



MECHANICAL DESIGN AND DEVELOPMENT OF A COLLABORATIVE ROBOT-BASED TRAINING SYSTEM FOR PRECISION AGRICULTURE APPLICATIONS

Alexis de J Flores García¹; Gilbert F Pérez-García¹; Osbaldo Y García-Ramos¹; Aldo E Aguilar-Castillejos¹; Jorge A Zepeda-Hernández¹

¹Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Autor responsable: gilbert.pg@tuxtla.tecnm.mx

RESUMEN

La agricultura de precisión enfrenta desafíos en la eficiencia y productividad, especialmente en el proceso de envasado y almacenaje de productos agrícolas. La falta de automatización en estas etapas puede generar pérdidas económicas y de tiempo. El presente proyecto busca desarrollar un sistema de entrenamiento para mejorar la eficiencia en el envasado, transporte y almacenaje de productos agrícolas. El sistema se basa en una estructura que permite la automatización de estos procesos, utilizando un robot colaborativo que simula las condiciones de trabajo en una industria. El sistema permitirá a los trabajadores practicar y mejorar sus habilidades en un entorno seguro y controlado. La importancia de implementar un sistema de entrenamiento automatizado radica en la capacidad de mejorar la eficiencia y productividad en las líneas de producción de interés, reducir los costos y mejorar la calidad del producto final. Además, permite a los trabajadores desarrollar habilidades específicas y adaptarse a nuevas tecnologías, lo que es fundamental en la agricultura de precisión. El diseño mecánico del sistema, realizado con SolidWorks, es crucial para garantizar la precisión y eficiencia del sistema. SolidWorks permite crear modelos detallados y precisos de la estructura y los componentes del sistema, lo que facilita la identificación y resolución de problemas potenciales. Además, el software permite simular el funcionamiento del sistema, lo que ayuda a optimizar su diseño y mejorar su rendimiento.



Palabras clave: Agricultura de precisión, SolidWorks, Diseño 3d, Sistema de entrenamiento, Robot colaborativo.

ABSTRACT

Precision agriculture faces significant challenges related to efficiency and productivity, particularly in the packaging and storage of agricultural products. The lack of automation in these stages can result in both economic losses and wasted time. This project aims to develop a training system designed to improve efficiency in the packaging, transporting and storage processes for agricultural products. The system is structured to enable automation of these tasks, utilizing a collaborative robot that simulates industry working conditions. This allows workers to practice and enhance their skills in a safe and controlled environment. Implementing an automated training system is important because it can improve efficiency and productivity in production lines, reduce costs, and enhance the quality of the final product. Additionally, it helps workers develop specific skills and adapt to new technologies, which is crucial in precision agriculture. The mechanical design of the system, created using SolidWorks, plays a vital role in ensuring the system's precision and efficiency. SolidWorks enables the creation of detailed and accurate models of the system's structure and components, which aids in identifying and resolving potential issues. Furthermore, the software allows for simulations of the system's operation, helping to optimize the design and improve its performance.

Keywords: Precision Agriculture, SolidWorks, 3D Design, Training System, Collaborative Robot.

INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión es una práctica agrícola que utiliza tecnologías avanzadas para optimizar la producción y reducir los costos. Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos, la agricultura de precisión sigue enfrentando desafíos en la eficiencia y productividad, especialmente en el proceso de envasado y almacenaje de productos agrícolas. Según un informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la pérdida de productos agrícolas durante el proceso de envasado y

almacenaje puede llegar a ser del 30% en algunos países en desarrollo. Esto no solo representa una pérdida económica significativa, sino que también puede afectar la seguridad alimentaria y la calidad del producto final. Además, la falta de automatización en el proceso de envasado y almacenaje puede generar pérdidas de tiempo y mano de obra, lo que puede afectar la productividad y la eficiencia de las granjas. Según un estudio realizado por la Universidad de California, la automatización del proceso de envasado y almacenaje puede reducir los costos laborales en un 50% y mejorar la productividad en un 30%.

