

Multi-Trajectory Guided And Collaborative Kinematic Control System By Perception And Learning Of Trajectories Obtained By Artificial Vision Of The Movements Of The Upper Limbs Of The Human Being For Tecnoacademia Cúcuta Of Sena-Nds

*Sistema De Control Cinemático Guiado Y Colaborativo Multi-Trajectory Por Percepción Y Aprendizaje De
Traectorias Obtenidas Por Visión Artificial De Los Movimientos De Las Extremidades Superiores Del Ser Humano
Para Tecnoacademia Cúcuta Del Sena-Nds*

Camilo López Santiago^{1*} 
SENA, SENNOVA

Ing. Ricardo José Cortés Pabón¹ 
SENA, SENNOVA

MSc. Oscar Manuel Duque Suarez² 
SENA, SENNOVA

1

¹ SENA, SENNOVA, Tecnoacademia Cúcuta, Cúcuta, Regional Norte de Santander

² SENA, SENNOVA, Tecnoacademia Cúcuta, Cúcuta, Regional Norte de Santander, CEDRUM, (57+7) 57 7 578 3286. E-mail: oduques@sena.edu.co

RESUMEN

Este es un proyecto "Fase 2" donde su objetivo es repotenciar, reestructurar y reformar un prototipo robótico. Logrando la capacidad de modelar las extremidades superiores del ser humano en una colaboración entre control cinemático y visión artificial empleando trabajo guiado y colaborativo para función multi-trayectoria.

Con propósito de aumentar el alcance de este, se estudiará modelos de robótica colaborativa, visión artificial aplicada a percepción de entorno, interacción humano-maquina y trabajo multi-trayectoria aplicada en robótica, con el fin de implementar en la "fase 2" una repotenciación en el ámbito mecánico, estético, visual e instrumental para obtener mejoras en la comunicación, velocidad de respuesta, trabajo coordinado, capacidad de aprendizaje y visualización del operador. Junto con la repotenciación, se diseñará un sistema capaz de realizar aprendizaje, compilación, selección y ejecución de múltiples trayectorias unitarias.

PALABRAS CLAVE: biopolímero, almidón, biodegradabilidad, subproductos y residuos

ABSTRACT

This work This is a "Phase 2" project where your objective is to repower, restructure and reform a robotic prototype. Achieving the ability to model the upper extremities of the human being in a collaboration between kinematic control and artificial vision using guided and collaborative work for multi-trajectory function. In order to increase the scope of this, collaborative robotics models, artificial vision applied to the perception of the environment, human-machine interaction and multi-trajectory work applied in robotics will be studied, in order to implement a repowering in "phase 2" in the mechanical, aesthetic, visual and instrumental fields to obtain improvements in communication, response speed, coordinated work, learning capacity and operator visualization. Along with repowering, a system capable of learning, compiling,

KEYWORDS: biopolymer, starch, biodegradability, by-products and waste

INTRODUCCIÓN

La necesidad repotenciar el prototipo titulado desarrollo de un sistema de control cinemático guiado y colaborativo mediante percepción y aprendizaje de trayectorias obtenidas por visión artificial de los movimientos de las extremidades superiores del ser humano para TECNOACADEMIA CÚCUTA del SENA-NDS con el fin de seguir avanzando en la investigación y la incursión de tecnologías como la industria 4.0.

El robot contempla cambios en muchos aspectos, pero enfocado en mantener la esencia de su primera fase. Se sigue manejando el control guiado y colaborativo con la implementación de elementos que facilitarían su ejecución, El proyecto cumple con el objetivo principal de la aplicación multi-trayectoria y el propósito de asignarle una tarea específica.

La interacción usuario - maquina evoluciona manejando solo la comunicación con el Kinect, dejando de lado el impedimento de realizar los trabajos de detección frente al prototipo y creando la posibilidad de un manejo más autónomo y remoto.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Robot

Como dice Weik, un robot es un dispositivo mecánico que se encarga de realizar tareas específicas de manera automática (mediante programación) o manuales (remotamente).

Lo anterior se complementa con dos características que lo diferencian de otros automatismos.

Multifuncionalidad: Es la capacidad de adaptarse a un entorno que requieren tareas diferentes a las previstas.

Programabilidad: Es la capacidad de aceptar cambios en su programa.

