

PROTOTIPO DE ROBOT CARTESIANO SEMBRADOR.

Jhon Alexander Guerrero
e-mail: jguerrero@unicomfaucauca.edu.co

Resumen El objetivo de esta investigación aplicada es desarrollar, construir y validar un prototipo de robot sembrador cartesiano para la automatización de procesos de siembra. El desarrollo del proyecto se basa en una adaptación del método V-Shape y en el uso de herramientas software disruptivas CAD/CAM/CAE para la creación, simulación e implementación de los componentes de la infraestructura mecánica, instrumentación electrónica y sistemas de control industrial; finalmente, para validar el prototipo, se realizarán pruebas de laboratorio para verificar su viabilidad y potencial

Palabras Clave: Agricultura, tendencias agrícolas, robot cartesiano, robot agricultor

Abstract: The aim of this applied research is to develop, build and validate a prototype of a Cartesian seeding robot for the automation of seeding processes. The development of the project is based on an adaptation of the V-Shape method and the use of disruptive CAD/CAM/CAE software tools for the creation, simulation and implementation of the mechanical infrastructure components, electronic instrumentation and industrial control systems; finally, to validate the prototype, laboratory tests will be carried out to verify its feasibility and potential.

Keywords: Agriculture, agricultural trends, Cartesian robot, farming robot

INTRODUCCIÓN

En la agricultura, especialmente los pequeños productores y en las microempresas, la siembra tradicional, sin la integración tecnológica de la industria 4.0, puede ser laboriosa y descontextualizada de las tendencias agrícolas actuales [1]. Aunque aporta un conocimiento invaluable, requiere de una cantidad significativa de mano de obra, insumos y tiempo; lo que puede acarrear altos recursos económicos y un bajo desempeño en la producción; evidenciando la necesidad de apoyar este proceso con desarrollos tecnológicos contextualizados a las necesidades del sector agrícola.

Para abordar estos desafíos, surge la necesidad de crear a partir de un diseño mecatrónico, un prototipo de robot cartesiano sembrador (con 3 grados de libertad) con un grado de madurez TRL4 (Nivel de Madurez Tecnológica 4), que permita automatizar el proceso de siembra de hortalizas de manera precisa, robusta, eficiente y económicamente viable [2]. Para desarrollar el prototipo, se tiene como referencia la metodología de diseño mecatrónico [3], y la inspiración en el Farmbot génesis [4]. Se exploran diferentes diseños hasta obtener un modelo óptimo mediante el empleo de herramientas CAM (Fabricación Asistida por Computadora)/CAD (Diseño Asistido por Computadora)/CAE (Ingeniería Asistida por Computadora). Posteriormente, a través de la fabricación digital y las tendencias disruptivas de impresión aditiva, corte y grabado láser y el control numérico computarizado - CNC, se obtienen las simulaciones de ensamble de piezas y partes, los estudios mecánicos, los planos de

ingeniería de detalle y los G-Code para la fabricación de los componentes de la estructura mecánica del prototipo.

Para el proceso de control del prototipo, se establecen unos parámetros de posicionamiento basados en una matriz 2x3 de puntos de ubicación, instrumentación electrónica para la medición de la humedad, medición de la temperatura y un sistema de actuadores para el riego de agua mediante una bomba y un solenoide. Acorde a lo anterior, los requerimientos de control, se dividen en etapas mediante la metodología GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande ÉTape-Transition, la cual permite implementar una estrategia de control lógica secuencial en un controlador lógico programable - PLC para las variables de humedad, temperatura, riego, posición y siembra. Finalmente, se validó el prototipo en un ambiente controlado de siembra de semillas de Lactuca sativa (lechuga), demostrando su viabilidad y potencial para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad en la agricultura de pequeña escala.

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del robot sembrador cartesiano está basado en la metodología V-Shape, esta incluye un proceso iterativo y colaborativo [6]. Para el desarrollo fue necesario definir los requisitos del sistema, identificar componentes hardware y software, realizar una selección de los materiales, crear diseños mediante las herramientas CAM/CAD/CAE y realizar pruebas de

funcionamiento, así como integrar los componentes en un ambiente controlado. El modelo V-Shape fue fundamental para el diseño de sistemas mecatrónicos como se muestra en la figura 1.