En este contexto, el presente proyecto busca desarrollar un sistema de entrenamiento para mejorar la eficiencia en el envasado y almacenaje de productos agrícolas. El sistema se basará en una estructura que permita la automatización de estos procesos, utilizando un robot colaborativo que simule las condiciones de trabajo en una industria. El objetivo principal del proyecto es diseñar y desarrollar un sistema de entrenamiento que permita a los trabajadores practicar y mejorar sus habilidades en un entorno seguro y controlado. El sistema también buscará reducir los costos y mejorar la calidad del producto final, mediante la automatización del proceso de envasado y almacenaje.

El diseño 3d del sistema de entrenamiento se basará en una estructura modular que permita la automatización del proceso de envasado y almacenaje. Los módulos considerados para el desarrollo del sistema consistirán en los siguientes componentes:

1. Un robot colaborativo que simule las condiciones de trabajo en una industria.
2. Un sistema de control que permita la automatización del proceso de envasado y almacenaje.

3. Un entorno de entrenamiento que permita a los trabajadores practicar y mejorar sus habilidades.
4. Un sistema de evaluación que permita evaluar el desempeño de los trabajadores y proporcionar retroalimentación.

El sistema se diseñará utilizando el software SolidWorks, que permitirá crear modelos detallados y precisos de la estructura y los componentes del sistema. El software también permitirá simular el funcionamiento del sistema, lo que ayudará a optimizar su diseño y mejorar su rendimiento.

El presente proyecto busca hacer las siguientes contribuciones:

1. Desarrollar un sistema de entrenamiento que permita a los trabajadores practicar y mejorar sus habilidades en un entorno seguro y controlado.
2. Reducir los costos y mejorar la calidad del producto final, mediante la automatización del proceso de envasado y almacenaje.
3. Proporcionar un entorno de entrenamiento que simule las condiciones de trabajo en una industria, lo que permitirá a los trabajadores desarrollar habilidades específicas y adaptarse a nuevas tecnologías.
4. Contribuir al desarrollo de la agricultura de precisión, mediante la implementación de tecnologías avanzadas y la mejora de la eficiencia y productividad en las granjas.

OBJETIVOS

Realizar el diseño mecánico 3d completo de un sistema de entrenamiento automatizado modular aplicado al proceso de envasado y almacenaje de productos agrícolas, utilizando un robot colaborativo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección, se detallan los materiales y la metodología utilizados en este estudio. Nuestro estudio se centra en el diseño y desarrollo de un sistema de envasado, transporte y almacenamiento utilizando herramientas avanzadas de diseño asistido por computadora. El objetivo principal es crear un sistema de precisión que integre un robot colaborativo y módulos de proceso automatizados. Para lograr esto, se utilizó el software SolidWorks para diseñar y simular el sistema completo.

Antes de describir la metodología de diseño, se presenta el proceso sugerido del sistema propuesto:

El proceso comienza con la colocación de una celda en el inicio de la banda de transporte. Una vez colocada la pieza, el sensor de entrada detecta la pieza y la cinta comienza a moverse. La pieza es transportada hasta el final de la cinta, donde se detiene debido al tope y es detectada por el sensor de salida. Luego, el cilindro neumático se activa para recolocar la pieza en su posición. Una vez que el cilindro se ha contraído, el brazo robótico extiende la herramienta hasta llegar a la pieza. Cuando la herramienta está colocada en la pieza, se activan dos condiciones de funcionamiento: la detección de vacío por parte del sensor de fibra óptica o el transcurso de 5 segundos. El brazo recoge la pieza y la traslada a una de las esquinas del depósito de almacenamiento. Una vez soltada la pieza, el brazo vuelve a su posición inicial. El proceso se repite, colocando la pieza en diferentes esquinas del almacenamiento hasta completar las 4 esquinas. Luego, el proceso se repite en la siguiente planta del almacenamiento, hasta completar las 3 plantas. Una vez finalizado el proceso, el sistema habrá completado su ciclo de envasado, transporte y almacenamiento.

Modelado 3D y Ensamblaje Virtual del Sistema

La metodología de diseño del sistema de transporte, almacenamiento y ensamblaje automatizado comenzó con un análisis detallado de los requisitos y especificaciones del sistema. Se diseñó un sistema integral que combina tres módulos principales: el módulo de transporte y envasado, el módulo de almacenamiento y el módulo del robot colaborativo.