Cabe destacar que cada robot posee en diferentes escalas, autonomía y auto planificación. El primero deriva de que tanto se necesita de un operador para cumplir la tarea. La segunda, de la retroalimentación realizada por los sensores en conjunto con el programa almacenado, para la toma de decisiones.

1.2. Robótica

Macchiavello la define como:

“La robótica es una ciencia o rama de la tecnología, que estudia el diseño y construcción de máquinas capaces de desempeñar tareas realizadas por el ser humano o que requieren del uso de inteligencia. Las ciencias y tecnologías de las que deriva podrían ser: el álgebra, los autómatas programables, las máquinas de estados, la mecánica o la informática”.

De la definición anterior se puede decir que la robótica se encarga de automatizar sistemas con cierto grado de inteligencia, que asistan o sustituyan al hombre para realizar un conjunto de funciones.

Es muy común encontrar una definición acuñada por Isaac Asimov la cual dice: “La robótica es la ciencia que estudia los robots”. La diferencia de una o la otra radica en que la segunda resume máquina con inteligencia en robot.

1.3. Robótica colaborativa

La empresa Atria Innovation define un robot

colaborativo como, “Los robots colaborativos son equipos diseñados para interactuar físicamente con las personas en un entorno laboral, pudiendo compartir un espacio colaborativo, de forma que se facilitan las labores de trabajo y comunicación entre robots y humanos”.

De tal manera aquí nace el concepto de cobot (“colaboración” + “robot”), los cuales con los avances que ha ido presentando la automatización y la industria 4.0 se han ido propagando significativamente en las industrias.

A diferencia del robot convencional la presencia humana es el factor predominante, lo cual la seguridad de este es un factor que se ve aumentado considerablemente.

Existen normas de seguridad como:

- ISO 8373
- ISO 10218-2
- ISO/TS 15066

En el artículo de Vicentini, se hace un resumen de las normas, enunciando lo más importante de cada una.

- Parada supervisada con clasificación de seguridad: El sistema detecta cuando un trabajador ingresa en el espacio del trabajo colaborativo y debe detener el movimiento del robot. El robot debe mantenerse en una posición de monitoreo hasta que no esté presente el trabajador. Cuando el trabajador salga del espacio de colaborativo, el robot puede volver a funcionar automáticamente y a la velocidad máxima permitida.

- Guiado Manual: El movimiento del robot permite ser controlado manualmente por el operador, cuando se active manualmente a través de un dispositivo de guía, cercano al efector final. El dispositivo de guiado debe estar equipado con ciertas características designadas y debe tener instalada la función de parada supervisada con clasificación de

seguridad.

- **Monitoreo de velocidad y separación:** El movimiento del robot se permite si y solo si la distancia entre el operador y el robot está por encima de la separación mínima segura determinada para la aplicación. A su vez se tiene en cuenta la velocidad y movimientos tanto del operador como el robot. Según criterio el movimiento del robot puede no detenerse, pero debe reducirlo a una velocidad segura que no afecte la integridad del operador.

- **Limitación de fuerza y potencia:** El trabajador está autorizado de tener contacto con el robot si y solo si el robot está limitado a ejercer una fuerza o torque que no causen alguna lesión al trabajador. Es de suma importancia un estudio profundo de esta área cuando se obtienen pocos o no hay valores que permitan establecer los valores de fuerza o torque adecuados para el diseño.

El artículo TIREBOT: A collaborative robot for the tire workshop , en donde se diseña un robot, asistente denominado TIREBOT, el cual su objetivo es colaborar a los operadores de talleres en neumáticos remplazando ruedas, se denota la capacidad de integrar un robot que posee los siguientes aspectos:

- Trabaja de forma autónoma
- Reconoce a los usuarios
- Recibe órdenes a través de gestos
- Es capaz de teleoperarse hepáticamente, es decir mediante tacto y sensaciones.

Un artículo el cual investiga sobre la fabricación aditiva, utilizando técnicas de colaboración denominado Research on large-scale additive manufacturing based on multi-robot collaboration technology, es decir la impresión a 3D a gran escala mediante la colaboración entre robots, enfoca la importancia de elegir bien el área del trabajo de robots. A su vez se propone:

- Un método para la asignación del área del trabajo del robot, que mejora el trabajo al momento de imprimir piezas de gran complejidad.

