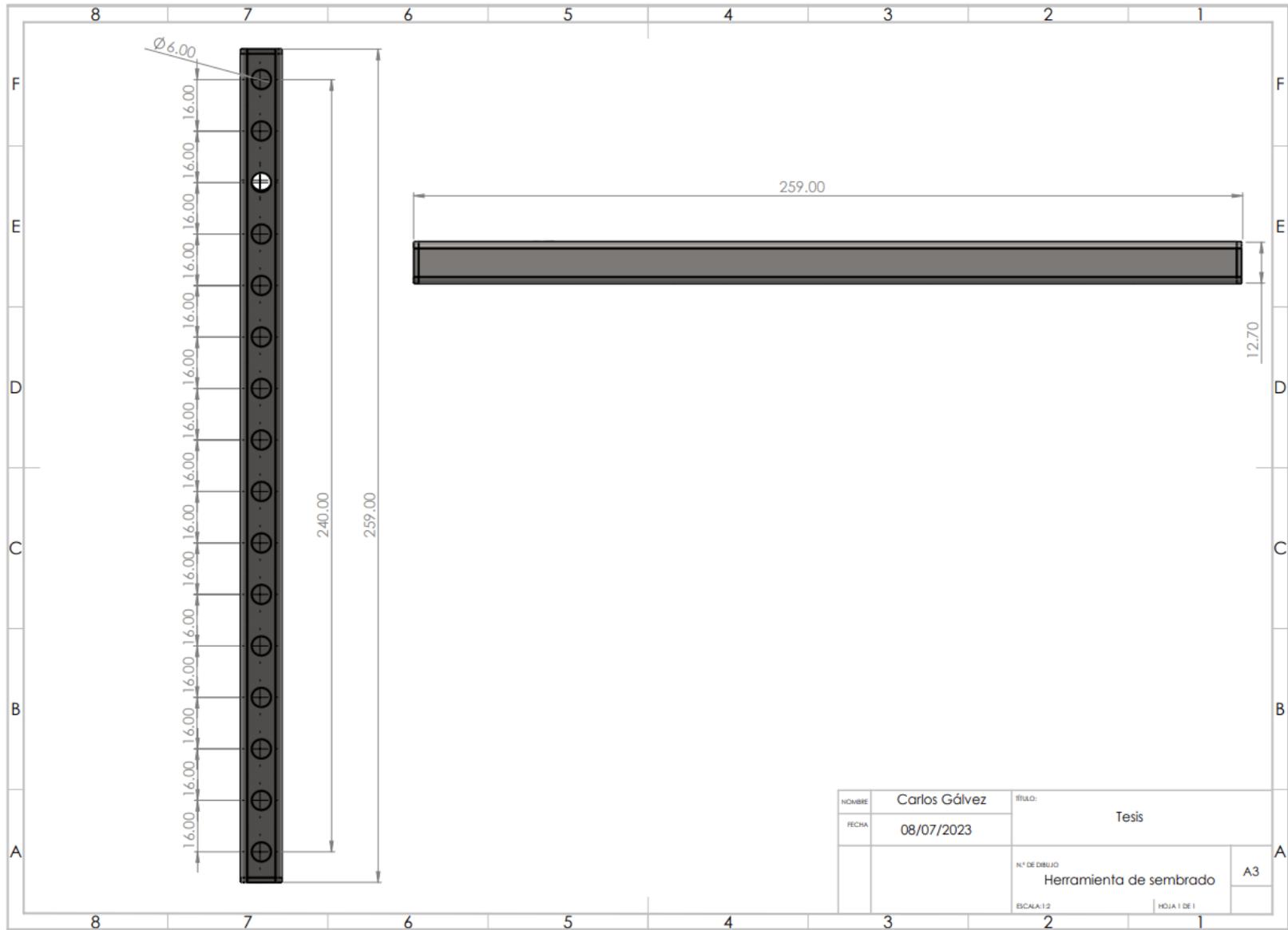
NOTA: para el mercado europeo los estanques de los compresores están fabricados según la directriz CE87/404. Para el mercado europeo los compresores están fabricados según la directriz CE98/37.