El módulo de transporte y envasado se compone de una base de aluminio, una cinta transportadora, sensores de fibra óptica, un tope final de la cinta transportadora, un cilindro neumático y piezas y herramientas como la ventosa. La cinta transportadora es fundamental para trasladar las piezas desde el principio hasta el final, donde el brazo robótico las recogerá y las llevará al depósito de almacenamiento. El módulo de almacenamiento fue diseñado para almacenar las piezas transportadas, con dimensiones definidas para optimizar el almacenamiento. La integración de estos módulos permite una solución completa para el transporte y almacenamiento automatizado.

El tercer módulo, el del robot colaborativo, es un brazo robótico programable de 7 ejes llamado myCobot 320. Utiliza tecnologías avanzadas para control colaborativo y ofrece flexibilidad en la programación, permitiendo el uso de entornos como myBlockly, Python y ROS.

Este módulo se compone de una base de PVC espumado, una placa de aluminio, una válvula de succión (ventosa) para manipular objetos, una base para sujetar la válvula al robot y el robot colaborativo en sí.

La integración de estos módulos permite que el robot colaborativo realice tareas de manipulación y ensamblaje de manera precisa y eficiente, completando el sistema de transporte, almacenamiento y ensamblaje automatizado.

Ensamblaje Virtual y Verificación

Una vez diseñados todos los componentes, se realizará un ensamblaje virtual utilizando SolidWorks. Esto permitirá evaluar la interacción entre los distintos componentes y verificar La cinemática del brazo robótico, La sincronización de los módulos MPS y La optimización de la disposición general del sistema para garantizar la eficiencia y coherencia en la operación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En este estudio, se ha desarrollado el diseño 3D en SolidWorks para una estación de ensamblaje, transporte y almacenamiento en un proceso de agricultura de precisión. A continuación, se presentan los resultados obtenidos desde el inicio del diseño hasta el ensamblaje del sistema.

Para desarrollar la estación, se realizó un análisis cuidadoso sobre las dimensiones de cada componente. El sistema se forma de tres módulos principales: uno para la etapa de transporte, otro para la etapa de almacenamiento y un tercer módulo que consiste en una base de aluminio para colocar el robot colaborativo.

Para integrar estos tres módulos, se diseñó una base de perfil de aluminio con dimensiones específicas: 60.00 cm de largo y 33.5 cm de ancho (ver Figura 1 Modelo 3D de la base de perfil de aluminio Figura 1).



Figura 1 Modelo 3D de la base de perfil de aluminio

Módulo de almacenamiento

De la misma forma que se realizó la base para el sistema en general, también se realizó una base especial para el módulo de almacenamiento, como se observa en la Figura 2.



Figura 2 Base del módulo de transporte

Los componentes que integran este módulo se ilustran en la Figura 3. Para garantizar la detección precisa de las celdas de ensamblaje, el módulo incorpora sensores de presencia. En este sistema, se utilizarán sensores ópticos SOEG-L-Q30-P-A-S-2L, como los mostrados en la Figura 3-a. Además, la Figura 3-d muestra los sujetadores de la base de aluminio, que permiten una unión segura y estable entre la base y el perfil de aluminio. Estos sujetadores son fundamentales para mantener la estructura del módulo y garantizar su funcionamiento óptimo.

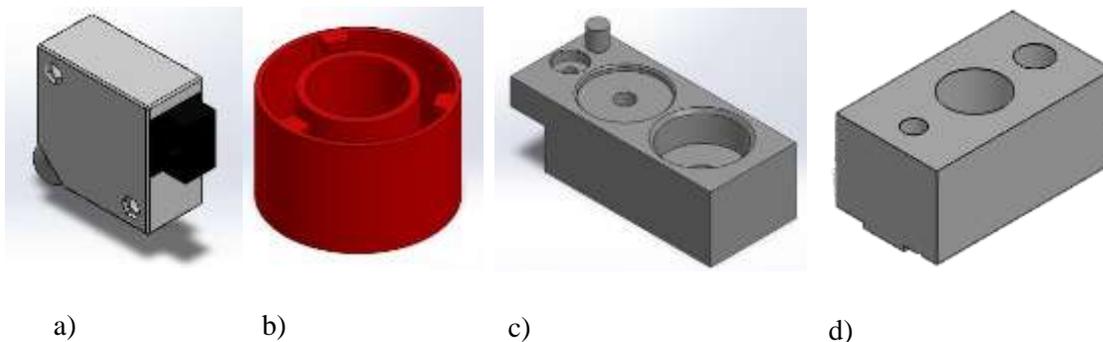


Figura 3 Piezas del módulo de transporte a) Sensor óptico de presencia b) Pieza de ensamble con el cobot c) Sección base de la etapa de ensamblaje d) Sujetador de la base.

