

GESTIÓN DE OPERACIONES

INDUSTRIALES



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
TRUJILLO

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRUJILLO, PERÚ
Marzo, 2022

Autonomous Machines in the Industry 4.0

**Kevin Alvarado, Kevin Grados, Daniel Llanos, Jorge Palomino,
Álex Ramos, María Sipirán, Manuel Vásquez ***

*Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

Correo electrónico: jpalomino@unitru.edu.pe

ABSTRACT

Purpose – This investigation is directed to show some examples of how these new technologies can help Mypes in the national industry to grow and improve their production values, focusing primarily in the technological branch of autonomous machines and AI learning of the 4.0 industry.

Methodology – This research article was composed using a systematic revision of numerous publications focused on the theme of our research using the Technological Vigilance Service of the Universidad Nacional de Trujillo.

Findings- After the research, a lot of applications were found of the autonomous machines of the industry 4.0 in different industries and with some possible uses in our national industry.

Value – In this research we can highlight some articles like the ones about the theorization of possible future use of laser science in the woodwork industry, with huge opportunities for the application in Mypes, the investigation about a classification system based on artificial intelligence, that shows us how it will be the future of logistics and a study about tendencies in the collaboration relationships between humans and robots, article that studies the actual relation between autonomous machines and human workers.

Keywords- Industry 4.0, Autonomous Machines, MYPE, Technological change

Type of Article- Investigation article

Máquinas Autónomas en la Industria 4.0

RESUMEN

Propósito- Esta investigación se direcciona a mostrar algunos ejemplos de cómo estas nuevas tecnologías pueden ayudar a las mypes manufactureras nacionales a crecer y mejorar sus índices de producción, enfocándonos principalmente en la rama de la tecnología 4.0 de las máquinas autónomas.

Metodología - Se empleó una revisión sistemática de varias publicaciones concernientes a nuestro tema de investigación en el Servicio de Vigilancia Tecnológica de la Universidad Nacional de Trujillo.

Hallazgos- Tras la investigación, encontramos numerosas aplicaciones de la tecnología de la industria 4.0, específicamente de máquinas autónomas siendo empleadas en distintas industrias y con posibles usos para la industria nacional.

Valor- Entre nuestra investigación podemos destacar algunos artículos como la teorización sobre el uso de la ciencia láser para mejorar la exactitud en el trazado de madera, con bastante potencial en aplicaciones para pequeñas empresas, la investigación sobre un sistema de clasificación de objetos basado en inteligencia artificial, que muestra como sería el futuro del almacenamiento inteligente, y un estudio sobre las tendencias entre la colaboración entre humanos-robots, artículo que estudia la actual relación que hay entre máquinas autónomas y operarios humanos.

Palabras Clave- Industria 4.0, Máquinas Autónomas, MYPE, Cambio Tecnológico

Tipo de Artículo- Artículo de Investigación

1. Introducción.

La presente investigación está enfocada principalmente a mostrar algunos ejemplos de cómo las nuevas tecnologías, que se están aplicando actualmente en el ámbito internacional, pueden ayudar a las mypes manufactureras nacionales a crecer y mejorar sus índices de producción, enfocándonos principalmente en la rama de la tecnología 4.0 de las máquinas autónomas, las cuales confiamos en que podrían ayudar a que nuestra industria de un paso adelante en el aspecto tecnológico.

El presente trabajo apunta principalmente a la pregunta:

¿Qué aplicaciones están teniendo actualmente las máquinas autónomas? ¿Qué ejemplos podrían beneficiar a la industria nacional, enfocando de manera prioritaria a las mypes?

2. Metodología.

Para el presente trabajo se empleó una revisión sistemática de varias publicaciones concernientes a nuestro tema de investigación. Para la búsqueda se empleó el Servicio de Vigilancia Tecnológica de la Universidad Nacional de Trujillo, específicamente, la sección de industria 4.0 referente a las máquinas autónomas. Se seleccionaron 22 artículos de los cuales se filtraron los que contenían temas más relacionados y con posibles aplicaciones al sector manufacturero de la carpintería. Tras el filtro, quedaron 15 publicaciones, las cuales fueron comprendidas y resumidas de manera comprensible para los lectores con un formato entendible y ordenado.

3. Revisión literaria.

3.1. CALIBRACIÓN AUTOMATIZADA DE SISTEMAS BASADOS EN LA TOMA DE HUELLAS DACTILARES RSS MEDIANTE UN ROBOT MÓVIL Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO.

Kolakowski, M. *Automated Calibration of RSS Fingerprinting Based Systems Using a Mobile Robot and Machine Learning*. Sensors 2021, 21, 6270. <https://doi.org/10.3390/s21186270>

3.1.1. Objetivo

Describir un método automatizado para la calibración de sistemas de posicionamiento basados en huellas dactilares RSS

3.1.2. Conceptos relevantes

- **Sistema de posicionamiento en interiores:** Red de dispositivos empleados para la localización inalámbrica de objetos o personas en el interior de un espacio cerrado.
- **BLE:** Tecnología Bluetooth de baja energía.
- **ANN:** Red artificial neural.
- **kNN:** Algoritmo basado en clasificación supervisada empleada para estimar la función de densidad.
- **Rango de RSS:** Método de posicionamiento en interiores, basado en la intensidad de señal recibida. Es decir, el valor de la potencia se convierte en una distancia entre la etiqueta localiza y los dispositivos del sistema que la captan. Estas distancias se procesan a través de algoritmos como la trilateración o el Filtro Kalman "Unscented".
- **Toma de Huellas Dactilares.** Método de posicionamiento en interiores, en el que la etiqueta se localiza a través de una comparación de los valores RSS registrados con el mapa de radio que contiene información sobre la distribución de potencia de la señal en el área respectiva.

- **Mapa de radio.** Base de datos creada al configurar el sistema y compuesto por múltiples huellas dactilares.
- **Sensor LiDAR:** Técnica de teledetección óptica que emplea luz láser para medir distancias y ángulos de la superficie del terreno en las tres dimensiones.

3.1.3. Metodología

A través del uso de un robot móvil equipado con un sensor Li-DAR y una etiqueta del sistema, se realiza la calibración del sistema a través de 2 pasos: la cartografía del medio ambiente y la calibración de mapas de radio RSS. Para el primer paso, el mapeado se realiza con el sensor LiDAR adjunto al robot, el cual realiza escaneos estacionarios del área. Toda esta información es procesada a través del algoritmo SLAM, obteniéndose el mapeado del entorno. Para el segundo paso, se condujo el robot a través del área de despliegue del sistema. Con esto, el robot se localiza a sí mismo utilizando su sensor LiDAR, midiendo la intensidad de señales transmitidas por las redes del sistema y captadas por la etiqueta incorporada en sí mismo. Estos resultados son guardados junto con las ubicaciones derivadas del robot (x, y). Con esto, se obtiene una base de datos que se empleará para calibrar el sistema de posicionamiento y crear un mapa de radio completo.

3.1.4. Principales resultados

El método con actualizaciones de mapas específicos presentó un error medio de 1.1 m para ANN. El error medio para la toma de huellas dactilares kNN es de 0.87 m. Respecto al posicionamiento de una persona en movimiento, el error de trayectoria medio es de 0.4 m. Respecto a las soluciones robóticas, presenta un error de 0.72 m. Comparando estos resultados con literatura referente al tema, la precisión del método propuesto está a un nivel similar que esta.

3.1.5. Conclusiones y limitaciones

El método de calibración de mapas de radio diseñado en la presente investigación es completo, cubriendo desde el mapeo del entorno hasta la calibración del mapa de radio con ayuda de datos recopilados por un robot móvil. Empleándose un sistema de localización basado en BLE, se calculó un error de localización medio del robot de aproximadamente 0.87 m. El método puede ser útil en espacios donde hay una pequeña cantidad de usuarios, o si la calibración debe ser hecha rápidamente.

3.2. RAPTOR: UN DISEÑO DE UN ROBOT DE INSPECCIÓN DE DESAGÜES.

Muthugala, M.A.V.J.; Palanisamy, P.; Samarakoon, S.M.B.P.; Padmanabha, S.G.A.; Elara, M.R.; Terntzer, D.N. *Raptor: A Design of a Drain Inspection Robot*. *Sensors* 2021, 21, 5742. <https://doi.org/10.3390/s21175742>

3.2.1. Objetivo

Proponer un novedoso diseño de un robot de inspección de drenaje, Raptor, equipado con la función de seguimiento de drenaje autónomo.

3.2.2 Conceptos relevantes

- **RMSE:** Error cuadrático medio, también conocido como raíz de la desviación cuadrática media, que mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos.
- **Capas de autonomía.** Niveles de autonomía de vehículos, que van desde la no automatización (nivel 0) hasta la automatización completa (nivel 5).
- **Capacidad de reconfiguración:** Capacidad que permite que el robot se adapte a diferentes superficies y terrenos de desagües.