- Un algoritmo robusto que asigna la impresión según el tiempo.
- La segmentación entre la impresión y la planificación de tal manera que no interfiera un proceso de otro.

1.4. Visión artificial

El artículo, aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales, define la visión artificial, “Como un campo de la “Inteligencia Artificial” que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes digitales”.

Se denota que, dentro del concepto de visión artificial, se incluye todo tipo de aplicaciones tanto industriales como académicas-educativas, donde se diferencian en las limitaciones que bridan cada una. Su objetivo es combinar hardware y software para que sirvan de guía operativa, lo cual, mediante un procesamiento y análisis, se pueden tomar diferentes decisiones.

Con la visión artificial se puede:

- Automatizar tareas repetitivas de inspección realizadas por operadores.
- Realizar controles de calidad de productos que no era posible verificar por métodos tradicionales.
- Realizar inspecciones de objetos sin contacto físico.
- Realizar la inspección del 100% de la producción (calidad total) a gran velocidad.
- Reducir el tiempo de ciclo en procesos automatizados.
- Realizar inspecciones en procesos donde existe diversidad de piezas con cambios frecuentes de producción.

En el mercado actual dependiendo de la necesidad es posible conseguir sistemas de visión que requieran un procesamiento por

separado o aquel que venga integrado con procesamiento y sensor. Según la empresa Techman Robot Inc. hay que tener tres criterios para la elección:

- Precio: si obtiene una cámara con un procesador de última generación que genera imágenes de alta resolución, el costo incrementara exageradamente. Además de eso, necesitarás sincronizar tanto la cámara como el procesador. Por ende, es necesario investigar bien y tener claro el presupuesto.

- La necesidad de procesamiento de imágenes: las cámaras independientes no integradas necesitan un procesador para analizar las imágenes recopiladas. Puede, por ejemplo, conectar esta cámara a su PC y dejar que la computadora procese las fotos por usted. Por otro lado, las cámaras inteligentes tienen bibliotecas de software integradas que realizan el procesamiento básico de imágenes.

- Experiencia en programación: programar una cámara inteligente puede ser muy sencillo. Algunas cámaras inteligentes tienen una interfaz en línea que le permite conectar la cámara a un dispositivo configurando la configuración de IP. Otros contienen una función de visión incorporada que puede configurar rápidamente. Las cámaras independientes no integradas, por otro lado, necesitan un programa o software adicional que le permita analizar imágenes.

Ventajas De La Visión Artificial

Debido a que la visión artificial, tiene cualidades de velocidad, precisión y repetibilidad, presenta ventajas principales al momento de implementarla en una industria. Algunas de ellas que se destacan:

- Fiabilidad: Los ordenadores y las cámaras no tienen agotamiento, lo cual permite que mantenga su eficiencia y no depender de factores externos humanos.

- Exactitud: La precisión en el producto final

depende de la precisión que se genere en el procesamiento de la imagen.

- Variedad de campos de uso: Es posible utilizar el mismo sistema para diferentes actividades.

- Reducción de tiempo y costo: Reduce tiempos en los procesos y costos en contratación y capacitación de personal.

Desventajas De La Visión Artificial

- Requiere profesional calificado: Es necesario un profesional que sepa cómo funcionan los dispositivos y aproveche el máximo que pueda ofrecer la visión por computadora. Otro aspecto importante es que tenga conocimiento sobre su mantenimiento.

- No avisa un futuro fallo: No anticipa algún problema futuro. Lo cual, en esto, el factor humano resalta.

- Posibles problemas de software: Al fallar el software, de por sí, el sistema de visión falla, lo cual las funciones del dispositivo desaparecen y podría acarrear, problemas de producción y ralentizar tareas propuestas.

El artículo Internet de las Cosas y Visión Artificial, Funcionamiento y Aplicaciones: Revisión de Literatura (Internet of Things and Artificial Vision, Performance and Applications: Literature Review) , hace una reflexión, sobre el cambio e incremento que está sucediendo en el ámbito tecnológico de todas las áreas, a tal grado que la visión artificial poco a poco se convierte en una herramienta la cual busca brindar confort e integración del ser humano con los beneficios que puede brindar esta.

