

Sistema mecatrónico de banda transportadora usando impresión 3D para la emulación de procesos industriales

Mechatronic conveyor belt system using 3D printing for emulation of industrial processes

Lewin Andrés López López 

Universidad del Valle, Colombia

OPEN  ACCESS

Recibido: 14/03/2022

Aceptado: 08/06/2022

Publicado: 23/09/2022

Correspondencia de autores:

lewin.lopez@correounivalle.edu.co



Copyright 2020
by Investigación e
Innovación en Ingenierías

Resumen

Objetivo: Desarrollar un sistema mecatrónico de tipo modular que permita la experimentación física del concepto de banda transportadora como parte de un proceso de manufactura industrial. **Metodología:** La metodología que se usó fue "Design Thinking" con el propósito de hacer un prototipo con tecnologías de fabricación aditiva usando impresión 3D de tipo FDM. El diseño mecánico usó FreeCAD, el desarrollo firmware fue hecho para un Arduino Mega y el software de control en lenguaje java fue desarrollado en Netbeans IDE. **Resultados:** La banda transportadora generó 22 piezas mecánicas ensambladas por acoples directos sin tornillería, esta utilizó 406,1 g de PLA como material para imprimir y se tardó 83 horas y 36 minutos de trabajo efectivo de la máquina. El funcionamiento de la banda integrado a los dispositivos electrónicos permitió la detección y clasificación de 6 colores en objetos de 35 mm de arista. **Conclusiones:** Se fomentó el desarrollo de aplicaciones de bajo costo y completamente funcionales en la industria 4.0 con el uso de la impresión 3D para la emulación de procesos industriales, que pueden ser parte de las tendencias de innovación educativa en diferentes niveles de escolaridad.

Palabras clave: Banda transportadora, Industria 4.0, Innovación educativa, Procesos industriales, Sistema mecatrónico.

Abstract

Objective: This article developed a modular type mechatronic system that allows the physical experimentation of the conveyor belt concept as part of an industrial manufacturing process. **Methodology:** The methodology that was used was "Design Thinking" with the purpose of making a prototype with additive manufacturing technologies using FDM type 3D printing. The mechanical design used FreeCAD, the firmware development was done for an Arduino Mega and the control software in Java language was developed in the Netbeans IDE. **Results:** The conveyor belt generated 22 mechanical parts assembled by direct couplings without screws, it used 406.1 g of PLA as material to print and it took 83 hours and 36 minutes of effective machine work. The operation of the band integrated to the electronic devices allowed the detection and classification of 6 colors in objects of 35 mm of edge. **Conclusions:** The development of low-cost and fully functional applications in Industry 4.0 was promoted with the use of 3D printing for the emulation of industrial processes, which can be part of the trends of educational innovation at different levels of schooling.

Keywords: Conveyor belt, Educational innovation, Industry 4.0, Industrial processes, Mechatronic system.

Introducción

Este artículo presenta el diseño e implementación de un sistema mecatrónico modular cuyo enfoque se realizó hacia la representación práctica de procesos de manufactura industrial a escala, apoyados sobre tecnologías de fabricación aditiva y el uso de sistemas con desarrollo de código libre. El sistema completo se constituye en una herramienta didáctica, fácil de replicar, poner en marcha, expandir y mejorar en funcionalidades, lo cual como se indica en [1, 2, 3, 4] hace parte de las nuevas tendencias en innovación educativa, para los aprendizajes tanto disciplinares como transversales, por medio del desarrollo de habilidades, capacidades y competencias que permiten a un estudiante resolver problemas reales en un ambiente de experimentación seguro. Autores como [5] muestran un caso donde la robótica móvil aplicada en niños de tercero y quinto de primaria se usó para aprender matemáticas por medio de un sistema robótico robusto, apoyado por una aplicación móvil. Esto indica que no siempre se requieren previos conocimientos en programación para ejecutar planes de estudio a nivel escolar usando robótica, y así realizar una motivación por estudiar y comprender asignaturas asociadas a las matemáticas, programación, física, inglés e incluso biología.

Tendencia de la robótica educativa hacia los contenidos curriculares

Aunque la robótica educativa inició como una propuesta extracurricular para generar un área de conocimiento propio e independiente, la tendencia indica que los sistemas programables basados en la construcción de formas con bloques modulares se pueden asociar a los contenidos programáticos en diversas formas, según sea el nivel de profundidad con el cual se desarrolle y el área de interés a fortalecer. Por ejemplo, en [6] se usó un robot Lego Mindstorms NXT TM en una metodología activa para enseñar geometría, a un grupo de niños de 12 años, en una escuela primaria griega. Esta metodología obtuvo como resultado notable la mejora del rendimiento académico en una prueba de 21 preguntas sobre geometría, donde se compararon las respuestas con el grupo de niños de la misma edad que tuvieron un proceso de enseñanza clásico. En un nivel más elevado, para un curso de programación en Java, [7] reporta que los estudiantes de primeros semestres de Ingeniería en sistemas computacionales de un instituto tecnológico mexicano, usaron el robot Lego Mindstorms NXT 2.0 en la solución de 3 problemas diversos a lo largo del semestre. Con este trabajo se encontraron las ventajas y desventajas de usar programación gráfica en bloques comparado con la programación textual en Java, y se llevaron una claridad sobre la optimización de las soluciones a un mismo problema, además de experimentar sobre problemas reales donde las estructuras de programación se prueban sobre un robot. En [8], también a nivel de ingeniería, se presentó una estrategia de abordar los conceptos de un curso de programación basado en la solución de pequeños problemas con una misma plataforma tipo Lego, de tal forma que los estudiantes de diversas disciplinas de la ingeniería pudieron presentar pruebas escritas relacionadas con los conceptos de algoritmia y su ejecución práctica a través de un robot móvil. Este experimento hizo la comparación con otro grupo que aprendió los conceptos de la forma tradicional, y resaltó las ventajas de la nueva metodología que aplica robótica en su contenido curricular.

