

Sistema de paletizado y clasificación mediante visión artificial implementando un entorno web para la gestión de un sistema de alarmas

Palletizing and classification system through artificial vision implementing a web environment for the management of an alarm system

Fecha de recepción: 2023-04-13 • Fecha de aceptación: 2023-05-24 • Fecha de publicación: 2023-06-10

Franklin Wilfrido Salazar Logroño¹

Universidad Técnica de Ambato, Ecuador

fw.salazar@uta.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-3404-5202>

Ángel Patricio Fernández Soria²

Universidad Técnica de Ambato, Ecuador

ap.fernandez@uta.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-3558-7660>

Ángel Alberto Silva Conde³

Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador

alberto.silva@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1811-3340>

María Francisca Cazorla⁴

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador

maria.cazorla@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5200-8499>

RESUMEN

En este trabajo de investigación se presenta el diseño de un sistema de clasificación de cajas basado en la visión artificial, la cual permite detectar el color de cada una de las cajas que entran a la estación. El sistema se basa en la implementación de un robot cilíndrico, un robot cartesiano (cada uno con su respectivo PLC) y una banda transportadora.

El funcionamiento empieza con la detección de cajas mediante un sensor capacitivo, el cual activa al robot cilíndrico para posicionar las cajas en la banda transportadora la cual llevará las cajas hacia el área de paletizado; dicha banda es activada a través de una señal enviada por el robot cilíndrico hacia el PLC del robot cartesiano mediante una conexión Profinet. En el área de paletizado se incorpora la visión artificial para la clasificación de cajas a través de colores, en donde mediante una conexión OPC se enlazan los softwares Labview y Tia Portal para el procesamiento de datos. Al detectar el color se activa el robot cartesiano el cual coloca cada una de las cajas en su respectiva posición y las agrupa en lotes de 3, una vez paletizado los dos tipos de cajas se reinicia el sistema y vuelve a empezar su funcionamiento.

Por otro lado, y, como complemento, se diseña un entorno web para la gestión de un sistema de alarmas con el fin de facilitar la interacción entre el usuario y el sistema implementado.

PALABRAS CLAVE: robótica, robot industrial, automatización, paletizado, visión artificial

ABSTRACT

At this research paper presents the design of a box classification system based on artificial vision, which allows detecting the color of each of the boxes that enter the station. The system is based on the implementation of a cylindrical robot, a Cartesian robot (each one with its respective PLC) and a conveyor belt.

The operation begins with the detection of boxes by means of a capacitive sensor which activates the cylindrical robot to position the boxes on the conveyor belt that it will take the boxes to the palletizing area, that band is activated through a signal sent by the robot cylindrical to the PLC of the Cartesian robot by a Profinet connection. Artificial vision is incorporated in the palletizing area for the classification of boxes by colors, where the Labview and Tia Portal software for data processing are linked through an OPC connection. At the moment the color is detected, the Cartesian robot is activated, which put each box in their respective position and groups them into batches of 3. Once the two types of boxes have been palletized, the system restarts its operating again.

On the other hand, and as a complement, a web environment is designed for the management of an alarm system for making easier the interaction between the user and the implemented system.

KEYWORDS: robotics, industrial robot, automation, palletizing, machine vision

Introducción

A lo largo de la historia el desarrollo tecnológico ha tenido un impacto importante en los sistemas de manufactura, la automatización y robótica; y más recientemente la llamada *industria 4.0* considerada como la *Cuarta Revolución Industrial*, debido a su potencial y beneficios relacionados con la integración, innovación y autonomía de los procesos (Ynzunza et al., 2017).

Los conceptos de industria 4.0 y manufactura inteligente son relativamente nuevos y contemplan la introducción de las tecnologías digitales en la industria de la fabricación. Es decir, la incorporación al ambiente de manufactura de tecnologías como el Internet de las cosas, cómputo móvil, la nube, el *big data*, redes de sensores inalámbricos, sistemas embebidos y dispositivos móviles, entre otros (Barrientos-Avendaño y Areniz-Arévalo, 2019).

La ciencia de la robótica ha acompañado a los seres humanos a lo largo de la vida cotidiana y ha brindado un gran aporte en sus distintas áreas de aplicación, iniciando con robots manipuladores, de entretenimiento y de servicio, hasta robots móviles (Conelec, 2011).

En muchos países del mundo se están realizando esfuerzos a nivel de política gubernamental estratégica para difundir las tecnologías y los beneficios de la incorporación de la industria 4.0 y la manufactura inteligente en pymes (Anumaka, 2012).

Sin embargo, aun y cuando la industria 4.0 y la manufactura inteligente están teniendo resultados importantes, se sabe que afectará a todo tipo de empresas y su adopción temprana es una oportunidad para hacer negocios como dicen Barrientos-Avendaño y Areniz-Arévalo (2019, p. 56-60) muchos empresarios han optado por esperar, sin considerar el riesgo que un proceso de adopción tardía o el no hacerlo representa para sus empresas. Debido al desconocimiento que existe aún en torno a la industria 4.0 y la manufactura inteligente y a que todavía no es claro para ellos, visto esto en Barros et al. (2013) cuáles son los factores que influyen su uso; además de que no existe aún información suficiente sobre su potencial, si bien ha tenido un fuerte crecimiento en los últimos años, lo que de algún modo permite anticipar que en el corto plazo la industria 4.0 y sus tecnologías, sustituirán a las tecnologías convencionales (Arcilla, 2010).

El trabajo de paletizado implica una elevada concentración y precisión al momento de apilar mercancía empleando paleta. De forma tradicional se empleaban equipos que requerían el control y operación por parte de personal calificado. Sin embargo, la integración de estos equipos producía emisiones contaminantes que en entornos cerrados como son las industrias originaba daños en la salud del personal. Además, el estrés y cansancio físico de los operadores ocasiona accidentes, ya que varias cajas se apilan verticalmente. En este sentido, los robots industriales consolidan un sistema robusto con gran velocidad y eficiencia ya que son sistemas autónomos que pueden trabajar en forma continua a una velocidad constante. Se logra así una mayor productividad y minimizando los tiempos de paletización en comparación al trabajo manual.

Asimismo, la integración de sensores y sistemas de visión por computador facilitan la manipulación de objetos con elevada precisión. Evitando errores y daños en los productos durante el proceso de paletización. Adicionalmente, los robots pueden ser programados para operar paletas de diferentes



tamaños convirtiéndose en sistemas idóneos para una amplia gama de aplicaciones industriales, gracias al rápido intercambio entre productos sin necesidad de extensas configuraciones.

Automatizar el proceso de paletización reduce en gran manera los esfuerzos físicos y repetitivos en los trabajadores, que a futuro minimizará el riesgo por lesiones permitiendo que se enfoquen en tareas específicas y complejas.