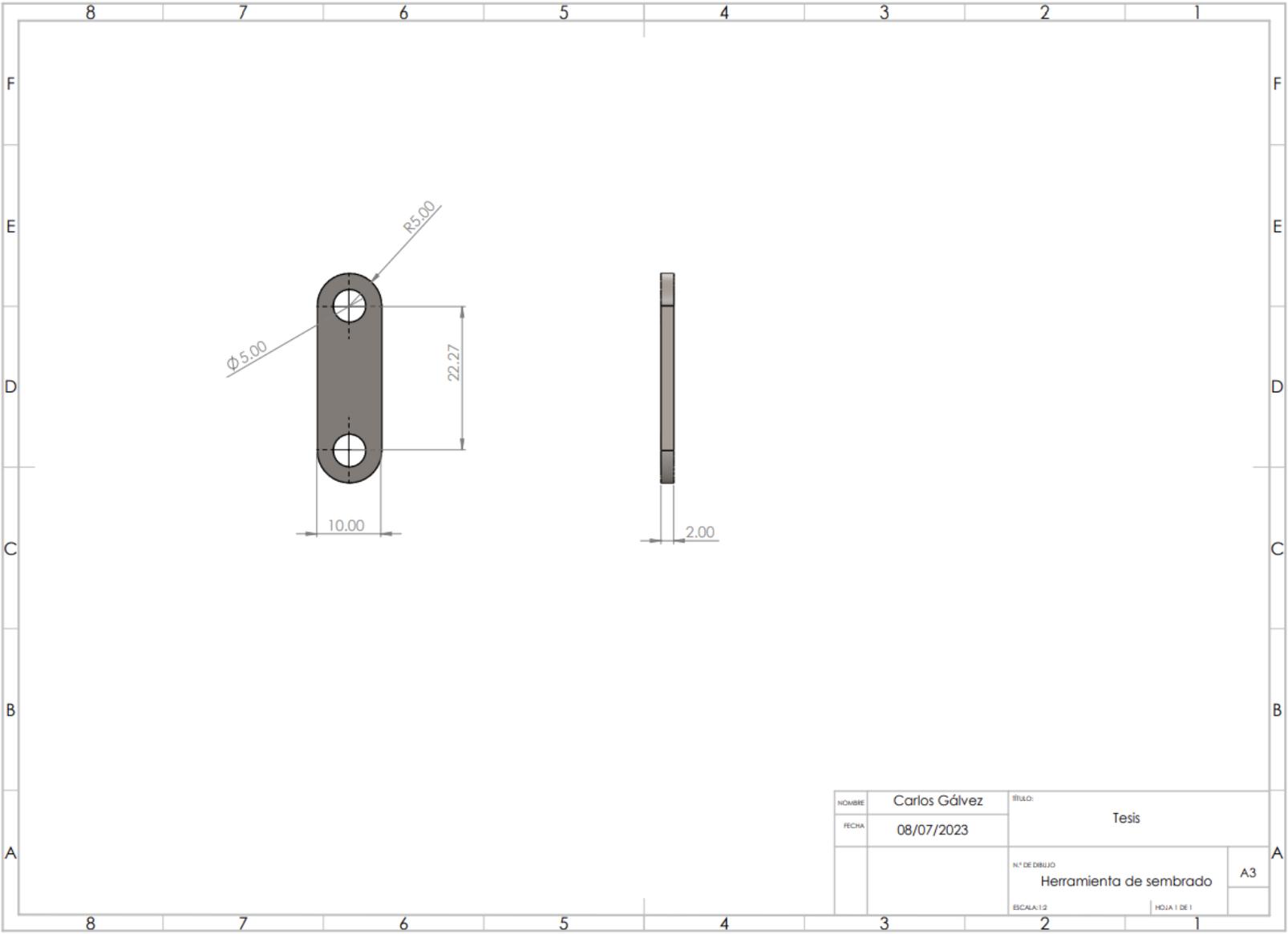
NOTA: los detalles y especificaciones aquí contenidos, son los considerados correctos al momento de imprimir esta información. No obstante, el proveedor se reserva el derecho de cambiar la información técnica sin aviso previo.