Los trabajos anteriores sustentan que las tecnologías de aprendizaje práctico basadas en sistemas mecánicos integrados a sistemas electrónicos están orientadas hacia asignaturas de tipo STEM, pero se encontraron otros trabajos que están enfocados a la integración y desarrollo de otras habilidades transversales como lo hacen en [3], donde por medio de varios casos de estudio, los estudiantes usaron plataformas de Lego Education para la solución y presentación de problemas de tipo ambiental, social, biológico, movilidad y exploración, donde la robótica jugó un papel fundamental en la motivación por aprender de forma autónoma y estimuló la colaboración entre estudiantes. Por medio de la revisión

presentada, se confirma que las plataformas comerciales de construcción por bloques son de gran apoyo a la educación experimental, que como indica [9] y presenta un caso [8], se están convirtiendo en un factor de nueva tendencia hacia los contenidos curriculares que incorporan las matemáticas, física, informática y electricidad como parte del desarrollo natural de actividades en el aprendizaje por medio de la robótica, y ayuda a conectar la universidad con niveles educativos inferiores por medio del impacto del trabajo experimental.

Aplicaciones de tipo industrial con plataformas mecatrónicas

En los estudiantes de ingeniería o tecnología a nivel universitario se han generado nuevos intereses en realizar proyectos de tipo multidisciplinar con asignaturas de formación común como algoritmos y programación o talleres tecnológicos, cuyo objetivo es generar soluciones en dispositivos programables para un problema preparado por el docente o de impacto en un proceso de producción. En [10] se presenta un trabajo que bajo estos esquemas reúne los estudiantes de ingeniería electrónica, mecánica y sistemas para hacer más eficiente un sistema de producción y clasificación de objetos en un sistema ciber físico industrial basado en la fábrica completa de Fischertechnik. También, en [2] se trabaja en la construcción de pequeños modelos mecánicos a través del kit de Mecánica de Fischertechnik en estudiantes de séptimo grado de un colegio colombiano, con el fin de fortalecer el trabajo colaborativo mediante la realización de modelos que ponen en práctica conocimientos de matemáticas, geometría y estadística. Y finalmente, se destaca una aplicación, donde [11] trabajó sobre plataformas de tipo modular para procesos industriales a escala, cuyo objetivo fue simular entornos de producción de la industria 4.0 con actividades relacionadas a la fabricación y procesamiento de la materia prima. Estos entornos estuvieron apoyados en varias etapas de un proceso que se conectaron entre sí por medio de aplicaciones en software, y luego a partir de un esquema de datos por Internet de las cosas pudieron ser trabajados a nivel de maestría, en lo que se denomina sistema ciber físico de fábrica de aprendizaje en una escuela canadiense de ingeniería práctica y tecnología.

En la literatura consultada, son escasas las aplicaciones encontradas con impresión 3D para la educación STEM basada en procesos de fabricación industrial. Uno de los trabajos reportados en [4] presentó un completo modelo que combinó la impresión 3D con otros objetos metálicos como varillas lisas, rodamientos y tornillerías de ajuste para reducir costos de implementación y ofrecer experimentación en sistemas más efectivos que los equipos de simulación. Este desarrollo se utilizó para un curso de PLC a nivel universitario y su banda transportadora permitió dosificar y clasificar los objetos en 3 compartimientos, por medio de la identificación de 2 colores con el sensor TCS34725 como principal elemento de reconocimiento. Por otra parte, en [12] se encontró un diseño de banda acoplada con un brazo robot, con sus partes impresas en 3D para la cadena y solamente con algunos tornillos y varillas para los ejes de rotación. Su propósito fue clasificar los objetos por color para que el brazo los tome y lleve a un distinto lugar de acopio. En este sistema se trabajaron principalmente habilidades de programación del Arduino y se orientó al control simultáneo de dos sistemas mecatrónicos, como parte del fortalecimiento de las habilidades en ingeniería para una aplicación de tipo industrial.

El trabajo nuestro desarrolló por tanto una plataforma mecatrónica que innova en cuanto a los campos diversos de aplicación, para tener una aproximación a las denominadas fábricas de aprendizaje descritas en [13, 14], que permiten mostrar en forma simulada o tangible una idea y tecnología que aplica conceptos de la industria 4.0 como mecanismo de tendencia, tanto para la educación como para el desarrollo industrial reciente. El diseño se planteó con una metodología "Design thinking" con el fin de poder hacer iteraciones para que se fortalezcan los usos y aplicaciones, y tuvo el objetivo de llevar a la práctica un sistema real de tipo industrial en diversos niveles de escolaridad, principalmente para educación básica

media y secundaria, al igual que universitario tecnológico y profesional. Los usos académicos de esta plataforma son diversos por la integración de partes mecánicas, electrónicas y de software libre para su operación, requiere de una impresora 3D de características básicas y área pequeña (20 cm x 20 cm), un equipo de cómputo de bajas prestaciones y sistemas embebidos de fácil adquisición como Arduino, además de sensores y actuadores de uso común. La dificultad principal para el uso masivo de las plataformas modulares comerciales o kits de robótica reconocidos son sus costos, pues una plataforma lego Mindstorm EV3 usada por [9], tiene para el año 2021 un costo promedio de 570 dólares, mientras que una plataforma Fischertechnik de cinta transportadora con una estación de perforado a 9V como una de las usadas en [10], tiene un costo promedio de 520 dólares. Ante estos costos, varias instituciones educativas de países como Colombia están evaluando el uso de soluciones más económicas con la utilización de nuevas tecnologías de uso libre y modelos en impresión 3D. Los modelos están disponibles en sitios web de alto reconocimiento por la calidad y confiabilidad de sus diseños como los son thingiverse y cults.