Por el problema expuesto en párrafos anteriores (Ynzunza-Cortés, 2017), así como también con sustento en investigaciones preliminares, en este proyecto se propone realizar la programación de un proceso manufacturero, con el empleo de dos robots un cartesiano y un cilíndrico explicado en Ramírez et al. (2022), además de la interfaz para la gestión de alarmas en un entorno web explicado en Tremante y Brea (2014). El diseño de tipo experimental y de obtención de información de robots consta de dos partes; en primera instancia de un entorno web para la gestión de alarmas para la interacción hombre-sistema, es decir se busca crear un diseño que facilite al operador una relación más amigable con el sistema robótico como tal; por otro lado, se utiliza programación en Tia Portal con la finalidad de obtener resultados de movimientos y trayectorias.

1.1 Trabajos preliminares

La investigación acerca de la identificación de sistemas para paletizado mediante robots cilíndricos o cartesianos utilizando la realidad aumentada se ha desarrollado para diferentes aplicaciones en la industria menciona. Sin embargo, la mayoría de los sistemas de paletizado que se utilizan son de alto costo, lo cual imposibilita a la mayoría de las industrias a invertir en dicho sistema.

Hay una extensa gama de aplicaciones para packaging en el mercado, y en este artículo deseamos especificar cuáles son las habilidades de carga y el alcance que poseen los robots paletizadoras de cajas, envases y botellas de las diversas marcas y elaboradores que poseemos a nuestra disposición con una amplia gama de alternativas que según sea necesario se ajustarán a nuestros requerimientos (revistaderobots, 2021).

Caro (2021) propone la instalación de robots paletizadoras en líneas de envasado en una planta industrial, donde se centra la problemática del análisis de inversión y factibilidad técnica a la hora de invertir en equipos de paletizado automático. Se analiza la situación de la planta sin dichos equipos para luego realizar una comparación entre ambas situaciones. Se evalúan distintas alternativas de proveedores de robots y varios de sus modelos, además de realizar el flujo de fondos que lleva a calcular la TIR, el VAN y el período de repago de cada alternativa de inversión, para luego medir los riesgos y tomar una decisión definitiva. Por último, se busca la mejor manera de comunicar el proyecto y sus implicancias al personal de planta, con el objetivo de evitar conflictos de cualquier tipo. Habiendo alcanzado un resultado satisfactorio en el proceso de análisis, se considera que la metodología utilizada es válida para aplicar a casos de características similares (Rojo, 2017).

Pastor y Ortega (2014) en lo referente a la iniciativa para el proceso de paletizado automático de productos, abordan el proceso teniendo presente el diseño cinemático y dinámico de robots manipuladores, uno de configuración cartesiana y otro con configuración tipo Scara.

Además, por solicitud del departamento de ingeniería de la organización se aborda la iniciativa de diseño de una celda de paletizado para un robot comercial de configuración angular, esto para que la organización, en el futuro, decida la viabilidad de edificar un robot manipulador o conseguir uno del mercado (Muñoz, 2017).

Un sistema de paletizado para acoplar a la línea de envasado de líquidos en la composición ensambla los conjuntos mencionados, cada uno cumple una funcionalidad específica, los sensores se delegan de transmitir las entradas o señales eléctricas hacia la interfaz de comunicación, este paralelamente se ocupa de transmitir al PLC para que logre interactuar con el programa de la computadora, este envía una señal de salida que posibilita actuar a los cilindros por medio de las electroválvulas que regulan el aire que es necesario para moverlos, el motor gira el tornillo sin fin para trasladar a los cilindros tipo pinza que sujetan a las botellas de líquidos hacia el palet para ubicarlos de forma idónea en cada separación, una vez llenado el palet el cilindro con vástago más extenso se ocupa de desplazar las cajas y de esta forma concluir toda la sucesión de un sistema de paletizado (Llangarí y Gonzaga, 2011). El plan se fundamenta en la automatización de una estación de paletizado robotizada que posibilita gestionar el almacenamiento de unas partes según las instrucciones configuradas por el cliente.

El control de la aplicación se hace por medio de un interfaz hombre-máquina y un controlador PLC, este último, es el responsable de gestionar lo demás de recursos que añade el sistema. Una de las piezas relevantes de este plan fue la adhesión de todos los recursos anteriormente mencionados en una red de comunicaciones que posibilite el trueque de datos de una forma instantánea, eficiente y segura; en esta situación, el protocolo escogido para esta red fue Profinet, ya que es el estándar de Siemens y está bastante extendido en el planeta industrial (Romero, 2017).

El presente plan tiene el desarrollo de un sistema de perspectiva artificial para ofrecer solución al control de procesos industriales convencionales, los que poseen la primordial desventaja de no ser autoadaptables en casos de existir diferentes patrones a maquinar, como se explica en De la Rosa (2015). A través de los Toolkit de perspectiva artificial de Simulink, se obtuvieron las propiedades primordiales de los modelos estudiados, como es el centro geométrico, además de conseguir el reconocimiento de patrones usando una red neuronal junto al cálculo de los instantes invariantes de Hu. Al final los datos de coordenadas del centro geométrico y del modelo son enviados por medio de comunicación serial RS-232 al brazo robótico Mitsubishi RV- 2AJ, para hacer el maquinado de los modelos realizando una perforación en el centro geométrico de ellos. El sistema ha podido reconocer la figura de los modelos, así como sus propiedades morfológicas; y el brazo robótico consiguió hacer una perforación en el centro geométrico con un error aproximado del 3% (Andrade y Chulca, 2018).

El trabajo muestra un sistema de categorización de latas de pintura tomando en cuenta el espacio de color RGB, se usan técnicas de procesamiento digital de imágenes como conversión del tipo de imágenes explicado en Perez (2012) binarización y operaciones morfológicas las cuales se filtran para evidenciar un conveniente reconocimiento. El sistema de categorización tiene una eficiencia del 98.33%, en condiciones de iluminación controladas por medio de fuentes lumínicas para un conveniente procesamiento a lo largo de sus distintas fases (Tinajero et al., 2020).



Metodología

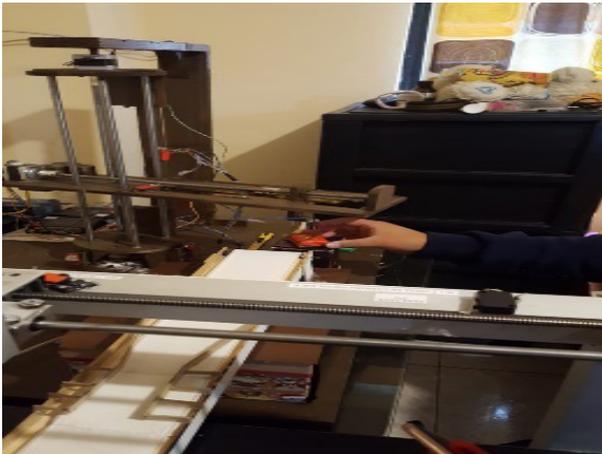
2.1 Procedimiento

La ejecución del sistema de paletizado por visión artificial propuesta como caso de estudio es arrancado cuando un sensor capacitivo de tipo PNP detecta que la caja (independientemente su color) es ubicada en el lugar de recogida.