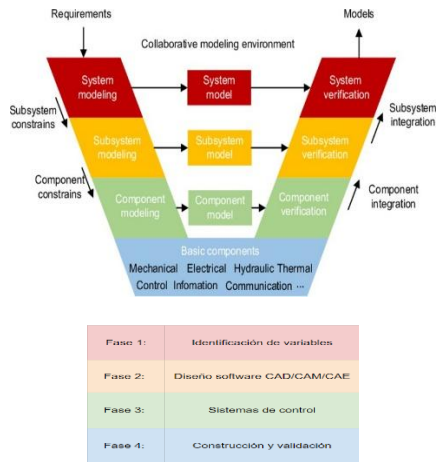


Figura 1. Construcción y validación mediante el modelo V-Shape [6].

Para la elaboración del prototipo se definieron las entradas, salidas y la instrumentación industrial requeridas en el proyecto; con la información obtenida se realizó una requisición de los materiales necesarios para poder plantear un boceto que cumpliera con todos los requerimientos y llevar a cabo la construcción del prototipo. Mediante las herramientas software CAM/CAD/CAE, se realizó el diseño y modelamiento del prototipo. Con la simulación del diseño fue posible realizar las impresiones 3D y los cortes de las piezas necesarias para iniciar con el ensamble del prototipo. Mediante el modelamiento GRAFCET, se divide el proceso de siembra y riego en etapas para asignarle un orden a las funciones que permiten el desarrollo secuencial y combinatorial del código embebido en un PLC S7-1200 Siemens. Finalmente, en un ambiente controlado se validó el movimiento de los ejes (X, Y, Z), el sistema de siembra, la adquisición de variables de interés y se verificó que el riego tuviera una distribución adecuada para el área requerida.

Identificación de variables

Desarrollando un estudio ingenieril asociado a un proceso de siembra de "lactuca" [6], se logra identificar que existen variables fundamentales para la determinación del proyecto de un robot cartesiano sembrador, tales como las entradas/salidas analógicas y discretas, como se describen a continuación tabla 1.

Tabla 1. Variables requeridas para el desarrollo del prototipo. Fuente: Propia

Entradas		Salidas	
Analógicas	Discretas	Analógicas	Discretas
Sensor de humedad	Finales de carrera	Aspersor de agua	Motor 12V
Sensor de temperatura	Pulsadores		Motorreductor
			Motobomba
			Pilotos

RESULTADOS

Teniendo en cuenta una revisión de desarrollos comerciales de este tipo de robots cartesianos, se procede a realizar un boceto conceptual a mano alzada del prototipo, como se muestra en la figura 2, para determinar sus partes y el diseño.

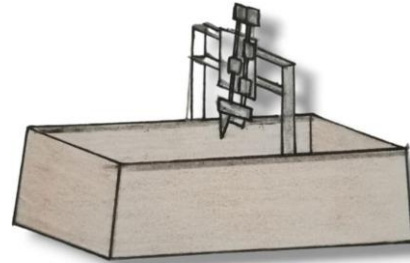


Figura 2. Boceto inicial del prototipo. Fuente: Propia

Diseño mecánico CAD

El desarrollo del diseño, se hizo mediante la herramienta software - CAD denominada Inventor®, cada pieza fue diseñada cuidadosamente para lograr una estructura resistente y funcional, haciendo énfasis en las piezas que requieren precisión para su movimiento. En la figura 3 se puede apreciar que el diseño consta de una base que sirve de soporte al robot, para realizar movimientos lineales en sus tres ejes (X, Y, Z).

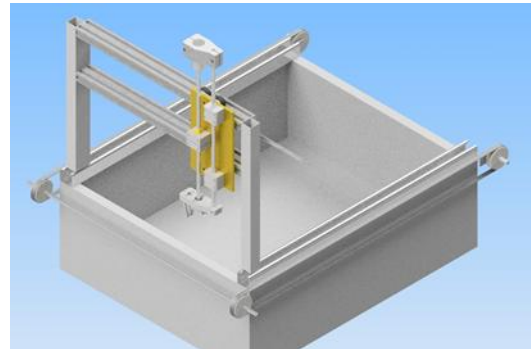


Figura 3. Vista isométrica del robot. Fuente: Propia

El eje X está sujeto a la base y es el encargado de soportar la estructura que tendrá desplazamientos en Y y Z.

Se puede apreciar la estructura del eje X, el perfil de este eje permite ensamblar los rodamientos donde se sujetan los dos perfiles del eje Z, que a su vez, sirven de soporte para los perfiles ranurados del eje Y, (Figura 4).