Metodología

En este tipo de proyecto donde el diseño y la implementación de un sistema dinámico puede ser optimizado constantemente, se trabajó sobre una base de investigación aplicada, con la participación de un cuerpo académico de un docente y cuatro estudiantes, que han tenido experiencia en el desarrollo de plataformas robóticas con impresión 3D. Las fases para desarrollar el proyecto fueron exploración, ideación, prototipado e implementación, con lo cual al culminar cuatro iteraciones de estas fases se llegó al producto presentado en este artículo. Las características presentadas pueden optimizarse con nuevas iteraciones a partir de las experiencias de uso y generación de nuevas ideas. La metodología aplicada en el desarrollo fue Design Thinking desde una óptica de diseño y con la visión hacia generar recursos de libre acceso y sin ningún objetivo comercial.

Exploración. La fase de exploración permitió, por medio de encuentros con personal docente de la Universidad del Valle sede Yumbo, establecer las necesidades operativas de una banda transportadora con elementos de diseño que fueran viables de implementar en cursos de formación básica en tecnología electrónica y a su vez en cursos de tecnología para básica secundaria y media. Dentro de los contenidos prácticos que se han usado por los profesores responsables de las asignaturas consultadas, se hizo un enfoque inicial para las aplicaciones relacionadas a la programación de microcontroladores y diseño en 3D. A partir de las plataformas comerciales de Fischertechnik, se fijó un esquema de construcción modular viable de implementar con impresión 3D. Se tuvo la consideración dada por [15] en cuanto al aprovechamiento de las ventajas de la impresión 3D y el conocimiento previo en diseño CAD para lograr que la banda transportadora tenga un tamaño mínimo, pero funcional y expandible, tanto por réplicas unidas mediante rodillos, como por el mayor uso de piezas en la cadena principal si requerir uniones por rodillos. En términos generales, se establecieron las características funcionales y estructurales de una banda transportadora que sirva para la emulación de un proceso industrial a escala con:

- » Fichas plásticas impresas en 3D interconectadas fácilmente sin uso de ningún tipo de tornillería.
- » Elementos electrónicos acoplados por presión a piezas de soporte y necesarios para la puesta en marcha del sistema.
- » Sistemas de sujeción con mínimo esfuerzo y alta robustez en el ensamble de las partes unidas entre sí.
- » Cómoda portabilidad tanto del sistema armado como desarmado sin superar el tamaño de 24 cm x 24 cm.

- » Movimiento de la banda transportadora en ambos sentidos y a diferentes velocidades.
- » Sensores de proximidad fácilmente adaptados e intercambiables para la detección de objetos en la banda.
- » Piezas ajustables para ubicar sensores en estaciones de medida de una variable física para realizar un sistema de clasificación.

Ideación. La fase de ideación ayudó a concebir y mejorar los diseños mecánicos, elegir los motores a utilizar y ajustar los mejores parámetros de impresión para que la banda transportadora se comporte de acuerdo con las características definidas. Los detalles más significativos fueron: (a) pasar de una pieza rígida y única a una pieza flexible modular para los eslabones de la cadena, (b) adicionar una guía interna para la cadena de la banda para darle estabilidad al movimiento del objeto desplazado, (c) usar un motor paso a paso con driver A4988 para variar velocidad conservando un torque alto, en reemplazo de un servomotor de rotación continua con pérdida de torque proporcional a la velocidad, (d) ampliar la cantidad de pines con una placa de circuito impreso propia para el Arduino Mega, pero con el módulo de CNC para driver A4988 que también es compatible con un Arduino UNO, y (e) ajustar la mínima retracción para mejores acabados en piezas pequeñas y hacer la configuración de adherencia a la cama mediante balsa para imprimir mayor cantidad de piezas, con buen nivel de detalle y reducción significativa del tiempo de impresión 3D.