Para asegurar una unión segura entre la base de aluminio y el recipiente donde se colocarán las celdas terminadas, se diseñó una pieza especial (ver Figura 4) que garantiza una conexión estable y precisa. Esta pieza se complementa con un seguro (Figura 4-b) que sujeta firmemente el módulo de almacenamiento (Figura 4-d), evitando movimientos indeseados.

Además, se diseñó un tornillo sujetador de aluminio (Figura 4-c) específicamente para esta aplicación, el cual se manufacturó para asegurar una sujeción confiable y duradera. Esta combinación de componentes garantiza la integridad y estabilidad del sistema.

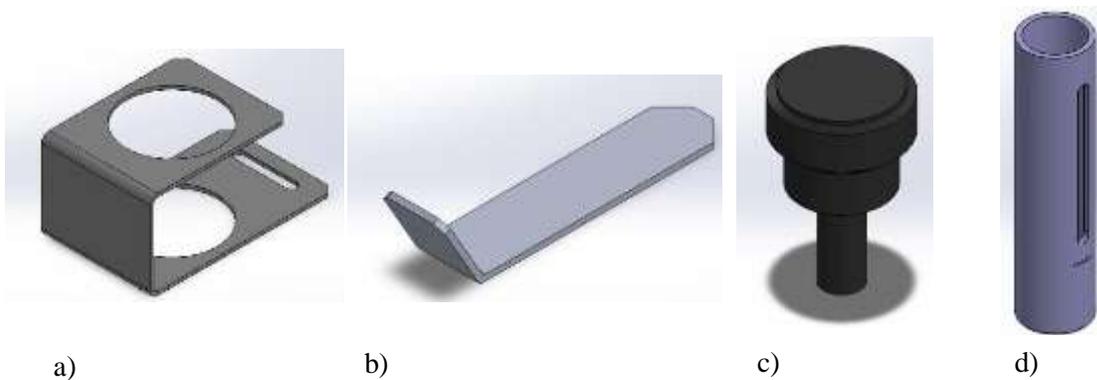


Figura 4 Piezas de sujeción a) base del sistema de almacenamiento b) seguro de sujeción c) tornillo de sujeción d) recipiente para almacenar las celdas

Una vez finalizado el diseño de todas las piezas, se procedió a realizar el ensamblaje completo del módulo de almacenamiento, integrando todas las componentes diseñadas para asegurar un funcionamiento óptimo y eficiente.

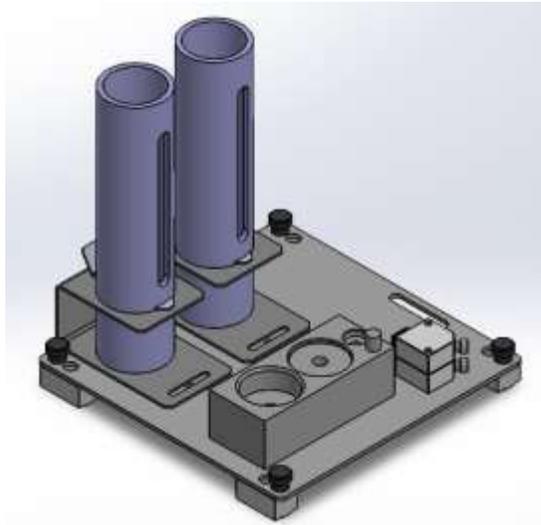


Figura 5 Ensamblaje 3d del módulo de almacenamiento.