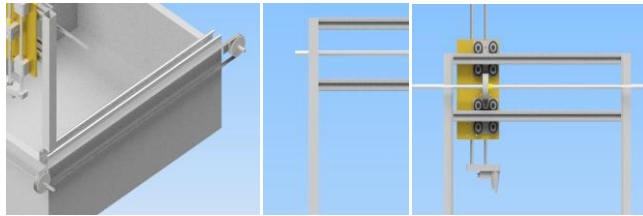


Figura 4. Vistas CAD de los tres ejes del prototipo.
Fuente: Propia

Requisición de componentes

Con los datos obtenidos, se presenta la requisición de los materiales, elementos e insumos necesarios para la automatización y fabricación del prototipo de robot cartesiano sembrador, (ver tabla 2).

Tabla 2. Lista de materiales e insumos. Fuente: Propia

#	Descripción	Cantidad	Precio	Imagen
1	Motor 12v tipo eleva vidrio vehicular	2		
2	Motorreductor 12v	1		
3	Motobomba	1		
4	Pieza de madera 20cm*60cm	2		
5	Pieza de madera 20cm*50cm	2		
6	Pieza de madera 60cm*50cm	1		
7	Plástico x 2m	1		
8	Perfil con riel simple 120cm	2		
9	Perfil ranurado de aluminio 86cm	1		
10	Perfil cuadrado de aluminio 66cm	1		
11	Perfil de madera 10cm	1		
12	Rodamientos para riel simple	2		
13	Rodamientos para riel ranurado	2		
14	Combo de varilla trapezoidal 50cm	1		
15	Combo de varilla trapezoidal 30cm	1		
16	Varilla lisa 80cm	1		
18	Varilla lisa 30cm	1		
19	Lamina MDF 60cm*50cm	1		
20	Lamina acrílico 5mm de 30 cm * 30cm	1		
21	Finales de carrera	9		
22	Pulsadores N/A	4		
23	Pilotos	3		
24	Paro de emergencia	1		
25	Sensor de humedad	1		
26	Balinera 22mm	4		
27	Electroimán	1		
28	Tornillos, tuercas, remaches			

29	Metro de correa dentada	3	
30	Filamento PLA 70g	1	
31	Metro de cable rojo calibre 20	20	
32	Metro de cable negro calibre 20	20	
33	Metro de cable blanco calibre 20	4	
34	Terminales hembra- macho	12	
35	Bornera 12 puntos	2	
36	Cinta aislante	1	
37	Aspersor	1	
38	Tanque para agua	1	
39	Manguera	1	

Simulación de movimiento del prototipo

La simulación del ensamblaje del prototipo se realiza utilizando el software - CAE de Inventor®, con este software se modelan los movimientos en los ejes (X, Y, Z), comprobando que los movimientos sean simétricos y coherentes. Posteriormente, se procede a simular el proceso de siembra y, así comprobar que el diseño se comporta de la manera esperada. En la imagen 5 se puede observar una simulación del prototipo.

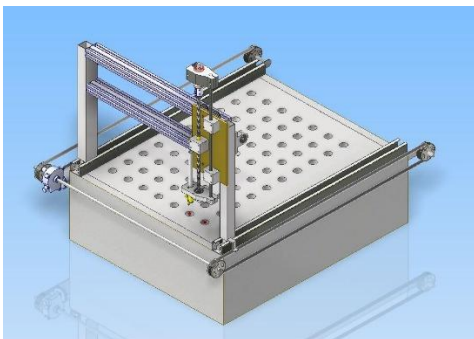


Figura 5. Simulación del prototipo terminado. Fuente: Propia

Implementación del control automático

Para la implementación de control automático del prototipo, se emplea la metodología en etapas Grafcet, la cual permite modelar el proceso secuencial para un controlador lógico programable - PLC -SIEMENS S7 1200. El proceso requiere de veintiún etapas, como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Grafcet del proceso de siembra. Fuente: Propia

Construcción del Robot cartesiano sembrador

Con las piezas diseñadas se procede a la fabricación e integración de las partes del prototipo, mediante operaciones de mecanizado, metalmecánica y automatización industrial, a fin de obtener un prototipo eficiente y funcional en el proceso de la siembra.

Fabricación

La base consta de cinco piezas de madera, dos piezas de 60 x 20 cm, dos piezas de 50 x 20 cm y una pieza rectangular de 60 x 50 cm. Una vez ensamblada la base, se recubre con plástico para impermeabilizar el material, teniendo en cuenta que el prototipo estará expuesto a un ambiente húmedo. Posteriormente, se cortan los perfiles de aluminio y las láminas de acrílico con las medidas definidas en el diseño CAD y se imprimen las piezas 3D.

Teniendo listas las piezas, se procede al ensamble del robot como se observa en la figura 7, fijando los perfiles del eje X, los cuales miden 60 cm de largo cada uno.