- **Mecanismos Tuck-In y Tuck-Out:** Mecanismos que permiten replegar o desplegar accesorios adicionales de un cuerpo robótico.
- **ROS (Robot Operating System):** Es una suite robótica que permite el desarrollo de software para robots con la funcionalidad de un sistema operativo.
- **RaspberryPi:** Serie de ordenadores de placa reducida, única y de bajo costo, muy empleada para la elaboración de pequeños prototipos robóticos.

3.2.3. Metodología

Para el diseño del robot deben considerarse aspectos como los principios de su diseño, la reconfigurabilidad, el análisis estructural, el control y las capas de autonomía del robot.

Respecto a los principios del diseño, se consideraron los siguientes requisitos: capacidad para maniobrar en desagües estrechos; aptitud para viajar en diversos terrenos; ligereza y compactibilidad; capacidad para realizar giros cerrados; flexibilidad para montar sensores y actuadores; y capacidad para transportar cargas útiles.

Respecto al módulo de reconfiguración, se consideraron mecanismos Tuck-In y Tuck-out, para adaptarse a diferentes tipos de terrenos.

Respecto al análisis estructural, se simuló el esfuerzo y deformación máxima de la estructura a través de un modelo CAD mezclado con una malla tetraédrica.

Respecto a la arquitectura de Control, se empleó un módulo de locomoción con cuatro motores de engranajes metálicos de CC, controlados por controladores de motor separados a través del protocolo Universal Serial Bus (USB). Respecto al microprocesador, es de tipo RaspberryPi, con una velocidad de reloj de 1.2 GHz, con un procesamiento de autonomía ROS de alto nivel, permitiendo la comunicación directa con los controladores de motor. Se equipó el robot, además, con una cámara 435i RealSense, con transferencia directa a la unidad maestra ROS en una computadora personal, de sistema operativo Ubuntu 18.4.

Respecto a su autonomía e interfaz gráfica de usuario (GUI), emplea una interfaz basada en Unity 2019.4. La comunicación entre el robot y los dispositivos de control se realiza a través de Message Queue Server (MQTT), funcionalidad de ROS. Así mismo, para garantizar la detección y evitamiento de obstáculos, consta de un sensor LiDAR 2D.

3.2.4. Principales resultados

Los ruidos generados por la naturaleza rugosa de las paredes del drenaje son incluidos en la información del sensor de rango, en forma de variaciones de alta frecuencia e . Sin embargo, esto no impidió a que el robot navegara de forma adecuada a través del drenaje, demostrando así la capacidad de manejo de la incertidumbre del sensor del controlador propuesto.

El robot fue sometido a cinco pruebas:

- En el escenario A, el robot fue colocado sin error de rumbo ni desviación del centro. A pesar de existir oscilaciones e , el RMSE fue pequeño (3.8 cm). Por lo tanto, el desempeño del controlador incorporado en el robot fue aceptable.
- En el escenario B, con el fin de validar la capacidad del controlador para recuperar alguna descompensación del robot desde un rumbo paralelo centro del drenaje, se obtuvo una RMSE también de valor bajo (5.9 cm), por lo que el controlador sí es capaz de recuperarse de desviaciones durante sus operaciones.
- En el escenario C, con el fin de validar la capacidad del controlador para recuperar alguna descompensación del robot desde un rumbo no paralelo al centro del drenaje, el robot logró recuperarse con éxito y posicionarse en el medio del drenaje nuevamente.

- En el escenario D, el robot fue colocado inicialmente con errores de desplazamiento y de rumbo. El robot también se recuperó con éxito; sin embargo, su RMSE fue mayor (7.4 cm). Sin embargo, es un resultado aceptable, dadas las condiciones más complejas de recuperación.
- En el escenario E, se evaluó el comportamiento del controlador ante segmentos de drenaje con dirección en ángulo. Como los resultados anteriores, el robot fue capaz de girar hacia la nueva dirección, aunque con errores iniciales de desplazamiento y rumbo. No obstante, como en el escenario D, logró adaptarse rápidamente al nuevo segmento, por lo que el controlador es efectivo también ante estas situaciones.

El RMSE promedio tiene un valor de 6.6 cm, siendo una cantidad de desviación promedio desde la mitad del drenaje aceptable, comparándose con las dimensiones del robot y del drenaje.

3.2.5. Conclusiones y limitaciones

El robot de inspección de desagües propuesto está equipado con un mecanismo de eje de rueda adaptable a la altura y longitud del espacio del terreno donde hará sus operaciones. Así mismo, cuenta con un controlador difuso para que su movimiento esté centrado respecto a las paredes del drenaje mientras realiza su exploración. Esto lo hace valioso como herramienta para la mejora de inspección de drenajes.

3.3. DISEÑO DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA CLASIFICAR OBJETOS SEGÚN EL COLOR DETECTADO A TRAVÉS DE SENSORES DE COLOR Y CLASIFICADOS POR BRAZOS ROBÓTICOS.

Zurita Pérez, José Luis (2014). *Diseño de una máquina automática para clasificar objetos según el color detectado a través de sensores de color y clasificados por brazos robóticos*. Departamento de Eléctrica y Electrónica. Carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación. ESPE. Extensión Latacunga.

3.3.1. Introducción

El desarrollo del sistema sensorial de los humanos ha evolucionado exponencialmente, por ejemplo, en una situación simple como abrir una puerta casi nunca representa algún problema, pero a nivel cerebral representa una enorme cantidad y complejidad que se debe procesar.

A través del tiempo los científicos, filósofos, artista e inclusive físicos han estudiado el color; desde el Homo Erectus que empezó a preguntarse el porqué del color rojo en la sangre o el negro del carbón en las hogueras.

3.3.2. Desarrollo

A. Descripción de elementos utilizados.

• Servomotor de modelismo Hitec HS-311:

Este tipo de motor especial incluye como parte principal un motor de corriente continua, además de una caja reductora y tablero de control electrónico.

• Sensor de proximidad SICK WL250-S132:

Este sensor fotoeléctrico es usado para encontrar objetos a grandes distancias. La sensibilidad de la luz roja visible tipo reflexión es indicado a través de un potenciómetro.

• Sensor de color TCS-230:

Este sensor es usado para convertir la luz recibida en una señal analógica o digital. Esta señal viene a ser directamente proporcional a la intensidad de la luz.

- **Servomotor AX-12A Smart Robotic Arm:**

Este es un actuador modular inteligente que tiene incluido en su sistema un motor de corriente continua, un reductor y el circuito de control con funciones de red.

- **Controlador USB2Dynamixel:**

Este dispositivo sirve para controlar directamente a los servomotores Dynamixel AX, DX y RX a través de la computadora.

B. Diseño del Hardware.

- **Brazo Robótico AX-12A Smart Robotic Arm:**

Este dispositivo inteligente es usado para el movimiento de las articulaciones. Es necesario que los servomotores Dynamixel AX-12^a tengan una buena velocidad y un gran torque para su excelente funcionamiento. Este brazo robótico debe ser compatible con los programas para computadora de Matlab o LabVIEW, entre otros.

- **Estructura para el Sistema:**

La madera es un material versátil y resistente para la construcción de esta estructura y es diseñado básicamente con Autocad. La estructura del sistema contiene una cinta transportadora, cajas donde se introduce las fuentes de alimentación, una caja de control y espacios de almacenamientos por color.

C. Diseño del software.

- **Adquisición de Datos:**

Los datos analógicos y digitales son necesarios que se conviertan a señales para que la computadora y el software de LabVIEW pueda entenderlos y en consecuencia procesarlos. Para esto se utiliza DAQ 6008 que cuenta con entradas analógicas y digitales y estas son configuradas desde el software para posteriormente se conviertan la señales según la necesidad del usuario.

- **Sensor de Color con la Salida Analógica:**

El sensor de color TCS-230 tiene un voltaje de entrega entre 0 y 5V, por lo que necesariamente se conecta directamente a las entradas analógicas del dispositivo de adquisición de datos DAQ 6008, posteriormente el equipo devuelve un voltaje para cada color detectado.

- **Sensor de Color con la Salida Digital:**

El microcontrolador PIC16F628A se conecta a un dispositivo que tenga conexión y comunicación UART, este se usa para enviar datos hasta el sensor de color.

- **Brazo Robótico:**

Para controlar el brazo robótico es necesario el controlador USB2Dynamixel que se puede utilizar con diversos programas como Matlab, LabVIEW, Visual Basic, Python, entre otros similares.

3.3.3. Resultados

(i) Prueba del generado de pulsos

Se calculan los valores de R1 que se encuentra en el rango de 230K Ω y 260K Ω y para R2 que están en el rango de 15K Ω y 29K Ω . Para variar el ancho de pulso tenemos que cambiar el potenciómetro y en consecuencia los valores de R1 y R2 variarán.

(ii) Prueba de la Modificación del Servomotor Hitec HS-311

Al modificar el servomotor se le puede controlar la velocidad y también invertir el giro. Al momento de realizar las pruebas el ancho del pulso es de 1ms girando el servomotor a su máxima velocidad en un sentido y si cambiamos el valor del pulso a 2 ms el servomotor gira en el sentido contrario a su máxima velocidad, en cambio si el valor del pulso es de 1.5 ms el servomotor deja de girar y se queda estático.