Módulo de transporte

El diseño del segundo módulo está formado por una placa de aluminio y tres ensambles, el primer ensamble está formado por un pistón, una bandeja y su carcasa, esta parte se encarga de distribuir al brazo colaborativo la celda para ensamblar en la pieza principal (Ver Figura 6)

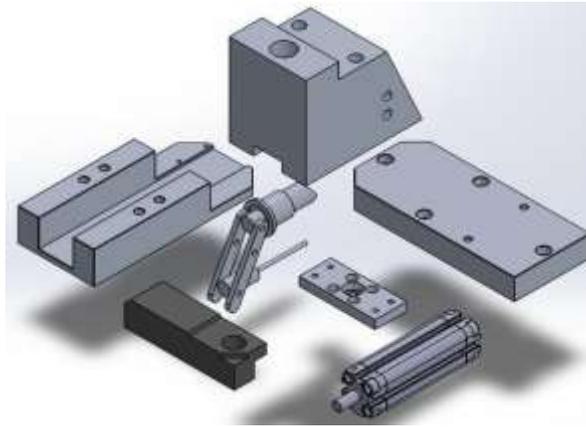
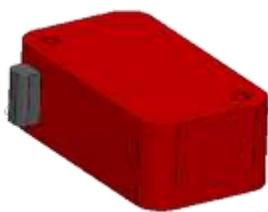


Figura 6 piezas que forman el primer ensamble

En el ensamblaje del módulo de almacenamiento, se integraron dos componentes clave: un sensor para la detección precisa de la celda y un pistón neumático de doble efecto. Este pistón permite el desplazamiento lineal controlado de la celda sobre la zona de ensamblaje.



a)



b)

Figura 7 Piezas del primer ensamble a) sensor de detección de la celda b) actuador lineal de doble efecto

El segundo ensamblaje se compone de tres piezas cuidadosamente diseñadas. Su función principal es sostener unos pivotes específicos que serán capturados y manipulados por el robot colaborativo. Posteriormente, estos pivotes serán ensamblados a la pieza principal, permitiendo la integración precisa y eficiente de los componentes.

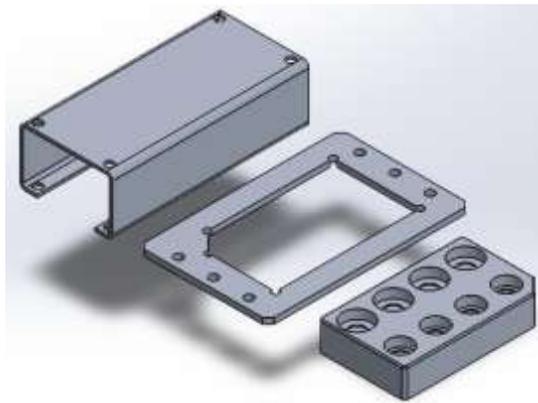


Figura 8 Piezas que forman el segundo ensamblaje

El tercer ensamblaje de este módulo es un conjunto complejo que integra un pistón, un sensor de fibra óptica y cinco componentes adicionales. La función principal de este ensamblaje es proporcionar una tapa que será capturada y manipulada por el robot colaborativo, para luego ser ensamblada a la pieza principal. Este ensamblaje es fundamental para completar el proceso de ensamblaje automático.

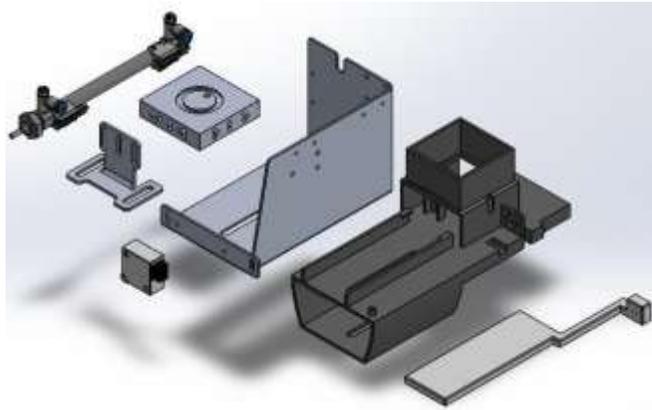


Figura 9 Piezas que forman el tercer ensamble

Una vez que se han completado los tres ensambles que componen el módulo de transporte, estos se colocan estratégicamente en la placa de aluminio, dando como resultado una estructura integral y funcional. La disposición final de los ensambles en la placa de aluminio se puede visualizar de la siguiente manera (Ver Figura 10).