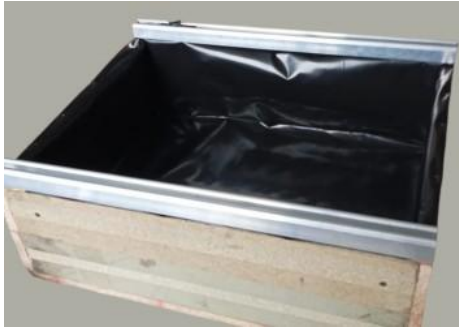


Figura 7. Base con recubrimiento de plástico y base con los perfiles del eje X. Fuente: Propia

Los perfiles de eje Z, tienen una altura de 33 cm y se ensamblan al eje X por medio de unos bastidores de madera; de esta manera se pueden acoplar a rodamientos que están compuestos por un eje central y cuatro balineras como se puede observar en la figura 8.



Figura 8. Acoples para el ensamble del perfil Z y perfil ranurado del eje Y. Fuente: Propia

En el eje Y se utilizaron dos perfiles ranurados de 45 cm, fijos para asegurar el acople. Cada uno está compuesto de un rodamiento que consta de una placa y cuatro balineras que permiten el desplazamiento sobre el eje. Los dos rodamientos se unen a otra placa de 11 x 18 cm, que sujeta las piezas que sirven como soporte y guían a los tornillos,. En la parte superior de los tornillos, se fija una de las piezas diseñadas e impresas en la máquina 3D, la cual une al motorreductor con el sistema que realiza el movimiento del eje Z.

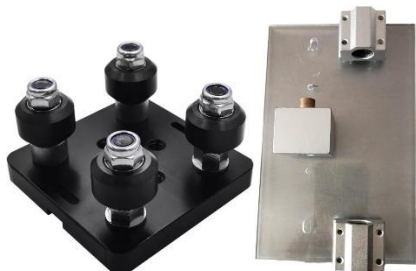


Figura 9. Placa de rodamientos y pieza de unión. Fuente: Propia

En el extremo inferior de los dos tornillos se fija la otra pieza diseñada con la máquina 3D, la cual lleva en su

sistema un electroimán y una boquilla para permitir el paso controlado de las semillas.



Figura 10. Pieza para depositar las semillas. Fuente: Propia

Para el sistema de riego se requiere de un tanque para el agua que va sujeto al costado del prototipo. Dentro del tanque se ubica la motobomba y, por medio de una manguera se distribuyen los aspersores para garantizar un riego uniforme en el área.

CONCLUSIONES

Partiendo de lo anterior se puede concluir, en primer lugar, que, la integración de las tendencias disruptivas CAD/CAM/CAE permitieron obtener el diseño y fabricación robusta de un prototipo de robot cartesiano sembrador.

En segundo lugar, el prototipo de robot cartesiano sembrador permite realizar el proceso de siembra, supervisión de las variables de temperatura y humedad, además de tener un control de posicionamiento en el eje (x, y, z) mediante su estrategia de control embebida en el PLC-S7-1200 SIEMENS, logrando optimizar el proceso de siembra de lechuga y facilitar la toma de decisiones del usuario referente a los tiempos de siembra y la optimización de los insumos y recursos.

REFERENCIAS

- [1] S. S. Valle, "Robótica agrícola y equipos automatizados para la producción agrícola sostenible," Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, vol. 24, pág. 13, 2020.
- [2] G. Salazar y M. N. Russi-Vigoya, "Technology readiness level as the foundation of human readiness level," Ergonomics in Design, vol. 29, n.o 4, p'ags. 25-29, 2021.
- [3] B. Gerschütz, C. Sauer, A. Kormann et al., "Digital engineering methods in practical use during

mechatronic design processes," Designs, vol. 7, n.o 4, pág. 93, 2023.

[4] C. J. C. Moscoso, E. M. F. Sorogastúa y R. S. P. Gardini, "Efficient implementation of a Cartesian Farmbot robot for agricultural applications in the region La Libertad-Peru,"

[5] J. Gausemeier and S. Moehringer, "NEW GUIDELINE VDI 2206-A FLEXIBLE PROCEDURE

MODEL FOR THE DESIGN OF MECHATRONIC SYSTEMS,"

INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING, vol. CED 03 STOCKHOLM, p. 10, 2003.

[6] Dixon, John R. Design Engineering: Inventiveness, Analysis and Decision Making.

McGraw-Hill, 1966,
<https://archive.org/details/designengineerin0000dixo>.