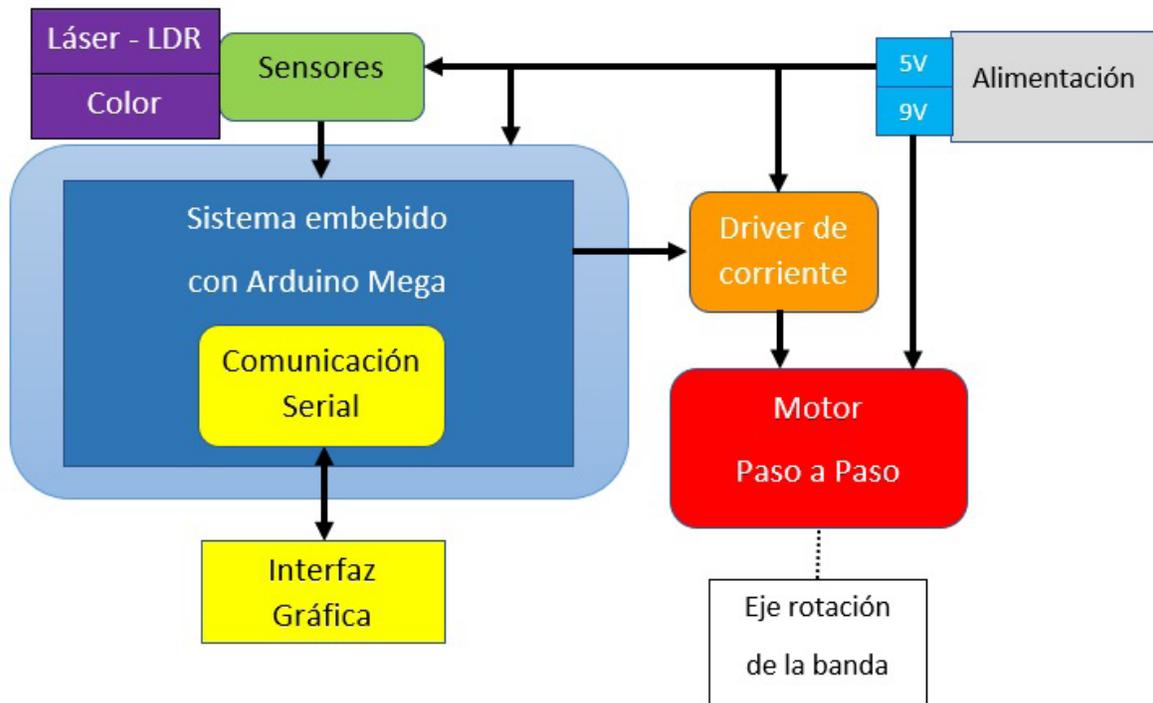
Prototipado. La fase de prototipado estuvo principalmente enfocada al diseño CAD y la impresión 3D, tanto para los ajustes de las partes plásticas por acoples directos como para las piezas de adaptación con los componentes electrónicos. La impresora 3D utilizada fue una Creality Ender 5 con volumen de impresión 22x22x30 cm³ y configurada para operar con cama magnética a 50 grados Celsius de temperatura constante. El material usado para todo el prototipo de la banda transportadora fue ácido poliláctico (PLA). El sistema embebido (Arduino Mega) se comunicó por UART con la interfaz gráfica de control (vía cable Arduino o por Bluetooth) y recibió la alimentación de una batería de 9V / 1000mAh, para regular la potencia del sistema digital y el motor paso a paso de accionamiento para la banda transportadora.

Implementación. La fase de implementación se enfocó a los diseños definitivos de tipo CAD. Estos diseños fueron clasificados en cuatro ensambles: eslabones y cadena, extremo de la banda, guía para la banda y piezas de acople para la electrónica. En total se diseñaron veintidós piezas que permiten formar una banda transportadora de 9 cm (versión corta) o 18 cm (versión larga) con la opción de unir las entre sí, sin importar el tamaño.

Resultados y Discusión

El sistema general de la solución implementada se muestra en la Figura 1 cuyo enfoque permitió detectar objetos y clasificarlos por color. El movimiento de la banda transportadora fue controlado por el motor paso a paso y los resultados de interacción se visualizaron en una interfaz gráfica desarrollada en software para PC.

Figura 1. Diagrama de bloques del sistema mecatrónico para la banda transportadora

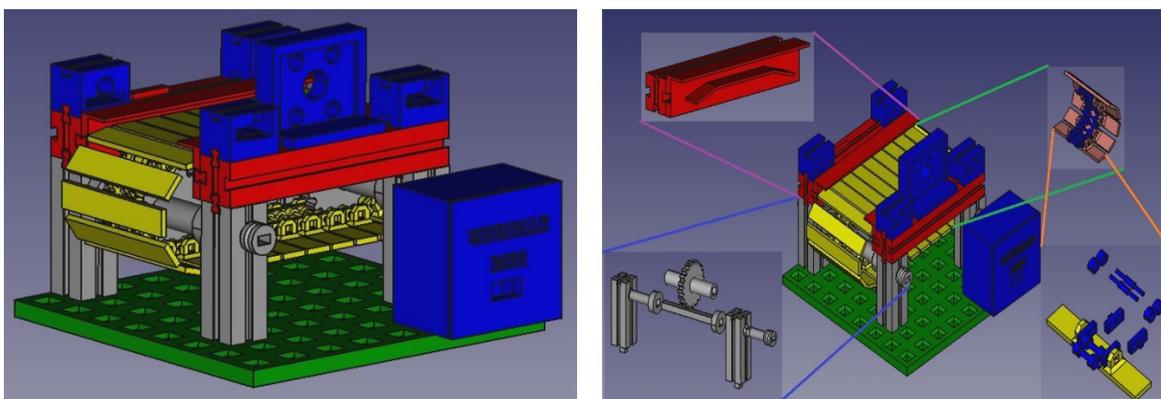


Fuente: Elaboración propia.

Diseño mecánico

Las piezas mecánicas fueron diseñadas en FreeCAD, los cuatro ensambles son ajustadas entre sí por la misma geometría de los diseños como puede observarse en la Figura 2. Los pasos para realizar en ensamble se pueden apoyar en una guía de ensamble desarrollada o en la imitación a partir de un modelo construido, según sea la didáctica planteada para su uso.