Cuando una caja es ubicada en el lugar de recogida, activa la secuencia de arranque de todo el sistema de paletizado, en este caso el robot cilíndrico comienza la ejecución de su secuencia programada con anterioridad. Su primera tarea es recoger la pieza situada (*Figura 1*).

Figura 1

Ubicación de la Caja en Lugar de Recogida



La siguiente tarea del robot cilíndrico es depositar la caja recogida en la banda de transportación (*Figura 2*), para ello el robot realiza movimientos en sus 3 ejes (Eje de rotación, Eje X y Eje Z). Un aspecto para tomar en cuenta es que la activación de la banda de transportación es activada una vez que el robot cilíndrico llegue a su posición de destino en el eje Z, esto emite una señal al PLC2 mediante una comunicación Profibus para activar la salida Q1.1 de dicho PLC.

Figura 2

Robot Cilíndrico Recogiendo una Caja Roja

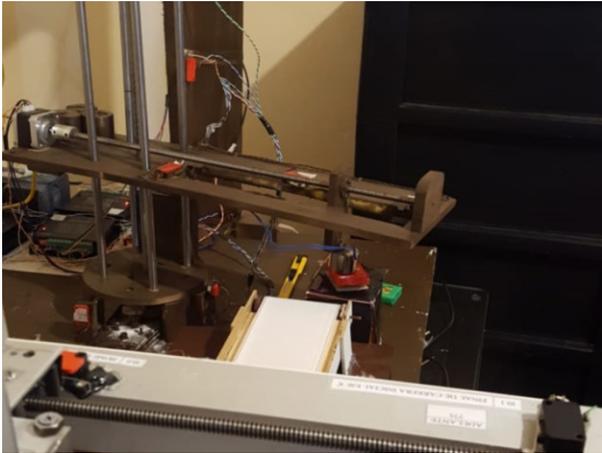
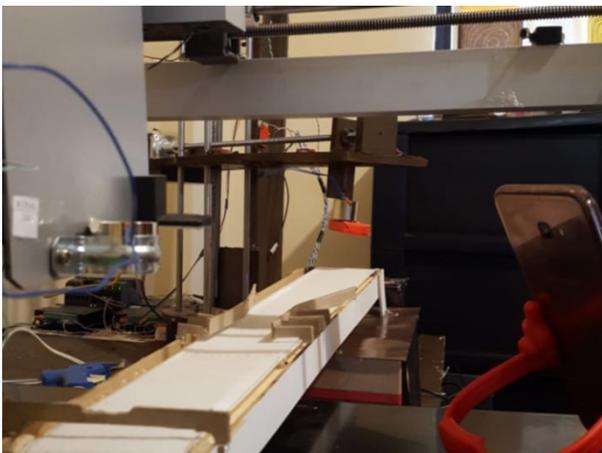


Figura 3

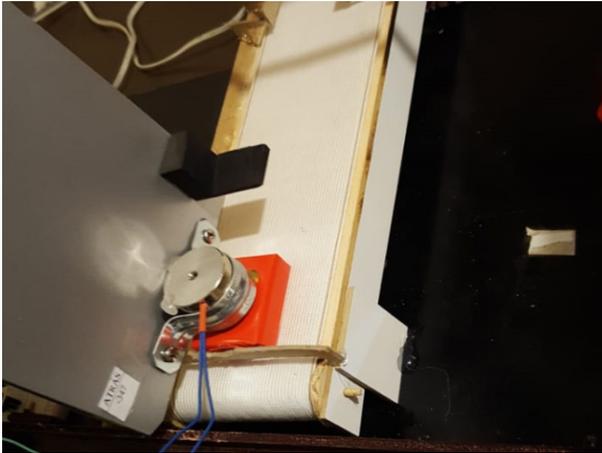
Depósito de Caja Roja Mediante Robot Cilíndrico



Una vez ubicada la caja en la banda de transportación, esta transporta dicha caja hasta el lugar de recogida del sistema cartesiano. El arranque del sistema cartesiano es disparado mediante el reconocimiento del color de la caja en cuestión, esto gracias a la implementación de visión artificial.

Figura 4

Sistema Cartesiano XYZ Recogiendo una Caja Roja



El paletizado de las cajas se lo realiza mediante el sistema cartesiano XYZ, el sistema mueve las cajas y las ubica en posiciones diferentes en dependencia de su color. Cabe mencionar también que cada ubicación de las cajas es seleccionada mediante un contador, cuya función es ejecutar las instrucciones programadas en función al número de veces que el sistema cartesiano ha recogido la pieza del mismo color (hasta un máximo de tres cajas). Lo expuesto anteriormente se lo puede evidenciar mediante las siguientes figuras. De la *Figura 5* a la *Figura 8*, se puede evidenciar que el sistema cartesiano realiza el posicionamiento de las cajas de forma correcta.