(iii) Prueba del Sensor de Proximidad SICK WL250-S132

Se debe hacer pruebas con un objeto a distintas distancias y diferentes sensibilidades del sensor para poder encontrar los rangos de detección del sensor.

(iv) Pruebas del Sensor de Color TCS-230

A mayor nivel de intensidad luminosa que llega sobre el objeto mayor es el voltaje de salida, es lo que nos demuestra las pruebas del sensor de color TCS-230

(v) Pruebas del Brazo Robótico AX-12A Smart RoboticArm

En esta prueba encontramos el área de trabajo que utiliza el brazo robótico.

3.3.4. Conclusiones

- El dispositivo que detecta cubos de color rojo, verde y azul a través del sensor de color logra clasificar los objetos en el lugar establecido cumpliendo los objetivos del proyecto.
- El sensor de proximidad nos permite cambiar la sensibilidad y esto determina la distancia de la detección.
- La distancia máxima de detección recomendada es de 8 centímetros, aunque puede detectar hasta 11.5 cm, no es recomendado ya que se obtienen errores de detección.
- La salida analógica del sensor de color es variable y esta depende si se analiza colores claros o también colores oscuros.
- Al analizar el color del objeto a diferentes distancias, esta entrega también diferentes valores analógicos que depende de la distancia. Si es objeto está cerca, la salida analógica es menor y viceversa, si el objeto está más lejos, la salida analógica es mayor.
- Si el sensor de color está aislado de la luz ambiental, esta entrega una salida analógica con una variación menor, esto es debido a que la luz en la zona del sensor de color es constante.
- Los colores claro absorben menor cantidad de luz a diferencia de los colores oscuros.
- La salida analógica del sensor de color es menos segura respecto a la salida digital, ya que esta obtiene un error de cero.

3.3.5. Recomendaciones

- La luz debe ser constante lo mayor posible, sino el proceso podría no funcionar correctamente.
- Se debe tener en cuenta las características y parámetros técnicos de cada dispositivo antes de conectarlos para poder evitar posibles errores y daños en los dispositivos.
- Debemos tener siempre en cuenta las unidades en las que se está trabajando para realizar los cálculos y obtener los valores deseados.

- Se debe tener en cuenta que el tiempo en alto es mayor y viceversa al momento de diseñar el generador de pulsos.
- Al momento de modificar el servomotor hay que retirar los engranajes de la caja reductora y tomar una fotografía para que al momento de volver a ensamblarlo no tener inconvenientes.
- Se debe tener cuidado al momento de extraer la pestaña limitadora de giro del servomotor, ya que puede dañar el engranaje.
- Cuando sustituimos el potenciómetro del servomotor hay que colocar dos resistencias del mismo valor y que al sumarlas den el valor del potenciómetro.
- Para evitar posibles errores debemos aislar el sistema de la luz ambiental.

3.4. ESTIMACIÓN DE ORIENTACIÓN DE UN VEHÍCULO AÉREO NO PILOTADO CON SENSORES INERCIALES Y APRENDIZAJE DE MÁQUINA

Fonnegra, R.; Goez, G.; Tobón, A. (2019). *Estimación de orientación de un vehículo aéreo no pilotado con sensores inerciales y aprendizaje de máquina*. Revista Iberoamericana de Automática e Informática. 16(4):415-422. <https://doi.org/10.4995/riai.2019.11286>

3.4.1. Resumen

Existen alternativas aplicativas de los vehículos aéreos no tripulados (UAV) que pueden comprometer la integridad humana. Para aumentar considerablemente la autonomía de los vehículos aéreos no tripulados es necesario considerar la inteligencia artificial y en consecuencia aumentar sus capacidades de navegación en los distintos entornos donde se presente. El presente experimento evalúa una estimación de orientación e inclinación, usando los algoritmos de aprendizaje automático representado en una planta dinámica con x cantidad de rotores.

En el experimento se propone recopilar datos de unidades de medición inercial, estas ubicadas sobre una placa de un vehículo aéreo no tripulado y someterlo a distintas inclinaciones antes que sean clasificados. Los resultados del experimento se reportando usando algoritmos de k vecinos cercanos, maquinaria con soporte vectorial y de Bayes que muestran eficiencia en su reconocimiento. Esto nos reporta una precisión de hasta el 99%. Estos algoritmos son combinados con técnicas de control muy robustas, y son ideales para implementarse en sistemas con capacidad de procesamiento limitado.

3.4.2. Introducción

En los años 40 del siglo XX se empezaron a utilizar dispositivos que cierta forma tenía autonomía. A partir de eso se empezó a desarrollar diversas plataformas con distintas aplicaciones de las cuales predomina esta necesidad de controlar los vehículos de forma remota. En el contexto mencionado se encuentra el envío de naves espaciales controlados desde la Tierra, los vehículos aéreos con la misión de vigilar y combatir. Pero hace poco se propuso nuevas aplicaciones para los vehículos no tripulados aéreos, como los sistemas de vigilancia, monitorear campos de cultivo, operaciones de búsqueda y rescate solo por mencionar algunos. Estas nuevas aplicaciones mencionadas demandan un sistema computacional robusto y de control en los vehículos aéreos no tripulados con la finalidad de aumentar la confiabilidad y seguridad de estos complejos sistemas de navegación, el cual está relacionado directamente con la capacidad del vehículo de percibir el medio en el cual está navegando como el aire.

3.4.3. Materiales y Métodos

• Etapa de adquisición, Base de datos y pre procesamiento:

Para diseñar el algoritmo se tuvo en cuenta una base de datos experimental con información obtenida de un acelerómetro y giroscopio que fueron instalados sobre la placa de un vehículo

aéreo no tripulado. Luego para propósitos del experimento se modifica su orientación y posición con la finalidad obtener una inclinación para posteriormente medirla.

3.4.4. Resultados

Se utiliza una validación cruzada con la finalidad de hacer una clasificación efectiva y confiable de la inclinación de los vehículos aéreos no tripulados, para ellos utilizamos 10 subconjuntos dada su significancia estadística. Además, consideramos que los datos estén estratificados con la finalidad de evitar posibles sesgos debido al desbalanceo entre nuestras muestras al momento de ajustar los parámetros.

El algoritmo de Bayes reporta los resultados con una tasa de reconocimiento de 0.948 Este clasificador tiene la menor tasa de reconocimiento en los clasificadores, pero a pesar de eso tiene el menor tiempo de procesamiento. Esta tasa obtenida es debido a la regla usada para la estimación de instancias que no requiere complejidad matemática para encontrar su solución. El algoritmo mostrado obtiene resultados prometedores para implementarlo en sistemas reales aéreos no tripulados teniendo un bajo costo y limitadas prestaciones.

3.4.5. Conclusiones

En el presente proyecto se muestra el uso de diversos algoritmos de aprendizaje computacional con la finalidad de encontrar la inclinación adecuada de un vehículo aéreo no tripulado y obtener la orientación en tiempo de vuelo del que desconocemos el modelo cinemático. Las técnicas utilizadas nos muestran la efectividad al presentar los resultados obteniendo tasas de acierto notables en el justificado problema de identificar la inclinación del vehículo aéreo no tripulado.

Se utilizaron clasificadores de maquinaria con soporte vectorial, k vecinos cercanos y Bayes para el reconocimiento. Esto resultados que se obtuvieron son prometedores que varían entre 0.95 y 0.99 en la tarea de la identificación de la inclinación. Además, se reporta los tiempos que en promedio clasifica cada instancia en los algoritmos usados, una vez que fueron ajustados los parámetros de cada modelo.

3.5. AUTOMATIZACIÓN DE UNA CELDA MANUFACTURERA ROBOTIZADA

Sánchez, I., & Martell, F. (2019). *Automatización multinivel de celda de manufactura robotizada utilizando máquinas de estados finitos*. Revista Ingeniería, investigación y tecnología, 40-52.

3.5.1. Objetivo

Diseñar una propuesta para automatizar cada subsistema de una celda de manufactura de manera que estén coordinadas mediante una máquina de estado.

3.5.2. Conceptos relevantes

- **Celda de manufactura:** Conjunto de máquinas o estaciones de trabajo que están conectadas que permite descomponer el sistema en unidades más simples que fabrican una familia de partes.
- **Automatización:** Sistema mediante el cual las tareas de producción, a menudo realizadas por humanos, se transfieren a un conjunto de elementos tecnológicos.
- **Sensor:** Instrumento electrónico que detecta algún modelo de entrada del entorno físico y responde a él y convierte estas señales de salida en una pantalla que el operador puede leer.
- **Actuador:** Componente que utiliza la energía recibida para activar un proceso automatizado. El actuador es capaz de efectuar su función en base a la información recibida de los controles, a partir de la cual se genera un comando del actuador, que puede ser hidráulico, neumático, eléctrico o mecánico.

- **Máquina de estados:** El prototipo de comportamiento de un sistema describe paso a paso la secuencia o proceso a realizar, incluidas las acciones a ejecutar. Se puede utilizar una representación gráfica o tabular de la máquina de estado.
- **Programación PCL:** Es una plataforma de automatización muy utilizada, sin embargo, su programación depende no solo del dominio de un lenguaje de programación en particular sino también de la práctica y método de cada programador.
- **Programación HMI:** También llamada interfaz hombre-máquina, es el vínculo entre el proceso y el operador; básicamente es un panel de control. Es la herramienta principal que utilizan los operadores y supervisores para organizar y controlar los procesos industriales y de fabricación.