Figura 2. Ensamblajes de las piezas mecánicas para la banda transportadora diseñados en FreeCAD



Fuente: Elaboración propia

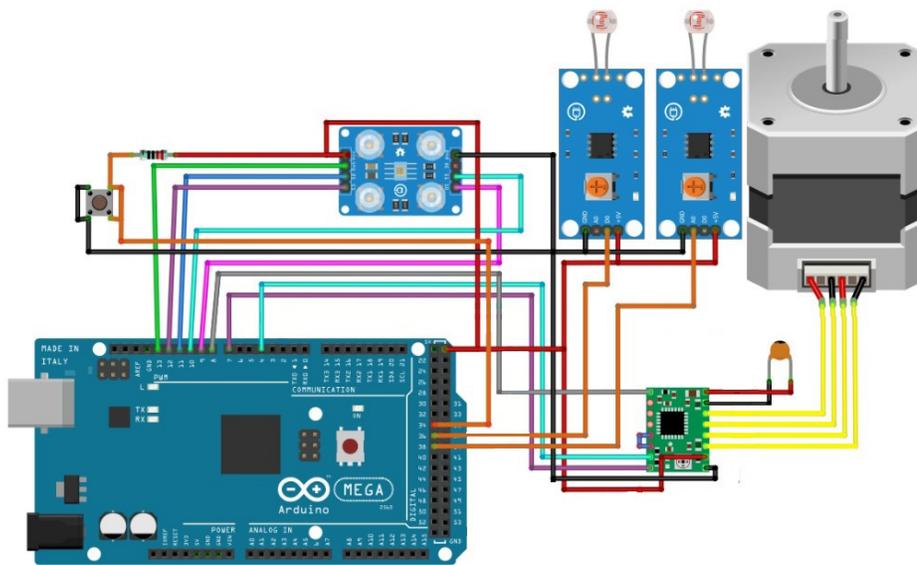
Los cuatro ensambles tienen las siguientes funciones: el primero (amarillo) es para conformar la cadena por medio de eslabones que pueden tener un tamaño variable de acuerdo con la cantidad usada, el segundo (gris) es el extremo de la banda que incluye el eje de rotación y el engranaje que se acopla con la cadena

ya construida, el tercero (rojo) es la guía lateral para que la cadena de la banda tenga estabilidad en la parte superior, y el cuarto (azul) es el encargado de incorporar todos los elementos electrónicos para cumplir su tarea de control mecánico y electrónico, estos corresponden a los sensores y el motor que se han implementado para esta banda transportadora.

Diseño Hardware y Firmware

La prueba de validación para el sistema de la banda transportadora consistió en el reconocimiento de objetos cúbicos de 35 mm de arista y clasificación de estos de acuerdo con su color. El objeto se debe ubicar en la mitad de la banda frente al sensor de color de tipo TCS3200, y se realizó un proceso de verificación que incluye la lectura de la presencia del objeto y la identificación en alguno de los seis colores de prueba (rojo, azul, blanco, amarillo, anaranjado y negro). Los objetos de color rojo, azul y blanco se desplazan hacia la derecha, mientras que los objetos de color amarillo, anaranjado y negro se desplazan hacia la izquierda. En cada extremo de la banda transportadora se utilizó un módulo láser activo que apunta a una fotocelda (LDR) que cumplió con la función de detectar y contar el objeto clasificado, se logró un acierto del 96.6% en la identificación del color, con 3 escenarios de diferente intensidad lumínica comprobados.

Figura 3. Circuito de prueba implementado para clasificar objetos por color en la banda transportadora



Fuente: Elaboración propia

En el circuito mostrado en la Figura 3 se observa que los pines 9 al 13 del Arduino se usaron para conectar el sensor de color, los pines 8, 7 y 4 para el controlador A4988 que permite mover el motor paso a paso de tipo 28BY48 utilizado con una batería de 9V con una tarjeta shield de tipo CNC para Arduino UNO, y los pines 36 y 38 se tomaron como entradas digitales que se activan por el sensor de la fotocelda en cada extremo de la banda. Este modelo de conexiones puede ser modificado o expandido para futuras aplicaciones.

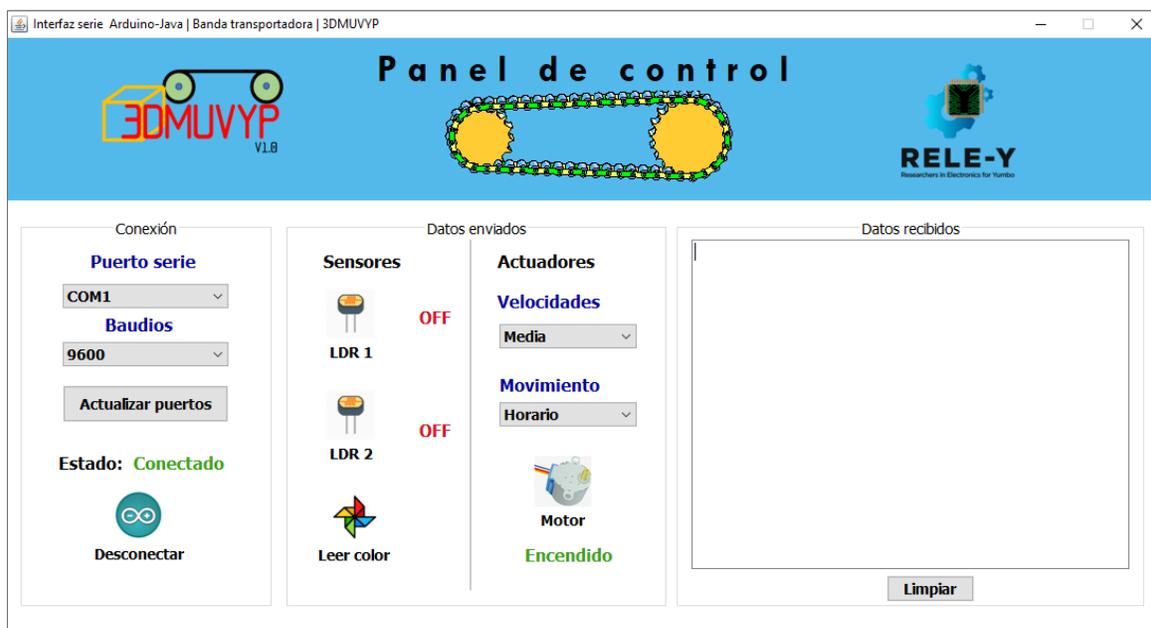
El sistema Arduino encargado del control del sistema operó por medio de solicitudes desde el puerto serial. Cuando se activa el modo de lectura de color, el sistema debe entregar un valor del 1 al 6, según sea el color detectado. En esos casos se va a poner el movimiento la banda y activar el modo 1, y posteriormente se detiene la banda cuando alguno de los sensores del extremo de la banda detecta que ha llegado el objeto.