Figura 5

Ubicación de la Caja Roja en la Posición 1

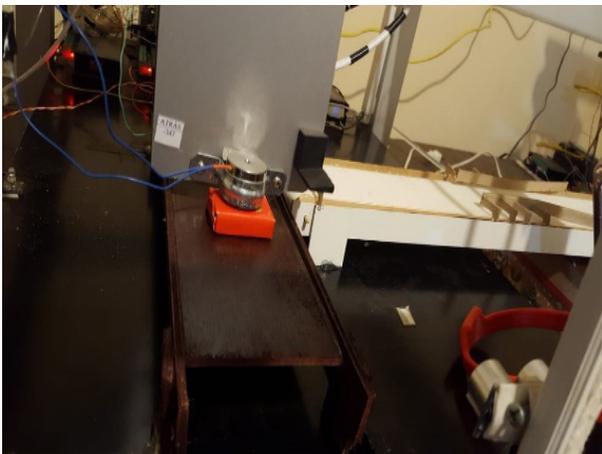


Figura 6

Ubicación de las Cajas Roja y Verde en la Posición 1

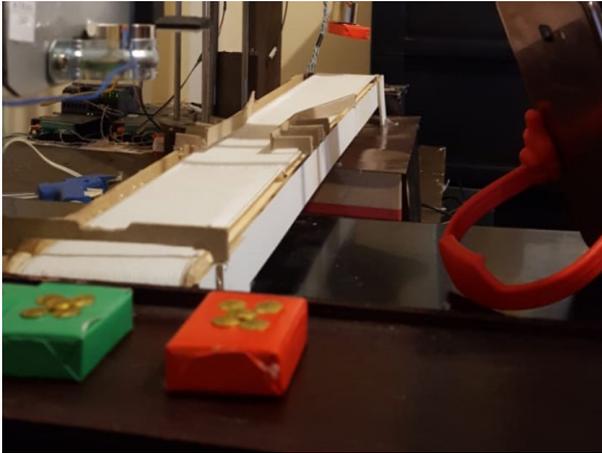


Figura 7

Ubicación de Caja Verde en la Posición 2

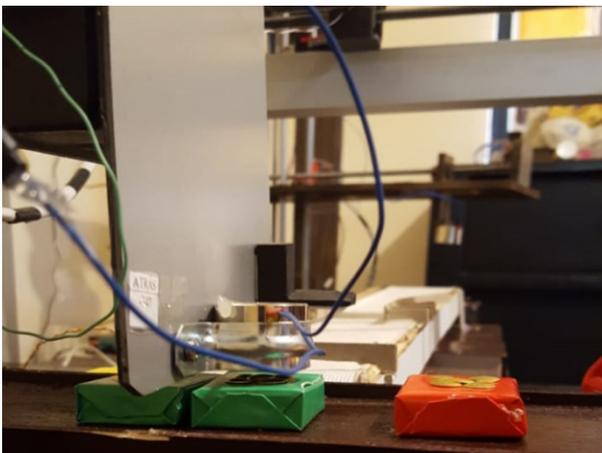
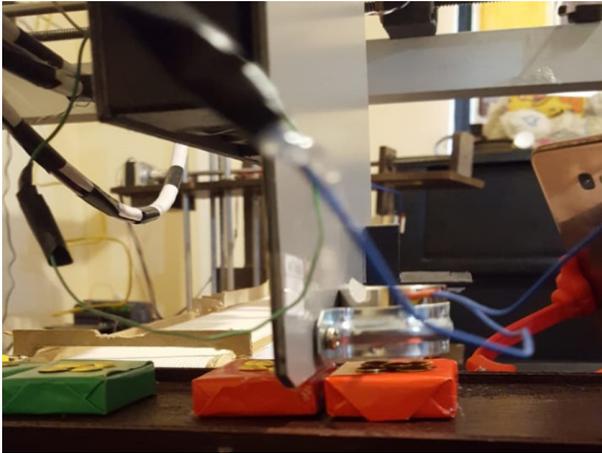


Figura 8

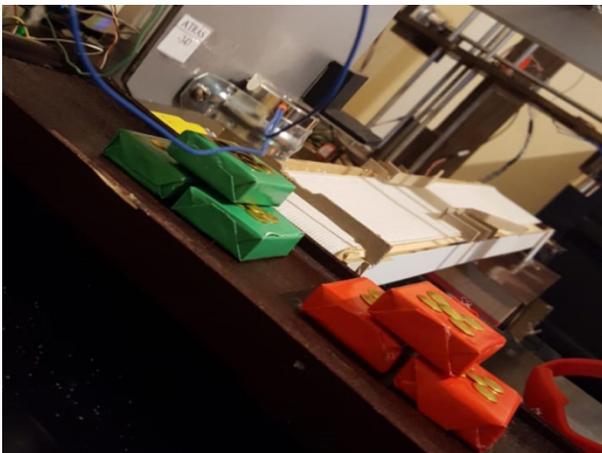
Ubicación de la Caja Roja en la Posición 2



El resultado final es presentado en la *Figura 9*, en donde se evidencia que el paletizado de las cajas resulta en una figura tipo pirámide evidenciando que el sistema XYZ cumple con todos los parámetros programados de forma correcta.

Figura 9

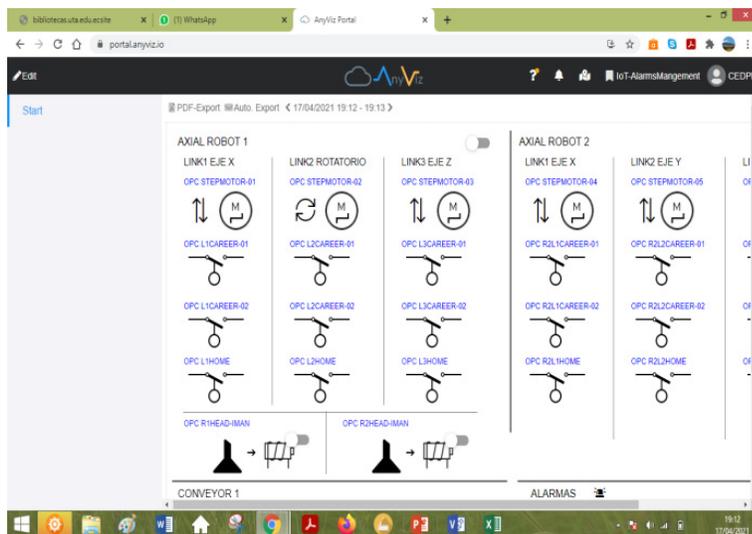
Paletizado de Cajas por Colores Mediante Sistema Cartesiano XYZ.



El entorno web es necesario programarlo con una página web que se llama anyviz, el cual permite trabajar con el entorno web de forma virtual ingresando 10 variables de versión trial y poder comunicar más de 1 dispositivo de forma trial. Para el ingreso de esto es necesario realizar la programación de entorno visual manteniendo los estándares de la ISO1200, para lo cual se utiliza en el fondo mostrado en la *Figura 10*.

Figura 10

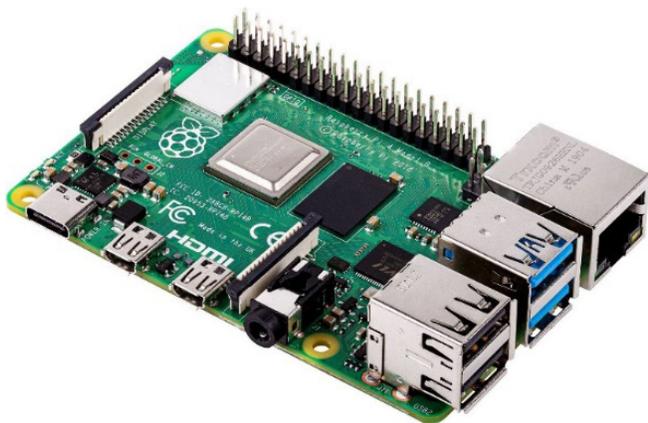
Entorno Web



Para la conexión con los Plc's de la maqueta presentada se empleó una red necesaria para la comunicación entre la raspberry pi, a través del protocolo ethernet, de forma física, para lo cual es necesario el empleo de cables de red y tener la conexión actualizada.

Figura 11

Raspberry pi Empleada para la Comunicación del Entorno Web



La configuración se lo hace de manera intuitiva en el entorno, pero al ser una versión trial tiene ciertas limitaciones por lo cual es necesario la compra de una licencia.

Resultados

En este apartado se presentan los resultados obtenidos mediante la ejecución de las instrucciones presentadas en la sección anterior.