Anexo N°4

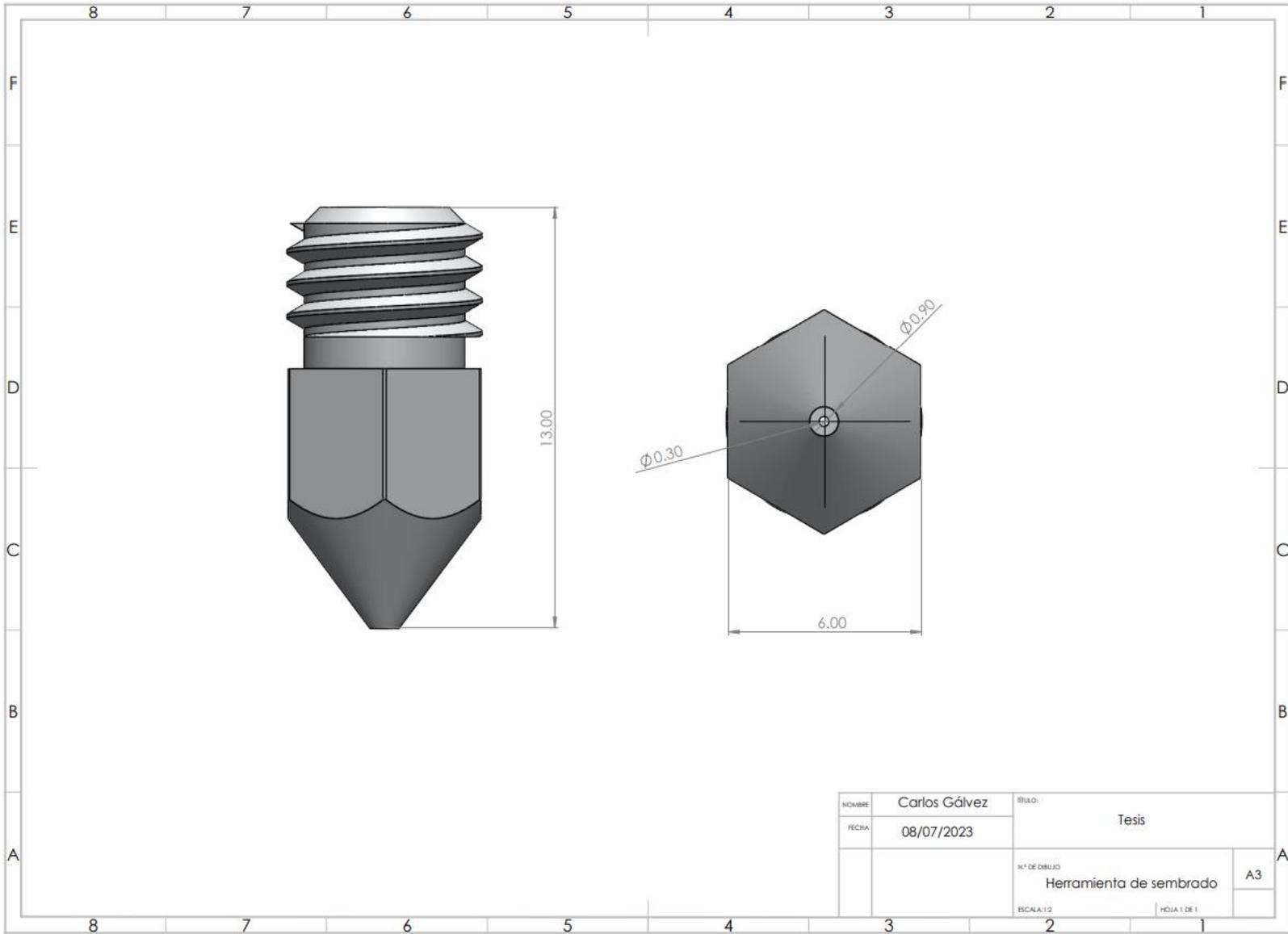
PLANOS



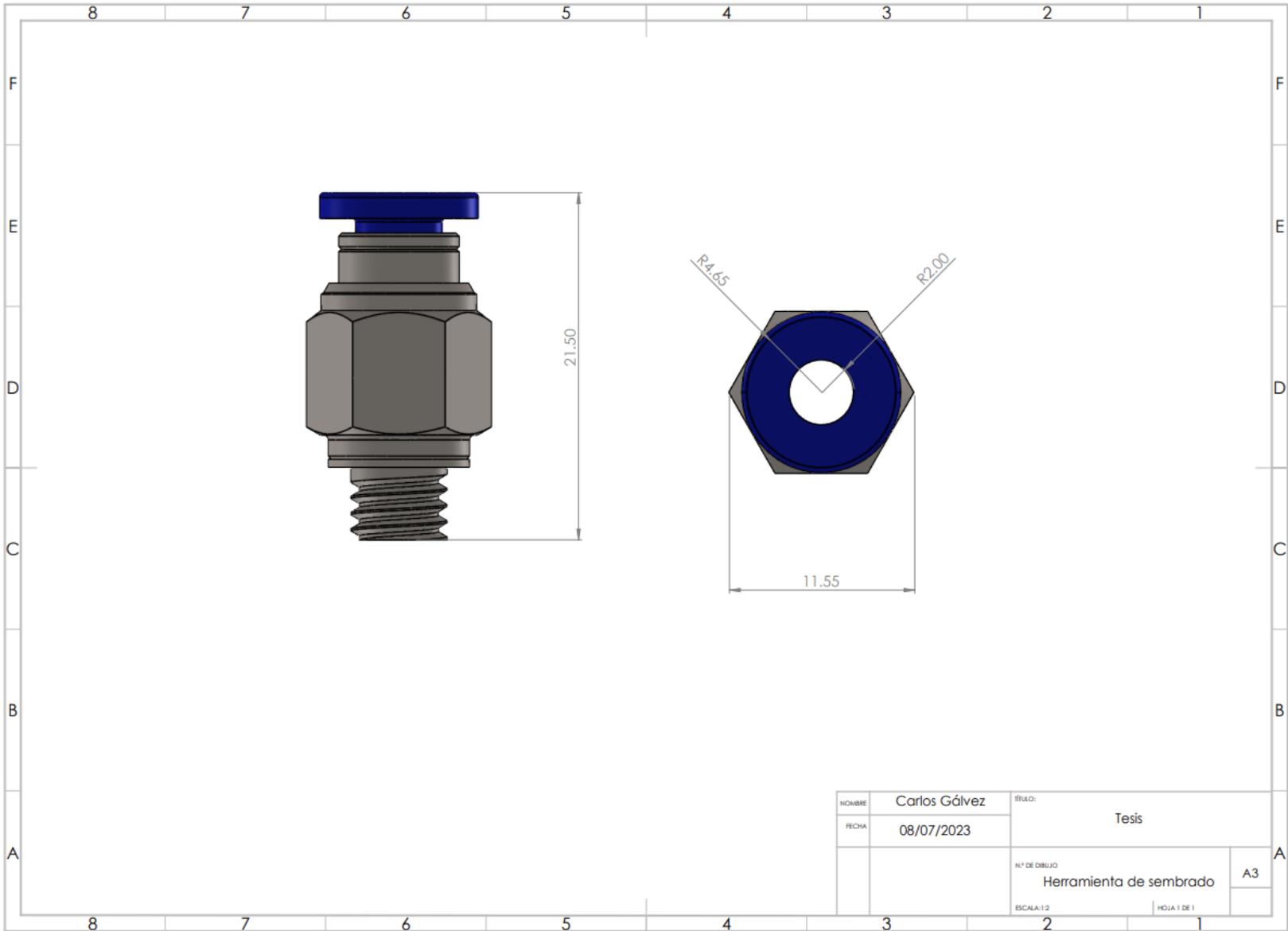




NOMBRE	Carlos Gálvez	TÍTULO:	Tesis
FECHA	08/07/2023	N° DE DIBUJO	Herramienta de sembrado
		ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1
			A3



NOMBRE:	Carlos Gálvez	TÍTULO:	Tesis
FECHA:	08/07/2023	Nº DE DIBUJO:	Herramienta de sembrado
		ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1
			A3



NOMBRE	Carlos Gálvez	TÍTULO:	
FECHA	08/07/2023	Tesis	
		Nº DE DIBUJO	A3
		HERRAMIENTA DE SEMBRADO	
		ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1