Una vez se detecta el objeto en el extremo se hace un conteo de cada color de forma independiente y se transmite por serial el resultado. La ejecución de la prueba finaliza cuando el conteo del color de un objeto ha llegado a cinco.

Diseño Software, prueba operativa e Impresión 3D

La interfaz gráfica que permitió la interacción entre el usuario y el sistema físico de la banda transportadora se realizó en Netbeans IDE. El aplicativo mostrado en la Figura 4 fue diseñado para realizar pruebas de los componentes electrónicos de la banda (sensor de color, fotoceldas y motor paso a paso) de forma independiente; además de permitir el funcionamiento del programa principal encargado de la clasificación de objetos por color, con el desplazamiento de los objetos hacia la derecha o izquierda y su conteo.

Figura 4. Interfaz gráfica para interacción con la banda transportadora

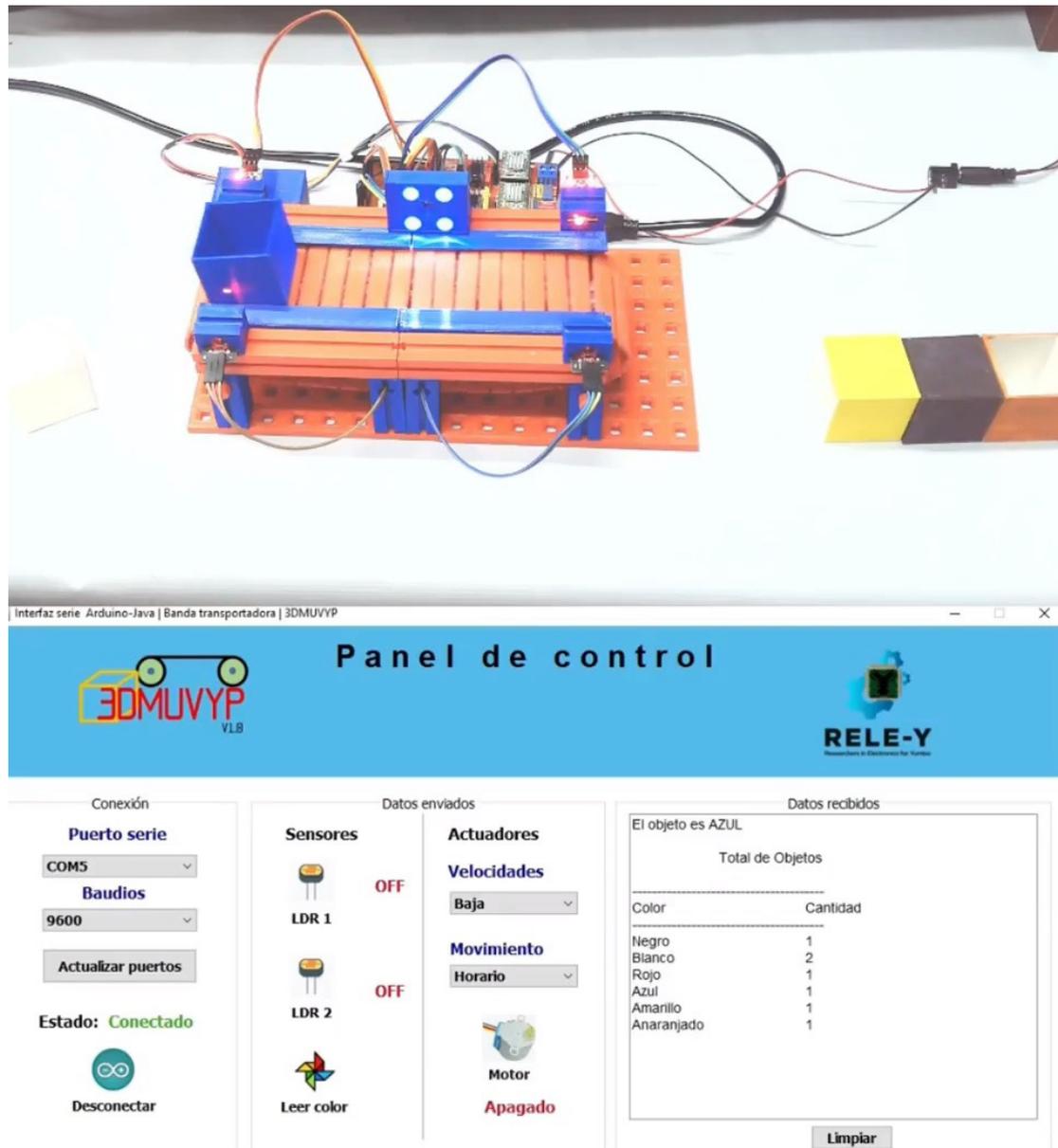


Fuente: Elaboración propia

La interfaz se dividió en tres zonas: la zona izquierda tiene las opciones de conexión del puerto serial, la zona central los botones de interacción para probar los sensores y actuadores, al igual que el botón leer Color para poner en marcha el sistema de clasificación de objetos por color, y finalmente la zona derecha que presenta los datos de respuesta del sistema correspondiente al conteo de los objetos detectados en cada prueba realizada. Cuando un objeto llega a su cuenta máxima 5, se muestra el mensaje de finalización.