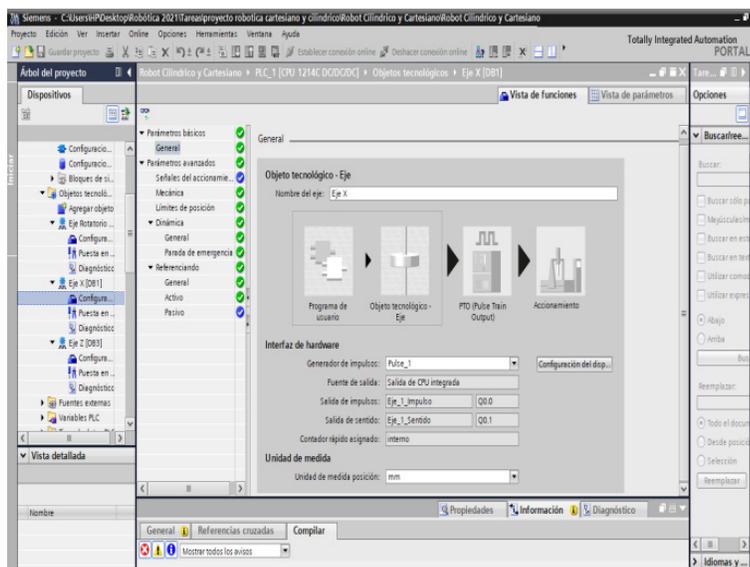
3.1 Lógica de control

El proyecto cuenta con dos PLC's S7-1200 DC/DC/DC físicos que controlan cada una de las maquetas de los robots y además una pantalla HDMI simulada para controles jog de cada uno de los ejes de cada robot.

Cada uno de los ejes deben ser configurados en cuanto a sus finales de carrera, longitudes, referenciado para proveer al programa de la información adecuada del dimensionamiento de la maqueta y su área de trabajo; esta configuración se la realiza con *Motion Control* como se indica en la *Figura 12*.

Figura 12

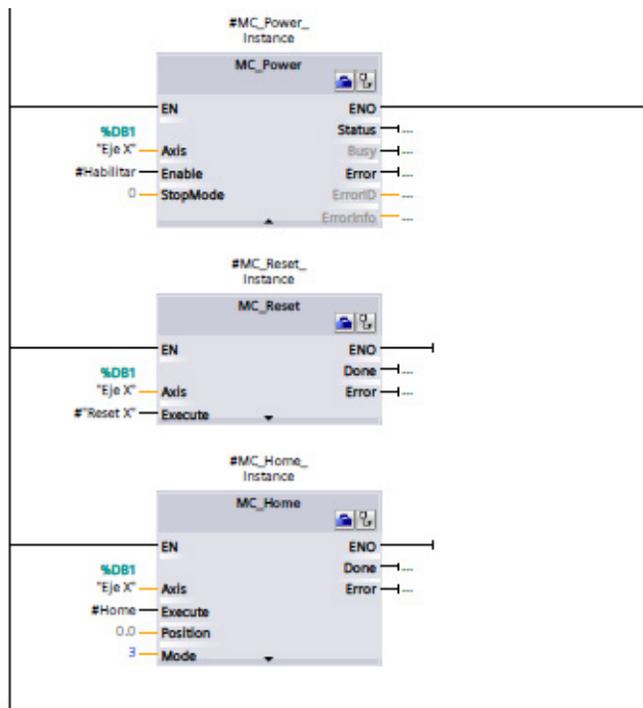
Configuración PLC1 Ejes



En la *Figura 13* se observa los bloques MC_Power, MC_Reset, MC_Home que nos permiten realizar el control de los ejes mediante Motion Control de la maqueta del robot cilíndrico que será controlado por el PLC1. Es necesario configurar estos tres bloques para cada uno de los ejes denominados X, Z, Rotatorio.

Figura 13

Configuración PLC1 Motion Control



En la Figura 14 se observa el llamado de las funciones de configuración que nos permitirán manipular los ejes en la pantalla HDMI donde contamos con botones para desplazar los ejes en sentido positivo y negativo como se muestra a continuación en la Figura 15.

Figura 14

Main PLC1

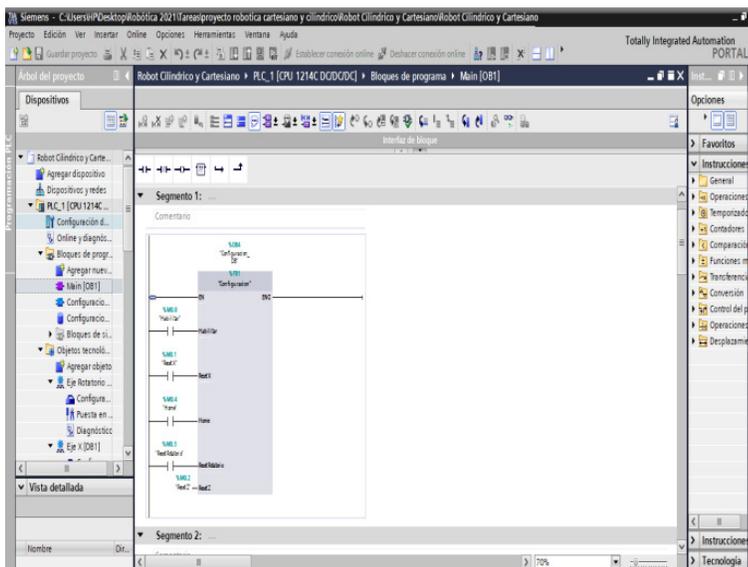
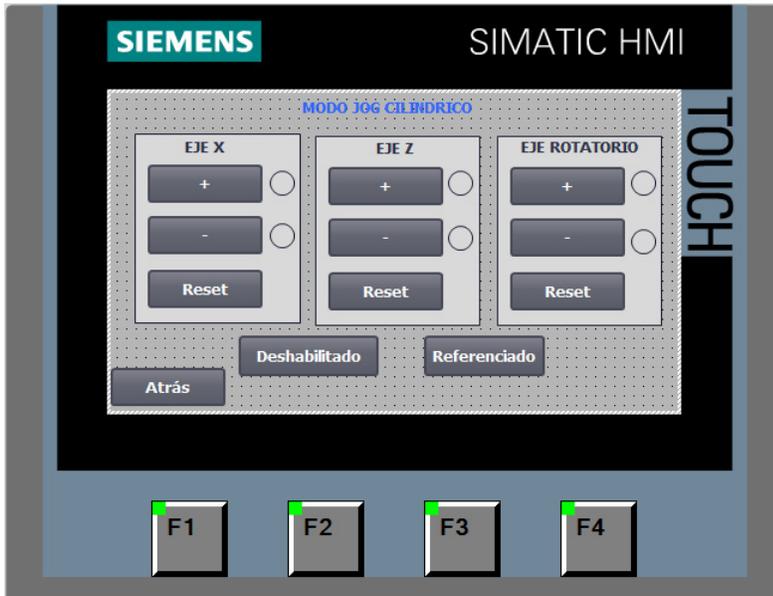