Módulo del robot colaborativo

Las piezas utilizadas en este módulo se muestran en la Figura 11

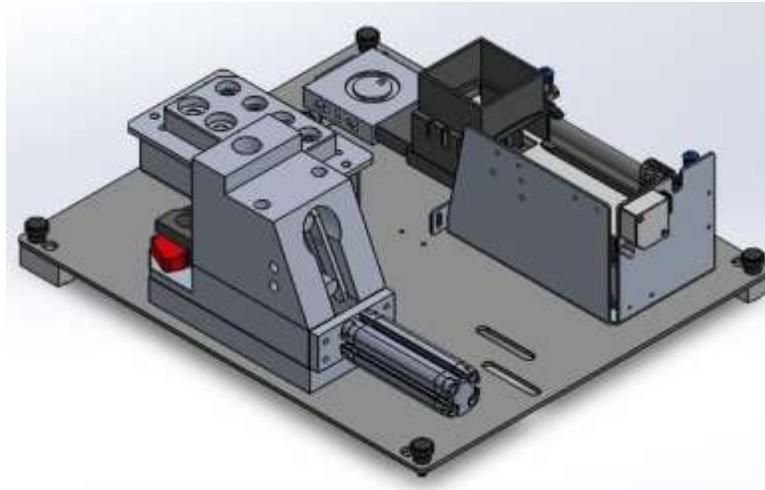
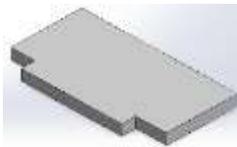


Figura 10 Módulo de transporte completo



a)



b)



c)

Figura 11 piezas para en ensamble del módulo cobot a) PVC espumado b) Base de aluminio c) Sujetado de válvula del cobot

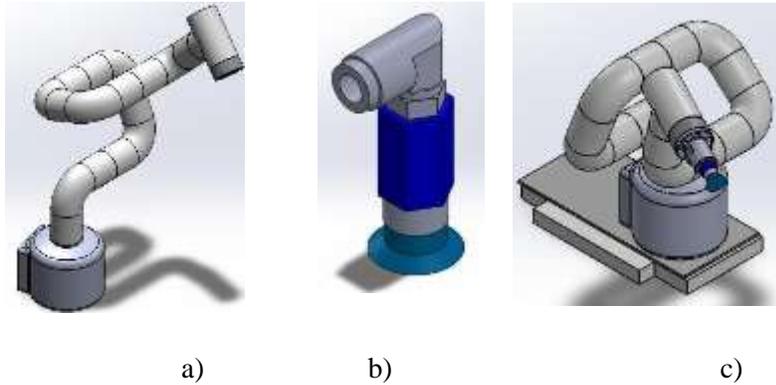


Figura 12 a) MyCobot Pi 280 b) ventosa para la sujeción de la celda c) módulo cobot ensamblado

Una vez que los tres ensambles estuvieron listos, se procedió a montarlos en la base de perfil de aluminio, lo que permitió visualizar el sistema completo y funcional. La base de aluminio proporcionó una estructura sólida y estable para sostener los diferentes componentes del sistema, asegurando un funcionamiento óptimo y eficiente. La integración de los tres ensambles en la base de aluminio marcó la culminación del proceso de diseño y ensamblaje, dando vida a un sistema automatizado capaz de realizar tareas de transporte, almacenamiento y ensamblaje con precisión y eficiencia.