La interfaz operó de forma satisfactoria y fue fácil el manejo interactivo de la banda transportadora. En la Figura 5 se puede observar la banda real implementada y su resultado de salida en la interfaz de prueba al momento de detectar un objeto de color azul que ha sido desplazado hacia la izquierda.

Figura 5. Funcionamiento de la banda implementada con su interfaz gráfica



Fuente: Elaboración propia

Todo el diseño, archivos de descarga para pruebas de impresión 3D, carga del programa en Arduino, interfaz gráfica de prueba y datos adicionales del proyecto se encuentran disponibles de forma libre para acceder por medio de la página web: <https://univallesedeyumbo.com/investigacion/rele-y/banda-transportadora/>

TABLA 1. DESCRIPCIÓN DE LOS DISEÑOS Y SUS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE IMPRESIÓN 3D

Plataforma Modular De Banda Transportadora Versión Larga								
No	Pieza	Tip (min)	Pp (g)	Ta	Soporte	Cantidad necesaria	Tit (min)	Pt (g)
1	Eje eslabón	3	0,1	A	si	86	258	8,6
2	Tope eslabón	4	0,2	A	no	86	344	17,2
3	Unión eslabón	3	0,1	A	no	84	252	8,4
4	Oruga eslabón	14	1	B	no	43	602	43
5	Unión Final	3	0,1	A	no	2	6	0,2
6	Eje Cuadrado	32	3	C	si	2	64	6
7	Bujes Eje	24	1	B	no	4	96	4
8	Eje Motor	18	1	A	si	2	36	2
9	Eje Tope	20	2	A	si	2	40	4
10	Engranaje	29	3	B	no	2	58	6
11	Soporte Eje	79	7	C	no	8	632	56
12	Base 8x8	517	45	B	no	2	1034	90
13	Guía Banda Derecha	71	9	A	no	2	142	18
14	Guía Banda Izquierda	71	9	A	no	2	142	18
15	Soporte guía	152	15	C	no	4	608	60
16	Unión Fija	7	0,3	A	no	19	133	5,7
17	Pieza Laser	37	3	A	no	2	74	6
18	Pieza LDR	36	3	A	no	2	72	6
19	Pieza Color	102	11	A	si	1	102	11
20	Caja Motor Banda	145	16	A	si	1	145	16
21	Tapa Motor Banda	74	9	A	si	1	74	9
22	Caja de prueba	102	11	B	no	1	102	11
						Total	5016	406,1

Fuente: Elaboración propia

La banda transportadora se realizó con 22 diseños CAD con las características de impresión 3D presentadas en la tabla 1, cuya información más relevante presenta los tiempos de impresión en minutos tanto para una pieza (columna Tip) como para todas las réplicas de esa misma pieza dentro de la estructura (columna Tit). El laminado se realizó en Cura Slicer, con una configuración de boquilla de 0,4mm de la impresora y una altura de capa de 0,2mm, se determinó el peso en gramos de cada pieza (columna Pp) y de todas las réplicas de esta pieza en total (columna Pt). La cama de la impresora usada fue de tipo magnética y según el tamaño de la pieza y los mejores resultados de calidad, se utilizaron tres tipos de adherencia (columna Ta): balsa de 3 mm (A), falda de 4 líneas (B) y balsa de 8 mm (C). En total puede verse que el material necesario para ser replicado es de 406,1 g y requiere un tiempo de 83 horas y 36 minutos (5016 minutos) de trabajo efectivo de la máquina. Esto implica que, para hacer una réplica de la banda, el costo de material aproximado es de aproximadamente 10 dólares y el servicio de impresión puede costar unos 120 dólares, en caso de no tener una impresora 3D disponible.

Conclusiones

En el proyecto se logró construir una plataforma modular completamente funcional, que se compone de 22 diseños CAD propios, ensamblados en forma de banda transportadora controlada por un sistema basado en Arduino y una interfaz gráfica de control para cumplir con la función de emular un proceso de selección de objetos de acuerdo con su color.

Es un diseño de bajo costo de implementación, requiere de una impresora 3D de tipo FDM con área mínima, puede ser impresa con PLA. Se destaca que con su acople a todos los componentes electrónicos y el sistema de control llega a ser solo un 10 a 20% del costo de un sistema comercial de Fischertechnik que tiene características similares.

Este proyecto es de código abierto, se puede replicar, optimizar y expandir con completa libertad para su uso a diferentes niveles de escolaridad. Este desarrollo puede considerarse una herramienta didáctica viable para trabajar nuevas tendencias de educación, para futuros trabajos a partir del uso de esta plataforma.

Este trabajo representa una forma de fomentar el desarrollo de aplicaciones en la industria 4.0 con el uso de la impresión 3D para la emulación de procesos industriales, con fines educativos y con un sistema de control automatizado. Las posibilidades de expandir funcionalidades se han definido en próximas etapas de desarrollo que incluyan el uso de Internet de las cosas, desarrollo de simuladores de tipo digital twin como los destacados en [16, 17], y acceso remoto a la plataforma de experimentación en tiempo real, similar a [18, 19, 20].