Figura 15

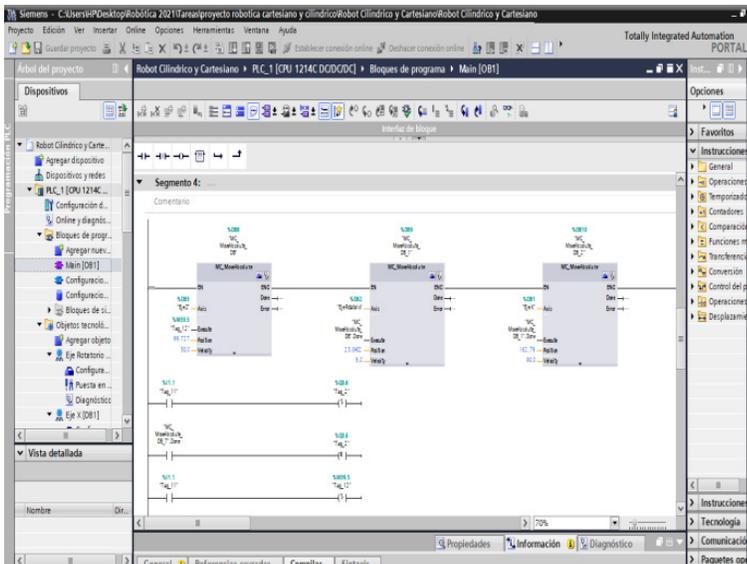
HDMI Controles Jog Robot Cilíndrico



En el segmento 4 que se puede observar en la *Figura 16* se realiza la configuración de la secuencia de movimientos de cada uno de los ejes para que, cuando el objeto sea detectado en la posición de recogida, el robot mueva los ejes hacia esta posición y sujete el objeto para llevarlo hacia la banda transportadora que trasladará el objeto hacia la siguiente posición.

Figura 16

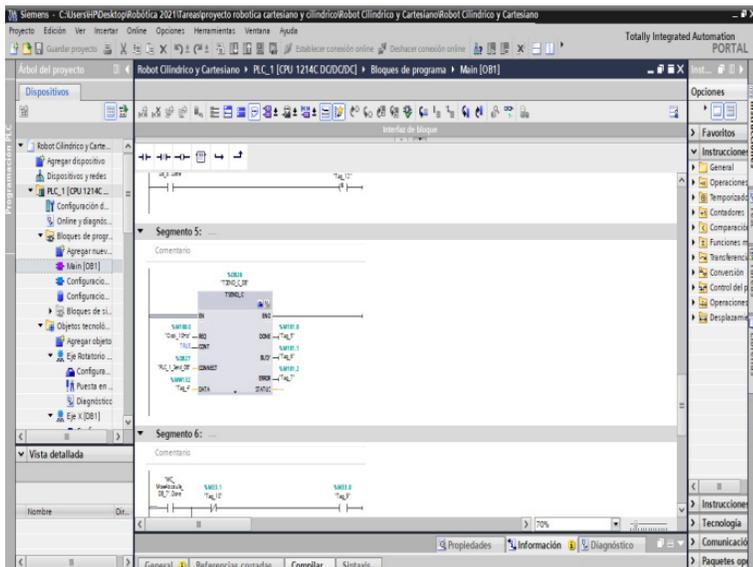
Bloque de Programación de Secuencia



Para comunicarle al segundo robot (cartesiano) que el objeto ha alcanzado la posición final sobre el inicio de la banda, se utiliza comunicación Profinet para enviar la señal al PLC2 que active la banda transportadora mostrada en la *Figura 17*.

Figura 17

Señal de Posición Final Robot cilíndrico

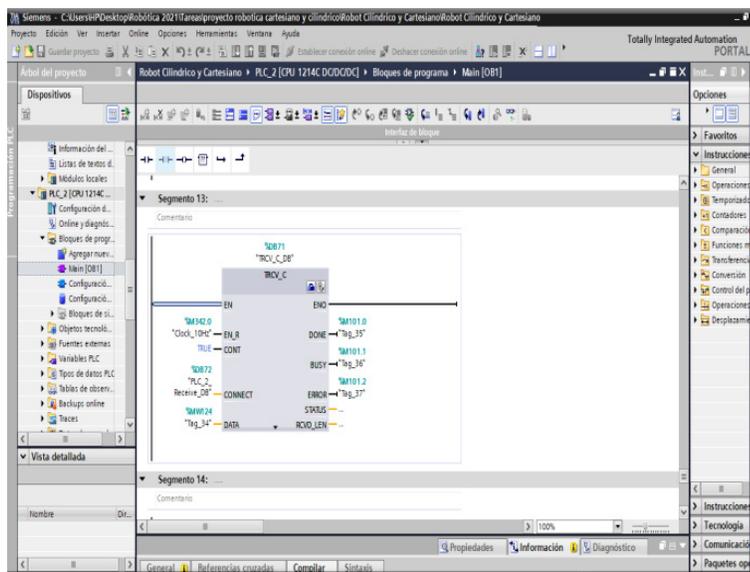


De la misma manera en el PLC2 se deben configurar los bloques de cada uno de los ejes, los bloques Motion Control, y llamarlos al Main principal como se ejemplificó con el PLC1 en las *Figuras 12, 13, 14*.

En la *Figura 18* se observa la función TRCV_C que nos permite recibir la señal de ubicación del objeto para activar la banda y transportar al objeto al segundo punto de recogida.

Figura 18

Ubicación del Objeto



3.2 Visión artificial

En este caso se propone un sistema de visión artificial en el que dos redes neuronales artificiales entrenadas por diferentes métodos cooperan para procesar imágenes, facilitando así el fiel seguimiento y reconocimiento de objetos específicos en el mundo real. La cooperación entre entidades neuronales parece ser un proceso común en los cerebros biológicos (Anderson, et al. 2010).

Este sistema comprende dos redes neurales artificiales conectadas en cascada, que colaboran en el manejo de data masiva de imágenes y son entrenadas en diferentes periodos y con diferentes ambientes de aprendizaje. La primera red, llamada la red seguidora, se especializa en determinar la posición absoluta de un objeto seleccionado cuya imagen se recibe como una secuencia de cuadros de video. Esta imagen se desplaza en una retina móvil artificial creada con rutinas de Open CV (librería de programación en lenguaje C especializada en manejar imágenes). La red seguidora es entrenada en un mundo digital finito, hasta que aprende a seguir al objeto seleccionado, aunque este cambie en posición, inclinación (tilt) y escala.