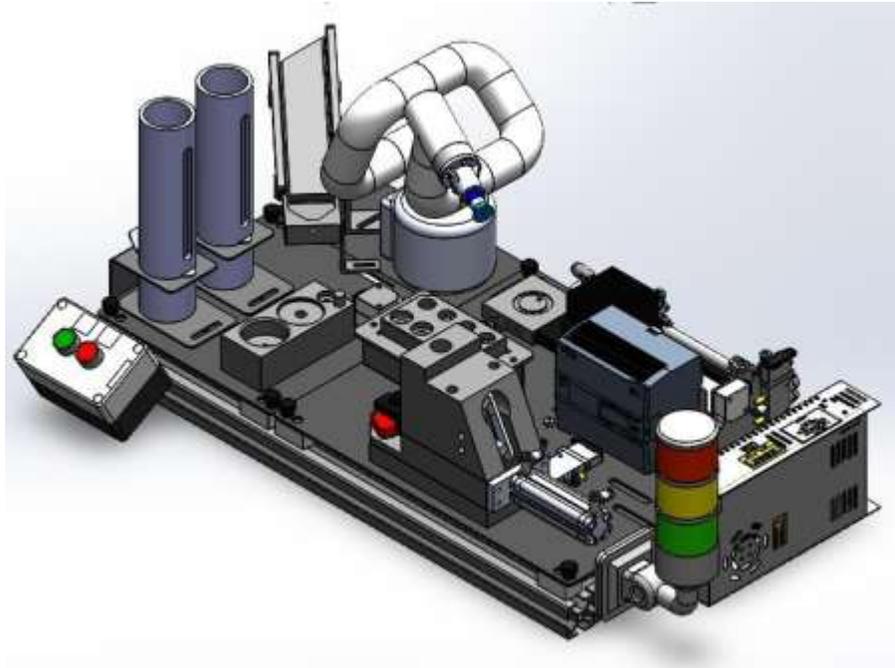


Figura 13 Ensamble del sistema propuesto final

CONCLUSIONES.

En conclusión, el proyecto de diseño y ensamblaje de un sistema de transporte, almacenamiento y ensamblaje automatizado ha demostrado la importancia crucial de implementar soluciones tecnológicas innovadoras en la industria manufacturera. Este sistema revolucionario ofrece una doble función: por un lado, sirve como estación de entrenamiento para operarios, permitiéndoles familiarizarse con tecnologías avanzadas, y por otro, se integra perfectamente en líneas de producción, automatizando procesos y mejorando significativamente tiempos, precisión y calidad del producto final. La creación de este sistema permite optimizar procesos, reducir tiempos de producción y aumentar la eficiencia en la línea de ensamblaje.



El uso de SolidWorks como herramienta de diseño y simulación ha sido fundamental para la manufactura y ensamblaje del sistema. Esta plataforma ha permitido crear modelos detallados y precisos, visualizar el ensamblaje y realizar ajustes y optimizaciones antes de la fabricación.

El impacto de este proyecto trasciende fronteras industriales, ya que puede ser aplicado en sectores tan diversos como la agricultura de precisión, automotriz, aeroespacial y electrónica. La implementación de sistemas de ensamblaje automatizados puede mejorar la productividad, reducir costos y aumentar la calidad de los productos finales. Además, este proyecto destaca la importancia de la innovación y la tecnología en la industria manufacturera, demostrando cómo pueden ser utilizadas para mejorar procesos y aumentar la competitividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CAMPO, A. A. C., & HENAO, J. S. N. DISEÑO MECÁNICO DE UN SISTEMA DE PALETIZADO CARTESIANO, QUE PERMITE ELEVAR CARGAS DE 1 A 25 KG EN CAJAS DE DIFERENTES FORMATOS, EN EL FINAL DE LÍNEA DE UN PROCESO PRODUCTIVO.
- [2] Méndez Torres, A. (2019). Diseño y simulación de un sistema neumático para el paletizado industrial.
- [3] Olivares Cuadrado, A. M., & González Guzmán, C. A. (2008). Diseño de sistemas automatizados utilizando herramientas de simulación. Automatización de sistema paletizador de envases metálicos, estudio e implementación en simulación.



[4] López Paguay, J. A., & Santillán Meneses, G. E. (2015). Diseño, Implementación y Programación de un Robot Móvil para Integrar a un Sistema MPS para el Transporte de Materiales (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

[5] López Paguay, J. A., & Santillán Meneses, G. E. (2015). Diseño, Implementación y Programación de un Robot Móvil para Integrar a un Sistema MPS para el Transporte de Materiales (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

[6] López Paguay, J. A., & Santillán Meneses, G. E. (2015). Diseño, Implementación y Programación de un Robot Móvil para Integrar a un Sistema MPS para el Transporte de Materiales (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).