3.5.3. Metodología

Se graficó utilizando el modelo de máquina de estados, mediante simbologías que representen etapas, acciones o transiciones correspondientes para cada unidad del sistema. Además, se utilizó un método de programación para facilitar la integración de las distintas unidades y celdas de procesamiento, así como la modificación y depuración de programas.

3.5.4. Resultados

La automatización de la celda de producción se desarrolló e integró utilizando una máquina de estado (se requiere código de programación y operación). En cuanto al funcionamiento de la celda, se han cumplido las especificaciones recomendadas: activación de actuadores (modo manual), funcionamiento individual de cada unidad (modo semiautomático) y unidades integradas (modo automático), se ha producido un desarrollo ordenado de la automatización de varios niveles altos, tanto para la programación de PLC como la HMI, y lograr la coordinación de unidades en la celda.

3.5.5. Conclusiones

Es posible diseñar una propuesta para automatizar cada subsistema de una celda de producción utilizando máquinas de estado, que no solo es una herramienta de análisis sino también un modelado de soluciones de control y programación. Programación estructurada de PLC, incluyendo el desarrollo de una interfaz hombre-máquina que proporciona virtualización completa. Mediante el método de programación, se facilita la integración de varias unidades y la manipulación celular, así como la modificación y depuración del programa.

3.6. USO DE LA CIENCIA LÁSER PARA MEJORAR LA EXACTITUD EN EL TRAZADO DE MADERA EN CARPINTERÍAS

Gordón, M., Gordón, D., & Revelo, R. (2021). *Corte por láser con Raspberry Pi para el trazado en los talleres de carpintería*. . Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores. , 21-40.

3.6.1. Objetivo

Ofrece una propuesta de uso de tecnología láser con Raspberry PI para carpintería para mejorar la precisión del marcado en madera.

3.6.2. Conceptos relevantes

- **Corte:** Técnica en la que una sierra de mano es paralela a la veta de la madera en toda su longitud. Para obtener un buen corte, no aplique demasiada presión y la sierra debe funcionar en la mayor parte de su longitud.
- **Láser con Raspberry PI:** Dispositivo que utiliza la emisión estimulada para crear o amplificar radiación electromagnética de longitudes de onda o radiación luminosa, que da como resultado un haz de luz que viaja a la velocidad de la luz.

- **Trazado:** Se trata de reconstruir sobre la superficie de una chapa o parte de las dimensiones o referencias requeridas para el desarrollo de posteriores procesos mecánicos de fabricación (taladrado, conservación, corte, entubado, etc.). En definitiva, es el dibujo sobre papel lo que quieres conseguir.
- **Taller:** Campo en el que las instalaciones mecánicas, los equipos y otros medios de trabajo se organizan adecuadamente, de acuerdo con características que pueden representar el trabajo realizado por la idea del carpintero.

3.6.3. Metodología

Los métodos utilizados para el procesamiento de la información son analíticos - de síntesis, inductivos - deductivos y sistemáticos; De esta manera, el problema analizado se divide en partes, con el fin de realizar un estudio individual de sus componentes y los resultados recolectados se puedan generalizar a otros talleres de carpintería.

3.6.4. Resultados

Los talleres no cuentan con las herramientas tecnológicas para realizar una trazabilidad más precisa en la industria de la madera y el mueble.

Por ello se planeó y desarrolló un sistema de corte por láser con Raspberry PI para mejorar la precisión del trazado de la madera, en las carpinterías de Tulcán, sin utilizar cortadoras láser. Proceso de corte, este sistema es ideal para pre-cortes y cortes finales, pudiendo ser utilizado para definir superficies, modificar siluetas o piezas de trabajo y no crear rebabas en buenos casos.

3.6.5. Conclusiones

Al implementar sistemas de corte por láser, podemos mejorar el diseño y acabado de los cortes en madera, mejorar los procesos, lograr la excelencia en el acabado y la innovación en los productos que ofrecerán a sus clientes.

3.7. PROGRAMACIÓN DE ROBOTS MEDIANTE DEMOSTRACIÓN CON REALIDAD AUMENTADA

Soares, I., Prety, M., & Moreira, P. (2021). *Programming Robots by Demonstration Using Augmented Reality*. *Sensors*, 21-34.

3.7.1. Objetivo

Desarrollar un prototipo industrial de un sistema de interacción hombre-máquina mediante Realidad Aumentada que permita que un operador sin experiencia en programación pueda programar un robot.

3.7.2. Conceptos relevantes

- **Realidad aumentada:** Instrumentos tecnológicos que brindan una experiencia interactiva para usuarios de una variedad de dimensiones virtuales y físicas, con la utilización de dispositivos digitales.
- **Traductor de programas:** Este es un tipo de software que tiene como función convertir código de un lenguaje de programación a otro. En este estudio, el paquete ROS está diseñado para implementar dos ensambladores, uno para cada lenguaje de programación de robot requerido (URScript y RAPID).
- **Algoritmo informático:** Consiste en un conglomerado de instrucciones específicas, ordenadas y finitas para resolver un problema o realizar una tarea, mediante código, de manera que podamos decirle a la máquina que queremos que lo haga. Qué acciones deben tomarse. Entonces, un

programa de computadora no será más que un conjunto de algoritmos dispuestos y codificados en un lenguaje de programación para que puedan ejecutarse en una computadora.

- **Registro de ruta:** Su objetivo es crear una sintaxis general para localizar un recurso de red, como un archivo, carpeta o impresora compartidos.
- **Universal Robots UR5:** Este es un robot industrial colaborativo ligero diseñado para aplicaciones de capacidad media. El objetivo general del desarrollo de este robot es la flexibilidad y la adaptabilidad. El método elegido es la secuencia de comandos porque permitirá la comunicación entre el ROS y el controlador UR5 a través de un conector TCP / IP.
- **ABB IRB 2600:** Es un robot industrial, al no ser un robot colaborativo, no contaba con sensores de seguridad de fuerza y presión. El modo de controlador del robot se definió como semi-manual, lo que significa que la velocidad se reduciría automáticamente a la mitad y el robot solo se movería cuando el usuario estuviera presionando un botón en su colgante de enseñanza; en el momento en que el usuario suelta el botón, el robot se detiene.

3.7.3. Metodología

A través del sistema AR (Realidad Aumentada) se programa dos robots (Universal Robots UR5 y ABB IRB 2600) utilizando dos fases: la adquisición de los datos de la trayectoria del robot y la traducción de las coordenadas de la mano del operador al lenguaje del robot.

3.7.4. Resultados

El sistema se dividió en dos partes diferentes: la aplicación AR que registraría los movimientos de la mano del operador, y luego los traductores que transformarían las coordenadas de la trayectoria registrada al lenguaje del robot requerido. La interacción con la interfaz se realiza mediante gestos con las manos y ventanas emergentes, evitando el uso de botones que podrían confinar al usuario a una zona específica. Para probar el sistema desarrollado y validarlo, se realizaron algunos experimentos para demostrar el concepto propuesto inicialmente, se optó por dibujar figuras geométricas, porque sería fácil verificar si el robot era capaz de replicar la trayectoria. Estos experimentos se consideraron exitosos en ambos robots, ya que pudieron replicar la ruta registrada. Vale la pena mencionar que la orientación y la velocidad impuestas en estos experimentos fueron siempre las mismas, aunque pueden modificarse de acuerdo con la aplicación de cada robot.

Los resultados obtenidos permitieron demostrar que si se puede permitir que un operador programe un robot mediante demostración utilizando tecnología AR. Este trabajo utilizó dos robots, uno colaborativo y otro industrial, sin embargo, la aplicación fue construida para agregar fácilmente nuevos. Para eso, el programador solo necesita insertar los parámetros del robot para definir su espacio de trabajo y construir el traductor correspondiente.

3.7.5. Conclusiones

Se proporciona una solución viable, sin esfuerzo y económica para la programación de robots por demostración, sin necesidad de conocimientos de programación. El objetivo principal de este trabajo es evitar el uso de marcadores, proporcionando un método de registro de ruta suave y sencillo. Además, este enfoque es computacionalmente liviano en comparación con otras técnicas de aprendizaje de demostración, como los enfoques de aprendizaje automático.

Para integrar estos sistemas a la industria, se deberían considerar algunas observaciones con respecto a la ejecución del robot, se puede aumentar la velocidad y ajustar el radio de precisión deseada de la ejecución de la trayectoria.

3.8. PROGRAMACIÓN PREVENTIVA DE TAREAS CON RECUPERACIÓN DE FALLOS PARA SISTEMAS MULTI-ROBOT: UN NUEVO ACERCAMIENTO A LA LOGÍSTICA AUTOMATIZADA DE FÁBRICAS INTELIGENTES.