Referencias bibliográficas

1. S. M. bin Ismail y W. A. A. W. Haniff, "Education 4.0: The effectiveness of VARK learning style towards actualising industrial revolution 4.0", *J. Educ. Soc. Res.*, vol. 10, núm. 3, pp. 52–59, 2020, DOI: <https://doi.org/10.36941/jesr-2020-0045>
2. N. A. Rico-Bautista, D. W. Rico-Bautista, y Y. C. Medina-Cárdenas, "Collaborative work as a learning strategy to teach mathematics incorporating robotics using led godt education system and fischertechnik in seventh graders at the school Isidro Caballero Delgado in Floridablanca Santander Colombia", *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1386, núm. 1, 2019, DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1386/1/012146>
3. E. Danahy, E. Wang, J. Brockman, A. Carberry, B. Shapiro, y C. B. Rogers, "LEGO-based robotics in higher education: 15 years of student creativity", *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, vol. 11, núm. 1, pp. 1–15, 2014, DOI: <https://doi.org/10.5772/58249>
4. C. Tepe, A. S. Aslan, y İ. Eminoğlu, "Conveyor belt experiment setup for programmable logic controller education", *Int. J. Electr. Eng. Educ.*, pp. 1–15, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1177/0020720920958134>
5. G. C. Ortega Díaz, A. F. Téllez Rodríguez, J. G. Guarnizo Marin, y E. C. Camacho Poveda, "Entorno pedagógico para la enseñanza en básica primaria mediante el uso de sistema robótico comercial", *Ingeniería*, vol. 26, núm. 1, pp. 41–61, 2020, DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.16721>
6. N. C. Zygouris, A. Striftou, A. N. Dadaliaris, G. I. Stamoulis, A. C. Xenakis, y D. Vavougiou, "The use of LEGO mindstorms in elementary schools", *IEEE Glob. Eng. Educ. Conf. EDUCON*, núm. April, pp. 514–516, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2017.7942895>
7. L. E. Arias Hernández, G. E. Vela Alvarez, A. de S. Barragán, y C. R. Palacios Durán, "Desempeño del Robot Lego Mindstorms NXT 2.0 en Programación Java LeJOS y NXT-G", en *Congreso de Investigación Academia Journals Tabasco 2016*, 2016, vol. 8, núm. 1, pp. 250–256.

8. N. Ç. Özüorçun y H. Bicen, "Does the inclusion of robots affect engineering students' achievement in computer programming courses?", *Eurasia J. Math. Sci. Technol. Educ.*, vol. 13, núm. 8, pp. 4779–4787, 2017, DOI: <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00964a>
9. A. V. Alejos, V. S. Del Rio, M. V. Isasa, E. De Lorenzo, I. Cuinas, y M. G. Sanchez, "ENXENO: LEGO® Robots from university lab to K-12 classroom", *Elektron. ir Elektrotechnika*, vol. 2, núm. 2, pp. 103–108, 2012, DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.eee.118.2.1184>
10. A. Pechmann, J. Wermann, A. W. Colombo, y M. Zarte, "Using a semi-automated job-shop production system model to prepare students for the challenges of Industrial Cyber-Physical Systems", *Procedia Manuf.*, vol. 31, pp. 377–383, 2019, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.059>
11. M. Elbestawi, D. Centea, I. Singh, y T. Wanyama, "SEPT Learning Factory for Industry 4.0 Education and Applied Research", *Procedia Manuf.*, vol. 23, núm. 2017, pp. 249–254, 2018, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.025>
12. R. Pecun, U. Dakeev, y F. Yildiz, "Modular Conveyor Belt System with Robotic Sorting", en *American Society for Engineering Education Annual Conference*, 2021, p. 14.
13. N. Ile y U. Lotric, "FTsim: A 3D tool for teaching automation concepts", *13th APCA Int. Conf. Control Soft Comput. Control. 2018 - Proc.*, pp. 31–36, 2018, DOI: <https://doi.org/10.1109/CONTROLO.2018.8514259>
14. S. Lang, T. Reggelin, M. Jobran, y W. Hofmann, "Towards a modular, decentralized and digital industry 4.0 learning factory", *Proc. - 2018 6th Int. Conf. Enterp. Syst. ES 2018*, pp. 123–128, 2018, DOI: <https://doi.org/10.1109/ES.2018.00026>
15. D. Popescu, D. Popa, y B. Cotet, "Preparando a los estudiantes para la Generación Z: consideraciones sobre el currículo de impresión 3D TT - Getting ready for Generation Z students - considerations on 3D", *Propósitos y Represent.*, vol. 7, núm. 2, pp. 240–254, 2019, DOI: <https://doi.org/10.20511/pyr2019.v7n2.280>
16. V. C. de Abreu M., "Virtualization and Monitoring of a Modular and Self-organized Multi-agent Conveyor System", Trabajo de grado, Ing. Industrial, Universidad Federal de Tecnología, Paraná, Brasil, 2020.
17. R. Louwagie Sapena, "Industry 4.0 through Fischertechnik and a Digital Twin", Trabajo de grado, Lic. en ingeniería de negocios e innovación, Universidad de ciencias aplicadas de Lucerna, Horw, Suiza, 2020.
18. C. J. Obando Gamboa, "Influencia del agua en el desempeño de los pavimentos: lluvia ácida", *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 5, n.º 2, pp. 190–206, 2017. DOI: <https://doi.org/10.17081/invinno.5.2.2761>
19. C. Pardo, E. Suescún, H. Jojoa, R. Zambrano, y W. Ortega, "Modelo de referencia para la adopción e implementación de Scrum en la industria de software", *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 8, n.º 3, pp. 14–28, 2020. <https://doi.org/10.17081/invinno.8.3.4700>
20. F. Sauer, M. Niedermaier, S. Kießling, y D. Merli, "LICSTER – A Low-cost ICS Security Testbed for Education and Research", vol. 2019, pp. 1–12, 2019, DOI: <https://doi.org/10.14236/ewic/icscsr19.1>