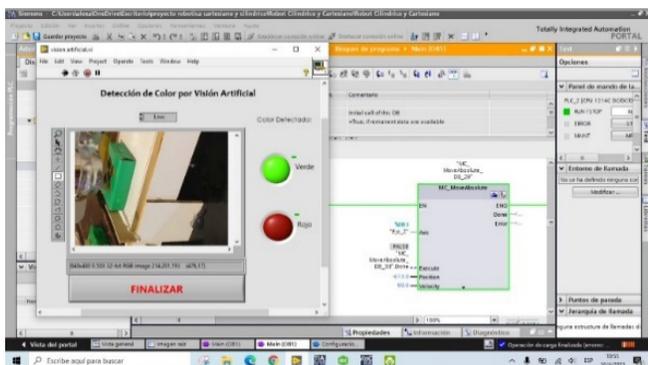
Para este fin se usa una forma especial de aprendizaje por gradiente (*backpropagation*) en el cual los pesos de conexión de la red (sinapsis) son distribuidos en el espacio tiempo durante el aprendizaje conocido (Murata & Amari 1999, pp. 541-580). Una vez entrenada, esta red participa en un sistema de control a lazo cerrado en el cual las imágenes de entrada controlan directamente el desplazamiento de la retina móvil. Esta combinación induce en nuestro sistema electrónico de visión un OMT parecido al encontrado en el ojo de los mamíferos.

Seguidamente a este sistema de control a lazo cerrado se le otorga una completa libertad de operación, convirtiéndose en un ente independiente dentro del procesador neural global. Con esta estación de trabajo independiente en operación una segunda red, llamada la red reconocedora, es puesta en acción.

Este nuevo subprocesador neural opera en forma independiente y se especializa en analizar en el tiempo-espacio los microtemblores generados por la red seguidora. Para incorporar a la variable tiempo se usa a un grupo de elementos de memoria de corta duración. La red reconocedora posee una neurona de salida única cuya responsabilidad es producir una respuesta fuerte siempre que el objeto seleccionado esté presente en la secuencia de cuadros de videos recibidos, y una respuesta débil si no lo está. El mapeo de un objeto a una neurona se le llama célula concepto y se ha convertido en un tópico importante en recientes investigaciones sobre el funcionamiento del cerebro humano.

Figura 19

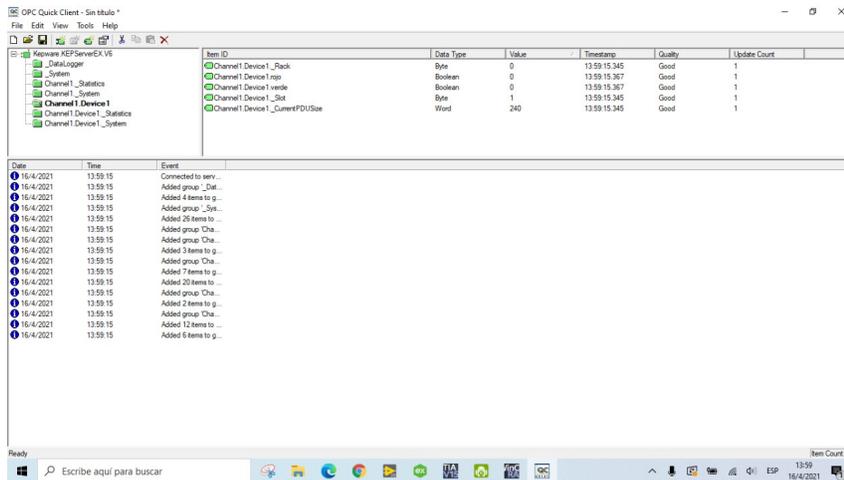
Identificación de Color de Objeto Visión Artificial



Cuando el objeto se posiciona frente a la cámara, el programa en LabView detecta el color del objeto enviando la señal adecuada al PLC2 mediante comunicación OPC en la *Figura 19*.

Figura 20

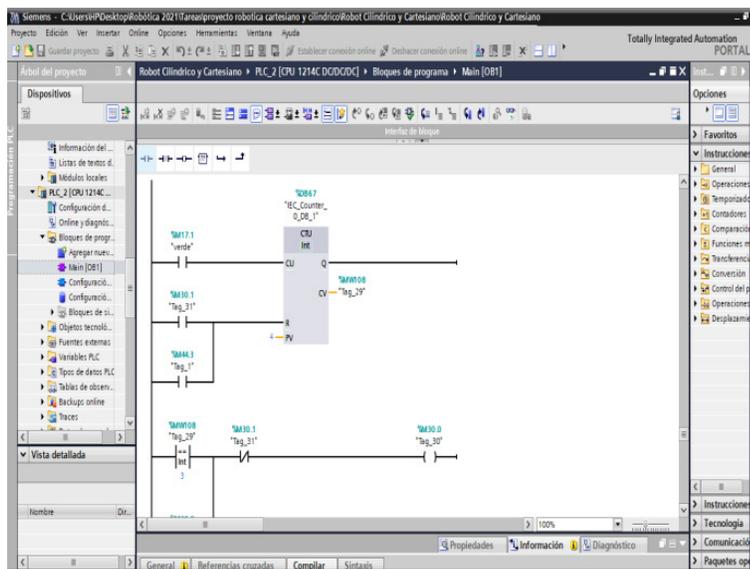
Configuraciones Variables OPC



La correcta comunicación de las variables se verifica mediante OPC Client, donde deberemos observar la indicación Good que nos señalará que existe comunicación entre LabView y el PLC2 como se ejemplifica en la *Figura 20*.

Figura 21

Contador Color Verde

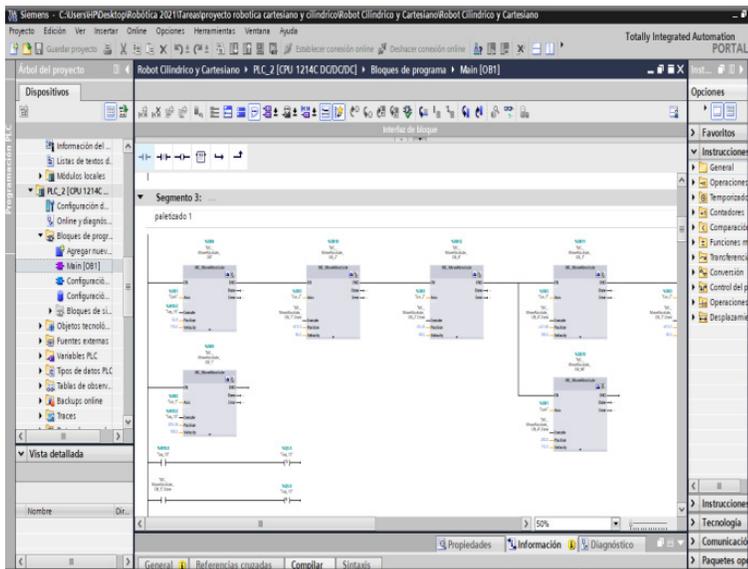


Cuando esta señal es recibida el PLC 2 desactiva la banda transportadora, además activa cualquiera de los dos contadores, dependiendo si el objeto es verde o rojo, que se ha colocado para saber cuántos objetos han ingresado al área de paletizado (*Figura 21*). A continuación, mediante comparadores lógicos, se activa la secuencia adecuada para ubicar el objeto en las

coordenadas configuradas para que cada secuencia de movimientos ubique los 6 objetos en forma piramidal dividiéndolos por colores.