Kalempa, V.C.; Piardi, L.; Limeira, M.; de Oliveira, A.S. *Multi-Robot Preemptive Task Scheduling with Fault Recovery: A Novel Approach to Automatic Logistics of Smart Factories*. *Sensors* 2021, 21, 6536. <https://doi.org/10.3390/s21196536>

3.8.1. Objetivo

Investigar una mejora de la programación de tareas (MRTA) para sistemas multi-robot (MRS) que tenga en cuenta recuperaciones para fallos logísticos.

3.8.2. Metodología

La Programación Preventiva de Tareas con Recuperación de Fallos fue probada en un almacén creado con realidad aumentada basado en el almacén real de una empresa brasileña. Se compararon los resultados con otras programaciones ya conocidas para determinar cuál era la más óptima en esta simulación.

3.8.3. Conceptos relevantes

• Sistema Multi-Robot (MRS):

Un sistema multi - robot es aquel compuesto por dos o más robots diseñados para realizar tareas conjuntas y alcanzar objetivos comunes. Para que puedan realizar sus tareas conjuntas es necesario que interactúen y se comuniquen entre los robots del sistema. Como en la robótica aplicada en ambientes reales, también se debe tener en cuenta la incertidumbre que siempre conlleva la robótica móvil.

• Localización de Tareas para MRS (MRTA):

Programación que distribuye las tareas de los robots pertenecientes al MRS. Es muy empleado en los almacenes actuales, pero tiene ciertas desventajas como no poder responder ante fallos, cambios bruscos de prioridad o dependencia entre tareas.

• Programación Preventiva de Tareas con Recuperación de Fallos para MRS (MRPF):

Es un sistema MRTA mejorado capaz de responder rápidamente a cambios de prioridad, fallos en los procesos y adaptable a la dependencia entre tareas. Fue puesto a prueba con resultados positivos en esta investigación en un almacén de realidad aumentada basada en un almacén real.

3.8.4. Resultados

La programación preventiva de tareas con recuperación de fallos (MRPF) reportó rutas más cortas y mejor optimizadas para el desplazamiento de las máquinas autónomas en el almacén que otras programaciones antes probadas.

3.8.5. Conclusiones

El MRPF, una nueva propuesta para el diseño de distribución de sistemas multi-robots, tiene en cuenta las restricciones de los robots, las tareas, la prioridad de sus deberes y los recursos que necesitan para su funcionalidad. El MRPF se enfoca en la distribución durante la ejecución, administrando las interacciones de trabajo, los recursos e introduce nuevas mejoras dinámicas como la capacidad de cubrir fallos en los procesos.

3.9. INVESTIGACIÓN DE SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE OBJETOS BASADO EN DEEP LEARNING.

Zhang, H.; Liang, H.; Ni, T.; Huang, L.; Yang, J. *Research on Multi-Object Sorting System Based on Deep Learning*. Sensors 2021, 21, 6238. <https://doi.org/10.3390/s21186238>

3.9.1. Objetivo

Construir un sistema de clasificación multi-objetos para robots que se encarguen de clasificar automáticamente cargas mediante Deep Learning.

3.9.2. Metodología

Se entrenó a un robot Epson C4-A901 con una cámara cinética, un servidor Linux y un cliente de Windows. El robot Epson se colocó a un lado de la mesa de pruebas y la cámara cinética al lado opuesto. Se configuró para que la cámara y el robot tuvieran una relación ojo-a-mano y se entrenó con Deep Learning para diferenciar distintos objetos y manipularlos dependiendo de su percepción.

El sistema consistía en la cámara cinética que enviaba la posición y forma de los objetos a la computadora, un sistema de reconocimiento de la clase de objeto y los controladores del robot que calculaban los movimientos y ordenaban su función.

3.9.3. Conceptos relevantes

- **Deep Learning:** Un tipo de Machine Learning que entrena a una computadora para realizar tareas como si fuera un ser humano, tal como reconocer el habla, hacer predicciones o identificar imágenes u objetos. No emplea ecuaciones predefinidas, sino que enseña a la computadora a adaptarse reconociendo ciertos patrones.

3.9.4. Resultados

Se reportaron algunos fallos en la manipulación de algunos tipos de objetos, mayormente en los de forma irregular, pero en todas las clases de objetos pasó el 90% de éxito, alcanzando hasta el 100% en algunas categorías. Por otro lado, la detección de la clase de objeto y el orden de atención según la clase fue completamente acertada, sin reportar ningún error en estos aspectos.

3.9.5. Conclusiones

El sistema de clasificación multi-objetos presentó resultados satisfactorios. El sistema funcionó correctamente: la cámara cinética enviaba la localización de los objetos, el sistema de reconocimiento reportaba el tipo de objeto con su posicionamiento y los controladores del robot se encargaban de calcular y comandar los movimientos del robot para la manipulación. En un futuro probablemente se pueda aplicar en situaciones reales diarias con un poco más de profundización en el entrenamiento mediante Deep Learning.

3.10. APLICACIONES AL LÍMITE DE MECATRÓNICA A TRAVÉS DEL CONTROL DE MOVIMIENTO INTELIGENTE.

Cech, M.; Beltman, A.-J.; Ozols, K. X. *Aplicaciones Al Límite De Mecatrónica A Través Del Control De Movimiento Inteligente*. Appl. Sci. 2021, 11, 8337. <https://doi.org/10.3390/app11188337>

3.10.1. Objetivos

A menudo que transcurre el tiempo se han anunciado muchos logros tecnológicos en las diferentes áreas y campos. Los sistemas mecatrónicos inteligentes se enfrentan a diferentes limitaciones de velocidad, precisión, adaptabilidad, tamaño, autodiagnóstico. Ante ello deben de adaptarse.

- (i) Es necesaria la adaptación rutinaria de las máquinas a nuevos entornos y productos (Autoadaptación).
- (ii) Las máquinas/robots a menudo deben trabajar en líneas de producción con varias etapas en las cuales son complejas con cero defectos, por lo tanto, deben ser totalmente conectables a las capas superiores de la fábrica y proporcionar información de autodiagnóstico/inspección, y seguir con la línea de la Industria 4.0

3.10.2. Conceptos relevantes

- **BB**: Building block (Bloques de construcción)
- **RT**: Real time (Tiempo real)
- **CNC**: Computer numerical control (Control numérico por computadora)

3.10.3. Metodología

Los desarrolladores deben de tomar en cuentas algunas exigencias que no entre las áreas tecnológicas, las cuales son:

Caso 1: los avances en los sensores industriales inalámbricos y los protocolos no se concentran lo suficiente en la baja intensidad y sincronización, y esto es esencial para sistemas mecatrónicos rápidos y precisos.

• Las fresadoras inteligentes (basadas en CNC):

Están optimizadas para dominios de alta productividad en diferentes campos. El cabezal de fresado es el más importantes que tiene un impacto directo en la calidad de la producción, depende ello el tipo de producto que se brindará. Inteligente nodos inalámbricos capaces de recoger datos en tiempo real (RT) sobre el rendimiento del cabezal de fresado de una máquina. A nivel de sistema, los sensores siguen la estructura de BB2 (Red inalámbrica rápida que garantiza una transferencia de datos segura y mejora las precisiones en las mediciones). Este conjunto de sensores incluye sensores de vibración basados en acelerómetros, sensores de proximidad, sondas inalámbricas de temperatura y preprocesamiento de datos electrónicos integrados.

3.10.4. Conclusiones

Se documenta que los límites de rendimiento en los sistemas mecatrónicos con elementos móviles son a menudo creados por deficiencias en la integración rápida de subsistemas altamente interoperables (sensores, SW, HW, actuadores, etc.). Mencionemos que las aplicaciones descritas se encuentran actualmente en el mercado. La demanda de nuevos bloques de construcción y cadenas de herramientas para la integración surge de la necesidad de situar esos dispositivos en la clase de calidad superior, es decir convertirlos en productos punteros.

En un trabajo a futuro está claro que las innovaciones tecnológicas son bastante ágiles, y como consecuencia en una futura colaboración se integrará un sistema de control para poder apoyar el mantenimiento predictivo y producción con cero defectos.

3.11. TENDENCIAS ENTRE LA COLABORACIÓN ENTRE HUMANOS-ROBOTS Y ASPECTOS DE SEGURIDAD: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.

Arents, J.; Abolins, V.; Judvaitis, J.; Vismanis, O.; Oraby, A.; Ozols, K. “Tendencias entre la colaboración entre Humanos-Robots y aspectos de seguridad: Una revisión sistemática” J. Sens. Actuator Netw. 2021, 10, 48. <https://doi.org/10.3390/jsan10030048>

3.11.1. Objetivos

Los nuevos métodos de interacción están mejorando los despliegues de HRC en el mundo real, sin embargo, la seguridad de acuerdo con la seguridad norma: ISO/TS 15066 debe tenerse en cuenta para adoptar las nuevas tecnologías de forma segura. El HRC puede dividirse en tres niveles diferentes, como son la coexistencia, la cooperación y la colaboración. Los niveles de colaboración están directamente relacionados con la forma en que el trabajador humano y el robot interactúan entre sí a través de sus espacios de trabajo.

3.11.2. Conceptos relevantes

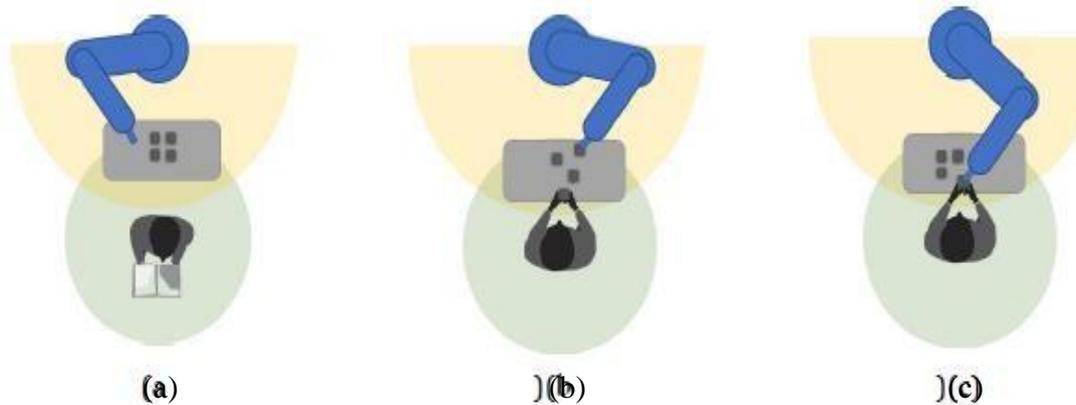
- **AI:** Artificial intelligence
- **HRC:** human robot collaboration (Colaboración humano robot)
- **SW:** Shared workspace (espacio de trabajo compartido)
- **WW:** workers' workspaces (Espacio de trabajo de humanos)
- **RW:** Robot workspaces (Espacio de trabajo de humanos)
- **HRI:** robot human interaction (Interacción humano_robot)

Niveles de colaboración:

- (i) Coexistencia: el humano trabaja en un espacio compartido (parcial o totalmente) con un robot sin compartir objetivos.
- (ii) Cooperación: el ser humano y el robot trabajan hacia un objetivo común en un espacio compartido (parcial o totalmente).
- (iii) Colaboración: el humano y el robot trabajan simultáneamente en un objeto compartido en un espacio compartido.

Figura 1.

Niveles de colaboración para este estudio (a) coexistencia (b) Cooperación (c) Colaboración.



3.11.3. Metodología

El estudio siguió cuatro etapas consecutivas: identificación, cribado, elegibilidad e inclusión.

- (i) **Identificación:** Se realizaron la búsqueda de artículos en diferentes páginas como Scopus y Web of Science donde se encontraron 193 artículos relacionados con la colaboración humano robot.
- (ii) **Revisión:** Se realizaron filtros como si está en inglés, no es un artículo y si trata de la HRC, dando como resultado 51 artículos.

- (iii) Elegibilidad: Se examinó cada artículo completamente y verificaron si el artículo está disponible, en inglés, no es un artículo y si trata de HRC, dando como resultado 46 artículos.
- (iv) Inclusión: Los artículos elegidos fueron extraídos los diferentes parámetros como • Sensores/dispositivos utilizados para el HRC, Algoritmos para HRC, Nivel de colaboración, Acción de seguridad, Normas utilizadas para el HRC.

3.11.4. Debate

Teniendo en cuenta todos los posibles peligros que pueden suponer los robots industriales, la seguridad debe ser la máxima prioridad a la hora de establecer una célula de trabajo HRC.

- La coexistencia puede considerarse como el nivel más bajo de HRC, en el que el humano y el robot trabajan en un espacio compartido sin compartir objetivos; en consecuencia, el robot necesita realizar si un humano entra en el espacio de trabajo del robot o la velocidad del robot debe ajustarse en función de la distancia entre el humano y el robot.
- La cooperación es similar a la coexistencia, el humano y el robot también trabajan en un espacio compartido, pero en la cooperación tienen un objetivo compartido. Todas las acciones de seguridad de la coexistencia siguen estando presentes en la cooperación
- La colaboración puede considerarse el nivel más alto de HRC, en el que el humano y el robot trabajan simultáneamente en el objeto compartido.

• *Métodos de interacción entre humanos y robots para una colaboración más intuitiva*

Establecer un método de trabajo HRC no significa cambiar sólo el robot; hay que rediseñar todo el proceso observando sobre las normas de seguridad. Algunas de las soluciones revisadas proponen nuevos métodos de interacción humana, por lo que uno de los objetivos de la HRI es desarrollar formas más naturales de interacción entre humanos y robots.

• *Colaboración eficaz y segura mediante la formación virtual*

El HRC puede ser una forma segura de aumentar la eficacia en la fabricación y hacer frente a la escasez de mano de obra humana. No se puede alcanzar todo el potencial del HRC sólo desarrollando nuevos métodos de HRI y mejorando los existentes. El proceso de HRC será eficiente cuando ambas partes trabajen en armonía, lo que significa que el humano debe aprender a colaborar eficazmente con el robot.

• *Beneficios de la colaboración entre humanos y robots*

El HRC puede considerarse un paso entre la fabricación tradicional y la fábrica totalmente automatizada dentro de las grandes empresas. Sin embargo, el HRC puede aumentar significativamente la eficacia de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) también a largo plazo ya que para conseguir una fabricación ágil se necesitan menos fondos que para rediseñar toda la fábrica

3.11.5. Conclusiones

- El aspecto de la seguridad es crucial en lo que respecta a la HRC porque los robots industriales pueden suponer una amenaza para los trabajadores humanos si no se establecen los mecanismos de seguridad adecuados.
- Esta revisión muestra que 1/4 de todos los estudios no utilizaron ninguna acción de seguridad.
- Más de la mitad no abordaron los problemas de seguridad ni siquiera cuando la colaboración entre humanos y robots se produjo en el mismo espacio
- El humano necesita sentirse seguro cuando colabora con el robot. La sensación de seguridad puede conseguirse confiando en el robot, en el sistema.

- El nivel de eficacia de la HRC está diseñado para que se pueda conseguir, una colaboración segura, cuando el trabajador humano no se siente en peligro.

3.12. SENSORES PARA DETALLES MUY PEQUEÑOS.

Cirillo, A.; Laudante, G.; Pirozzi, S. “Proximity Sensor for Thin Wire Recognition and Manipulation”. *Machines* 2021, 9, 188.

3.12.1. Objetivos

Describir el uso de un Time-of-Flight pre-touch sensor (sensor pre-táctil de tiempo de vuelo) integrado con un sensor táctil diseñado previamente para una estimación precisa de la pose y forma de un objeto.

3.12.2. Conceptos relevantes

- **Manipulación de objetos:** El agarre y la manipulación siguen siendo un desafío debido a las dificultades intrínsecas para percibir con precisión objetos de diferentes formas y tamaños en entornos abarrotados. Con este tipo de aplicaciones, los sensores de visión/profundidad pueden obtener información posicional y geométrica, pero se ven afectados por problemas con oclusiones y errores de calibración.

3.12.3. Conclusiones

El documento propuso un sensor de proximidad basado en el tiempo de vuelo para la detección de objetos pequeños y delgados, al igual que la estimación de la forma. El texto presentó varias contribuciones desde el punto de vista físico de las computadoras, los autores desarrollaron un hardware adecuado para la integración de varios módulos Tol a bordo de dedos de pinza paralelos. Desde el punto de vista de software muestra el desarrollo de una biblioteca para el uso de sensores, permitiendo esta mejorar el rendimiento del sensor con respecto a la solución estándar.

3.13. SENSORES EN LA AUTOMATIZACIÓN.

Coito, T.; Firme, B.; Martins, M.S.E.; Vieira, S.M.; Figueiredo, J.; Sousa, J.M.C. *Intelligent Sensors for Real-Time Decision-Making. Automation* 2021, 2, 62–82.

3.13.1. Objetivos

Mejorar la toma de decisiones de una herramienta de programación dinámica utilizando una combinación de plataformas PLC y PC en una arquitectura de tres niveles.

3.13.2. Conceptos relevantes

- **Sensores Inteligentes para la toma de decisiones:** Para explicar este punto el documento detalla una aplicación de sensores inteligentes en un problema industrial de toma de decisiones en tiempo real, el cual consiste en utilizar sensores de identificación automática para activar y mejorar la toma de decisiones de la programación dinámica de tareas en los laboratorios de control de calidad.

3.13.3. Muestra

La plataforma propuesta se aplica a un caso de uso industrial en laboratorios analíticos de control de calidad, dado su complejidad regulatoria, la producción personalizada y los requisitos de trazabilidad.

3.13.4. Resultados

Se muestra como la integración de sensores inteligentes puede mejorar la programación en línea de tareas, disminuyendo los tiempos de procesamiento en el caso aplicado en más del 30 %.