Figura 22

Secuencia de movimientos 1 Color Rojo



Se han programado una secuencia de movimientos para cada uno de los 6 objetos (cajas rojas y verdes) que moverán los ejes posicionando la herramienta con el objeto en la posición adecuada para formar la estructura piramidal buscada. En la *Figura 22* se ejemplifica la secuencia de movimientos para la caja roja 1.

Al ubicar la última de las 6 cajas el programa se reinicia para repetir así las secuencias desde 0 y ubicar las cajas formando la estructura de pirámide buscada una vez más.

Conclusiones

La unificación de ambos sistemas robotizados se ha logrado mediante una comunicación Profinet implementada en el sistema, con ello se logra la activación de la banda transportadora una vez que el robot cilíndrico llega a su posición final en el eje Z. Este envía una señal desde el PLC1 hasta el PLC2 produciéndose así la activación de la banda. Con ello se logra que ambos robots trabajen sincronizados como un solo sistema.

La implementación de visión artificial se realiza mediante una cámara que detecta el objeto en la posición de recogida del robot cartesiano, e identifica el color del objeto. Esto se puede ver como una amplia ventaja al momento de reducir costos de los elementos de control, evitándonos el uso de sensores de visión que resultan más costosos; sin embargo, en la puesta en marcha de nuestro sistema de paletizado propuesto se presenta el inconveniente de necesitar una buena iluminación en el punto de enfoque de la cámara, debido a que las sombras pueden producir interferencias activando la señal de detección y mandando a correr la secuencia errónea.

Se realizó un paletizado de cajas de dos productos diferentes, los cuales están agrupados en lotes de tres unidades. Se los logra diferenciar de acuerdo con el color que posee cada caja y a través de la programación, asimismo mediante el uso de la visión artificial se identifican los colores rojo y verde los cuales representan el tipo de producto que contiene cada caja. La comunicación entre los softwares utilizados Labview y Tia Portal se la realizó mediante una comunicación OPC utilizando el servidor KeepServer.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) de la Universidad Técnica de Ambato por su especial ayuda con el desarrollo de esta propuesta, gracias a la financiación del proyecto “Diseño de una plataforma de comunicaciones para aplicaciones tecnológicas de agricultura de precisión con Drones”.

Referencias

- Anbderson, M., Brumbaugh, J., & Suben, A. (2010). "Investigating Functional Cooperation in the Human Brain Using Simple Graph-Theoretic Methods". In W. Chaovaitwongse & Panos Pardalos. *Computational Neuroscience* (31-42). Springer. http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-88630-5_2
- Andrade, L., y Chulca, L. (2018). *Desarrollo de un sistema de visión artificial para el reconocimiento, clasificación y maquinado de patrones con una tarjeta ARM* [Tesis de Grado, Universidad Salesiana de Ecuador]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15284>
- Anumaka, M. (2012). Analysis of Electric Circuits Using Fourier Series. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 1(5), 125-128. https://ahsheikh.github.io/Courses/CompMethods/LectureNotes/Fourier_Circuit.pdf
- Arcilla, J. (2010). Armónicos en sistemas eléctricos. *IEB S.A*, 1-26. <http://ingenieros.es/files/proyectos/Armonicosen sistemas electricos.pdf>
- Barrientos-Avendaño, E., y Areniz-Arévalo, Y. (2019). Universidad inteligente: Oportunidades y desafíos desde la Industria 4.0. *Revista Ingenio*, 16(1), 56-60.
- Barros, M., García, M., y Díaz, S. (2013). Implementación de un sistema de control de robot móvil diferencial. *Science*, 1(3), 12-16.
- Caro, J. (2021). *Desarrollo de un software con interfaz de usuario y visualizador de llenado de pallet para un robot paletizador* [Tesis de Grado, Universitat Jaume I] <http://hdl.handle.net/10234/195060>
- Conelec. (23 de Mayo de 2011). Regulación 004/001 "Calidad del servicio eléctrico de distribución". Consejo Nacional de Electricidad.
- De la Rosa, F. (2015). *Harmonics, Power Systems,, and Smart Grids*. Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781315215174>
- Llangarí, N., y Gonzaga, C. (2011). *Implementación de un sistema de paletizado para acoplar a la línea de envasado de líquidos del laboratorio de automatización industrial utilizando plc twido para suprogramación* [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/1921>
- Muñoz, J. (2017). *Propuesta para la clasificación y paletizado automático de productos en la planta de grupo familia Medellín* [Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://hdl.handle.net/11059/7825>
- Murata, N., & Amari, S. (1999). Statistical analysis of learning dynamics. *Signal Processing*, 74(1), 3-28.

Pastor, A., y Ortega, J. (2014). *Circuitos electricos Volumen II*. UNED.

Ramírez, P., Sánchez, J., y Palomares, R. (2022). Planeación y simulación de trayectoria de un robot de 6 grados de libertad para soldadura tipo MIG de tanques cilíndricos. *Perfiles De Ingeniería*, 18(18), 171–190. <https://doi.org/10.31381/perfilesingenieria.v18i18.5407>

revistaderobots. (24 de octubre del 2021). ¿Qué es un robot paletizador? Aplicaciones y ejemplos de un paletizado automático. <https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/robots-de-paletizado-automatico-y-robot-despaletizador-de-cajas/>

Rojo, J. (2017). Paletizado robotizado y convencional. *Premier Tech*, 15.

Romero, I. (2017). *Estación robotizada de paletizado* [Tesis de Grado, Universidad Politecnica de Cataluña]. <http://hdl.handle.net/2117/118106>

Tinajero, J., Acosta, L., Chango, E., y Moyon, J. (2020). Sistema de visión artificial para clasificación de latas de pintura por color considerando el espacio de color RGB. *Revista Espacios*, 41(8). <http://bdigital2.ula.ve:8080/xmlui/654321/8915>

Tremante, P., y Brea, E. (2014). Una visión de la teoría difusa y los sistemas difusos enfocados al control difuso. *Ingeniería Industrial-Actualidad y Nuevas Tendencias*, IV(12), 121-136. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=215037911010>

Ynzunza, C., Izar, J., y Bocarando, J. (2017). El entorno de la industria 4.0: implicaciones y perspectivas futuras. *ConCiencia Tecnológica*, (54), 33-45. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631006>.

Copyright (2023) © Franklin Wilfrido Salazar Logroño, Ángel Patricio Fernández Soria, Ángel Alberto Silva Conde y María Francisca Cazorla



Este texto está protegido bajo una licencia internacional [Creative Commons](#) 4.0.

Usted es libre para Compartir—copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato — y Adaptar el documento — remezclar, transformar y crear a partir del material—para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla las condiciones de Atribución. Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.

Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) – [Texto completo de la licencia](#)