3.14. DIGITAL TWIN PARA ROBOTS FANUC: PROGRAMACIÓN DE ROBOTS INDUSTRIALES Y SIMULACIÓN USANDO REALIDAD VIRTUAL.

Garg, G.; Kuts, V.; Anbarjafari, G. *Digital Twin for FANUC Robots: Industrial Robot Programming and Simulation Using Virtual Reality*. Sustainability 2021, 13, 10336. <https://doi.org/10.3390/su131810336>

3.14.1. Introducción

Los programas de simulación para robots desarrollados en entornos “offline” o fuera de línea presentan problemas, carecen de precisión y esto significa una sobrecarga de trabajo y tiempo. Ante estas limitaciones se propone la implementación de un “Digital Twin”, concepto que consiste en la creación de una réplica digital de modelos físicos, es decir realizar la simulación de los movimientos de un robot a través de la realidad virtual y cuya salida sea la programación de la trayectoria que seguirá el robot.

Sin embargo, estos modelos “Digital Twin” requieren un entorno 3D adecuado el cual le permita simular dichas trayectorias, para ello se ha implementado el uso de motores de juegos los cuales han demostrado gran calidad en la visualización de gráficos además de presentar una ventaja en la generación de datos sintéticos, lo cuales por ejemplo ayudan a una inteligencia artificial a comprender mejor el entorno aún bajo diferentes intensidades de iluminación en un entorno físico.

Contribución:

- La contribución clave del trabajo es el desarrollo de un modelo Digital Twin el cual permite simular y de esta manera identificar los puntos de la trayectoria que seguirá un robot, siendo estos datos almacenados en el mismo a través de una configuración de comunicación en tiempo real.
- La facilidad con la que se puede programar al robot, siendo los participantes los que consideraron en un rango de 0 a 10, donde 10 es muy difícil de programar, un valor de 3 para el modelo desarrollado.
- Para el intercambio/control de datos se desarrolló una comunicación a través de plataformas Do net a Karel.

3.14.2. Metodología

El modelo desarrollado consta de dos componentes, el primero es el robot FANUC y el segundo componente es el controlador de realidad virtual (RV), específicamente el dispositivo HTC Vive VR.

• Robot:

Se utiliza el robot FANUC M-10Ia/12 como guía para las pruebas. Es un brazo hueco, que tiene múltiples ventajas, como proteger los cables, lo que hace que no se desgasten por lo tanto los costes de mantenimiento se reducen, otra de los aspectos positivos de este diseño es el aumento de la productividad, debido que se permite controlar la velocidad al momento de operar, acelerando así el proceso y reduciendo los tiempos del ciclo.

• Dispositivo RV:

Para este ensamble se necesita un dispositivo de realidad virtual. HTC Vive es un dispositivo de RV que se usa para observar el entorno de manera virtual, el cual se da digitalmente. En esta investigación se utilizó Unity platform, se usó este dispositivo porque se contaba con disponibilidad, sin embargo, se puede utilizar cualquiera que permita proyectar el entorno virtual.

Se considera crucial los componentes principales en un dispositivo de RV:

- (i) Una unidad central de dispositivo montado en la cabeza (HDM), el cual permite someterse a una vista digital en entorno real.
- (ii) Mandos de mano: Las manos actúan como las de un humano, y permite realizar acciones en el entorno de la realidad virtual.

3.14.3. Marco Propuesto

Ahora mostramos la arquitectura para la creación de un modelo gemelo, el cual consta de dos secciones, la física y la digital. Esta investigación se centra en la sección digital, debido a que es necesario para la creación de un Digital Twin para la industria de la robótica.

A continuación, se explicarán los seis pasos para el diseño de un gemelo digital

- (iii) Se crea un modelo digital para que un robot controle el RP.
- (iv) Seguidamente, se tiene brindar una interfaz de realidad virtual mediante el uso de un dispositivo y por medio de la plataforma Unity, utilizando el paquete OpenVR, el cual comprueba el movimiento del robot, tanto el digital como el de realidad virtual.
- (v) El controlador de realidad virtual se desplaza en un entorno digital, el cual da valor de posición para la circulación del brazo robótico, el cual se transmite por la plataforma Unity, para determinar la cinemática inversa, este a su vez origina ángulos de las articulaciones individuales para establecer la posición adecuada por el controlador de RV.
- (vi) Con el apoyo de la mensajería de socket, el cual es un canal de comunicación cliente-servidor desarrollado en este trabajo entre un modelo digital y un modelo físico, teniendo los valores de los ángulos de articulaciones, estos deben ser reportados al modelo físico para que centre en la posición adecuada por el controlador de realidad virtual.
- (vii) El código para generar la comunicación del modelo digital y el modelo físico, y además replicar el desplazamiento de la realidad virtual, el cual se realiza en la programación KAREL, el cual es compatible con el modelo físico del robot FANUC.
- (viii) Con la asistencia de la cinemática directa (FK), el cual convierte los valores de los ángulos en datos de posición en un entorno 3D, seguidamente estos datos se desplazan al modelo físico.

• Creación del modelo digital:

El modelo físico permite la réplica del modelo digital. En primer lugar, a partir del modelo físico se crea un dibujo 3D, conocido como CAD model.

Este archivo brinda detalle de las medidas de los eslabones del robot y la posición entre estos. En este trabajo experimental, se necesita proyectar el modelo CAD en un motor de juegos, sin embargo, no puede realizarse directamente, por ello se emplea el uso de un software de gráficos llamado Blender, para añadir detalles extras en el CAD model.

• Renderizado CAD en software de infografía:

En el software blender se define la relación padre-hijo, en el cual el padre es la base y los enlaces consecutivos son los hijos, este software es compatible con el formato stl que es exportado del archivo CAD. Además, debe detallarse el punto de pivote de cada escalón, el cual es un punto que define el movimiento. Entonces la relación padre-hijo detalla el desplazamiento de los eslabones, y el punto de pivote, creando así el modelo completo, este se exporta desde el software blender en formato film box, y cualquier posición se corrige mediante este software.

• Importar un modelo 3D en Unity:

Teniendo el formato film box, está listo para el scripting y la animación en la plataforma Unity, en el cual se añaden algunos componentes extras al robot digital, como el banco de componentes, el plano de tierra, el banco de robot y el robot. En este entorno debe replicarse el modelo real del robot.

• Cinemática inversa (IK) para el modelo digital:

En este trabajo experimental se ha usado seis escalones para el brazo robótico, toda estructura mecánica requiere de un algoritmo que determine los ángulos de las articulaciones para definirse en el espacio 3D, esto se hace mediante la cinemática inversa. La tener los valores de los ángulos de articulaciones se utilizó el paquete BiolK de Unity Asset, el cual es un paquete que brinda soluciones dinámicas.

• Matriz de transformación entre Unity y Robot Físico (PR):

Es importante tener en cuenta el sistema de coordenadas, para la correcta imitación del movimiento de un modelo físico con su modelo digital. El robot en estudio, FANU, tiene diversas orientaciones donde Z apunta hacia arriba, Y hacia la derecha y X hacia el circunstante.

• Canal de comunicación:

Ya establecido el modelo digital en el motor de juego, a continuación, se elige un canal para la comunicación entre el modelo digital y el físico.

En este trabajo se utiliza el compilador de lenguaje de programación KAREL, en el cual se tiene un canal de mensajería socket, indispensable tanto para el cliente como el servidor con diversas funciones personalizadas para la programación de los movimientos.

• Interfaz de realidad virtual (RV):

Este concepto ya se viene desarrollando hace muchos años, la investigación a permitido el uso de esta tecnología en las diferentes industrias, la manufacturera es una de ellas. Con este trabajo, se integra la realidad virtual con un robot industrial, con el fin de hacer más simple la programación y el manejo de las acciones robóticas. Sin embargo, se requiere operadores con experiencia, por ello la configuración en la plataforma Unity, brinda una manera simplificada de programar el desplazamiento requerido. En esta investigación, también se utiliza HTC Vive para la interacción con el robot, para ello se utiliza el modelo digital en un entorno virtual en la plataforma Unity.

3.14.4. Resultados

- Se reportó una mejora considerable del tiempo de transferencia de los datos entre el modelo digital y el PR (Physical robot), de 150 ms a 40 ms
- Luego de observar la trayectoria y el desplazamiento del ángulo de la articulación, se compara los valores del movimiento de la articulación digital y el modelo físico, en el cual se usó algoritmos de IK y FK, podemos decir que hay diferencia en los movimientos articulares comandados y ejecutados, y que el error en cada articulación varía dentro de los límites permitidos, lo cual nos permite decir que el valor de error es realmente bajo con respecto a los robots industriales.

3.14.5. Discusión

Se presentan algunas ventajas para el uso de la realidad virtual en la programación de un robot.

- La experimentación de este trabajo, permiten generalizar todo el proceso de implementación para cualquier robot FANUC. El modelo de Gemelo digital hace más fácil la programación de un robot FANUC, incluso favorece para los usuarios novatos.
- El modelo digital Twin presenta diversas aplicaciones, que permite la utilización en un entorno de realidad virtual
- Se aprovecha la capacidad de un entorno virtual para generar una trayectoria de desplazamiento en espacios no permitidos y así simular la factibilidad de la instalación en un

sistema físico, esto es una ventaja, debido que para las fábricas el saber el espacio requerido para una nueva instalación siempre es un reto.

3.14.6. Conclusiones

- Se creó un modelo Digital Twin con éxito de un robot industrial, al integrar la realidad virtual en un entorno digital, se observó los programas de trayectoria del robot, el cual son más fáciles de perseguir que en un modelo físico.
- Se logró una fácil programación, el entorno de la realidad virtual es más simple a comparación de otras programaciones disponibles, además se logró la comunicación entre diferentes plataformas como Karel.

3.15. MANIPULACIÓN DIRIGIDA DE ARQUITECTURA MÓVIL DE BRAZOS DUALES PARA MOVER GRANDES OBJETOS EN AMBIENTES INDUSTRIALES

Ibarguren, A.; Daelman, P. *Path Driven Dual Arm Mobile Co-Manipulation Architecture for Large Part Manipulation in Industrial Environments*. *Sensors* 2021, 21, 6620. <https://doi.org/10.3390/s21196620>

3.15.1. Introducción

Los sectores industriales, en el desarrollo de los procesos implicados en sus áreas emplean diversas aplicaciones, entre ellas, el transporte en la variedad de piezas de diversos tamaños que se requiere, de este modo, en este artículo se implementa una tecnología de la robótica colaborativa, una nueva solución para resolver problemas de implementación en entornos industriales, trayendo consigo desafíos técnicos (force feedback, áreas colaborativas) y beneficios en un transporte de piezas de grandes tamaños a nivel global, mediante la fabricación de carriles colaborativos. Además, el referirse a la colaboración humano-robot en el transporte colaborativo de piezas, es hablar del dinamismo del robot fomentando una producción flexible, transporte de cargas pesadas de manera óptima, manipulación conjunta, tomándose en cuenta diversos parámetros de control como, algoritmos, retroalimentación, la fuerza controlada, desplazamiento acorde de operario-robot en las tareas realizadas, trayectorias y guías pre establecidas, limitaciones en espacios de trabajo y principalmente, parámetros de control, permitiendo áreas seguras en los talleres industriales.

3.15.2. Metodología

Esta arquitectura se da mediante cuatro capas, el cual garantiza el control en su totalidad. La primera capa, de gestión de fuerzas, considera la información de las fuerzas aplicadas a cada brazo del robot mediante sensores, también las masas de las herramientas, generando el vector de torsión, este definirá los rangos de fuerza y par en el que se movilizará el robot en el transporte de las piezas ya sea de manera rápida o lenta, entre estaciones dentro del taller, para un posicionamiento preciso o en las diferentes zonas de carga. La segunda capa, de filtro de media móvil, aplicará al vector anterior la fluida navegación garantizada de la plataforma, sin embargo, la capa de gestión de rutas, limitará la trayectoria y la distancia máxima del robot con muros virtuales en situaciones que se quiera transgredir los límites del carril, caso contrario la plataforma móvil desempeña sus funciones libremente. Para la última capa, de gestión de la interfaz de usuario, responsable de la retroalimentación mediante dos señales, la primera de dirección de movimiento, mediante el vector de giro, y la última, dirección a la siguiente postura del camino, a cargo del vector de dirección. Dichas señales realimentan la comanipulación con el usuario.

De tal manera, en la plataforma móvil omnidireccional de doble brazo creada para realizar las tareas de manipulación se implementa la arquitectura mencionada anteriormente. Dicha plataforma móvil equipada por el siguiente hardware, luces led de dirección de movimiento, ruedas para el desplazamiento, brazos robóticos compuestas de sensores de torsión para brindar información de fuerza e intercambiadores automáticos de herramientas el cual permitirá sujetar diversas piezas, proyector para mostrar anticipadamente la dirección del siguiente tramo a

desplazar. Respecto al software, la instalación de una PC ubicada en la parte interna de la plataforma, servirá para la manipulación de las cuatro capas, además de una interfaz que servirá de conducción del sistema, desencadenar y finalmente, la cancelación de la realización de la comanipulación móvil ante cualquier situación.

Implementada la arquitectura para la plataforma móvil la cual fue evaluada mediante ciertas pruebas de transporte de pieza de fibra de carbono entre estaciones diferentes dentro de un taller industrial, a 10 m de distancia entre estos, teniendo como actores a 5 operarios, que no cuentan con conocimientos sobre el tramo definido y desempeñan la función de transporte que se menciona. Tras una serie de resultados experimentados y agrupados por distancias se concluye que en una máxima distancia los operarios transportaron en menor tiempo y con la comodidad necesaria la pieza.

3.15.3. Conclusiones

Finalmente, se destaca la comanipulación móvil como una novedosa e idónea arquitectura, garantizando la seguridad del transporte de grandes piezas de fibra de carbono en el espacio de trabajo mediante acciones correctivas programadas ante cualquier situación anormal del desarrollo del robot y la retroalimentación, además en base a una configuración de diversos algoritmos facilitan el óptimo desempeño de la plataforma móvil omnidireccional de doble brazo. Incluso la flecha de proyección agregada ayuda al operador a acercarse a la ruta nominal, incluso si hay un carril ancho para el coprocesamiento. Del mismo modo, en base a la experimentación existe posibilidad de reajuste manual de los algoritmos. Por tanto, la información obtenida de la ejecución de las tareas hechas por el robot es un indicador de aprovechamiento complementando con Inteligencia Artificial brindaría un crecimiento en la eficiencia de los procesos de comanipulación entre humanos y robots.

4. Referencias bibliográficas.

- Kolakowski, M. *Automated Calibration of RSS Fingerprinting Based Systems Using a Mobile Robot and Machine Learning*. Sensors 2021, 21, 6270. <https://doi.org/10.3390/s21186270>
- Muthugala, M.A.V.J.; Palanisamy, P.; Samarakoon, S.M.B.P.; Padmanabha, S.G.A.; Elara, M.R.; Terntzer, D.N. *Raptor: A Design of a Drain Inspection Robot*. Sensors 2021, 21, 5742. <https://doi.org/10.3390/s21175742>
- Zurita Pérez, José Luis (2014). *Diseño de una máquina automática para clasificar objetos según el color detectado a través de sensores de color y clasificados por brazos robóticos*. Departamento de Eléctrica y Electrónica. Carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación. ESPE. Extensión Latacunga.
- Fonnegra, R.; Goez, G.; Tobón, A. (2019). *Estimación de orientación de un vehículo aéreo no pilotado con sensores inerciales y aprendizaje de máquina*. Revista Iberoamericana de Automática e Informática. 16(4):415-422. <https://doi.org/10.4995/riai.2019.11286>
- Sánchez, I., & Martell, F. (2019). *Automatización multinivel de celda de manufactura robotizada utilizando máquinas de estados finitos*. Revista Ingeniería, investigación y tecnología, 40-52.
- Gordón, M., Gordón, D., & Revelo, R. (2021). *Corte por láser con Raspberry Pi para el trazado en los talleres de carpintería*. Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores. , 21-40.
- Soares, I., Prety, M., & Moreira, P. (2021). *Programming Robots by Demonstration Using Augmented Reality*. Sensors, 21-34.
- Kalempa, V.C.; Piardi, L.; Limeira, M.; de Oliveira, A.S. *Multi-Robot Preemptive Task Scheduling with Fault Recovery: A Novel Approach to Automatic Logistics of Smart Factories*. Sensors 2021, 21, 6536. <https://doi.org/10.3390/s21196536>

- Zhang, H.; Liang, H.; Ni, T.; Huang, L.; Yang, J. *Research on Multi-Object Sorting System Based on Deep Learning*. *Sensors* 2021, 21, 6238. <https://doi.org/10.3390/s21186238>
- Cech, M.; Beltman, A.-J.; Ozols, K. X. *Aplicaciones Al Límite De Mecatrónica A Través Del Control De Movimiento Inteligente*. *Appl. Sci.* 2021, 11, 8337. <https://doi.org/10.3390/app11188337>
- Arents, J.; Abolins, V.; Judvaitis, J.; Vismanis, O.; Oraby, A.; Ozols, K. “*Tendencias entre la colaboracion entre Humanos-Robots y aspectos de seguridad: Una revisión sistemática*” *J. Sens. Actuator Netw.* 2021, 10, 48. <https://doi.org/10.3390/jsan10030048>
- Cirillo, A.; Laudante, G.; Pirozzi, S. “*Proximity Sensor for Thin Wire Recognition and Manipulation*”. *Machines* 2021, 9, 188.
- Coito, T.; Firme, B.; Martins, M.S.E.; Vieira, S.M.; Figueiredo, J.; Sousa, J.M.C. *Intelligent Sensors for Real-Time Decision-Making*. *Automation* 2021, 2, 62–82.
- Garg, G.; Kuts, V.; Anbarjafari, G. *Digital Twin for FANUC Robots: Industrial Robot Programming and Simulation Using Virtual Reality*. *Sustainability* 2021, 13, 10336. <https://doi.org/10.3390/su131810336>
- Ibarguren, A.; Daelman, P. *Path Driven Dual Arm Mobile Co-Manipulation Architecture for Large Part Manipulation in Industrial Environments*. *Sensors* 2021, 21, 6620. <https://doi.org/10.3390/s21196620>