1.5. Visión + Cobots

Los cobots podrían trabajar más rápido y ser más productivos. Pero están limitados debido a los estándares de seguridad en la industria manufacturera lo cual son obligados

a trabajar con una potencia inferior. Aunque están diseñados para una colaboración segura con los trabajadores humanos, los efectores finales y la carga útil más pequeños pueden seguir siendo perjudiciales.

La visión por computadora utiliza técnicas de reconocimiento de patrones y de aprendizaje para dar sentido a las imágenes de vídeo. Es la inteligencia debajo del sistema de visión del cobot. Con la entrada correcta de cámaras y otros sensores, estos sistemas autónomos pueden ver y ser completamente conscientes del entorno.

Tal como lo demuestra la empresa Veo Robotics, la cual desarrolla sistemas de detección 3D, mediante cámaras de profundidad 3D y algoritmos necesarios para que los cobots puedan tomar decisiones que permitan trabajar con humanos.

En el artículo Automating Active Stereo Vision Calibration Process with Cobots, el cual mediante la utilización de cobots y la integración de visión se acelera la tasa y mejora la calidad de la calibración. Demuestra lo anterior comparándolo en como lo haría un humano y llega a la conclusión que es tres veces más rápido y la calidad aumenta un 120%.

2. ESTUDIO DE LIMITACIONES DEL PROTOTIPO EN SU FASE 1

2.1. Características que no presentan cambios.

Al realizar el respectivo análisis del prototipo se mantuvieron elementos y características esenciales para el funcionamiento del robot capaz de no afectar en su proceso y ser de aprovechamiento al momento de realizar la nueva versión de este prototipo, entre las cuales se encuentran:

- La utilización del Kinect como elemento de percepción y obtención de trayectoria.

- El funcionamiento en dos modos de operación (Modo Guiado – Modo control).
- Articulaciones sin repotenciación (1 – 3 – 5 – 6).

2.2. Características que presentan repotenciación en su funcionamiento.

Estas características fueron detectadas ya que en su funcionalidad presentaban limitaciones y su operatividad era reducida, debido a esto se decidió realizar mejoras, capaces de realizar un cambio significativo en todo el prototipo.

- Resolución de pantalla de operación en PC y cambio de interfaz.
- Repotenciación y reestructuración en articulaciones (2 – 4).
- Obtención de posiciones iniciales y finales de la trayectoria al momento de percepción.
- Estudio de diseño de eslabones, manera de acople y rigidez.
- Accionamiento del efector final por percepción.
- Reformación de la sección torácica, implementando ergonomía, compactación y estética.
- Fluidez en la realización de trayectorias.
- Eliminación de comunicaciones via USB entre el PC y el prototipo.
- IOT (industria 4.0).

2.3. Características adicionales implementadas.

Adicional, se implementaron nuevos elementos al prototipo generándole aumentar su autonomía y generando más posibilidades en cuanto a mejoras.

- Implementación de pantalla remota en el prototipo para la selección de trayectoria junto con una interfaz HMI.

- Implementación de tarjetas de adquisición de datos (Raspberry) y comunicación con arduino.
- MULTI-TRAYECTORIA.
- Base de datos compartida entre PC (HOST) y la Raspberry (Remota) en manera de nube.
- Autonomía del prototipo respecto a manejo remoto.

3. ESTUDIO DE DISEÑO APLICADO AL MANIPULADOR.

3.1. El Proceso

Se realizó siguiendo el orden de Detección y análisis de fallas, estructuración del problema, posibles soluciones, repotenciación, reestructuración y rediseño. Logrando crear una sinergia entre todas estas características.

Se detecto en la prueba de funcionamiento que el prototipo 1.0 presentaba limitaciones para realizar de manera fluida y completa las trayectorias propuestas, debido a esto se procedió a indagar y analizar de manera detallada el funcionamiento operacional de cada articulación, esto concluyo en que ciertas articulaciones presentaban sobrecarga impidiéndoles ser funcionales.

Una vez detectado el problema, se procedió a analizar por qué presentaba este error de funcionamiento, lo cual llevaba a realizar un análisis a los actuadores implicados, y se observó en estudios de operatividad aplicados a esta referencia de servos, que no cuentan con una curva de comportamiento en su hoja de datos y que presentan un modo de seguridad el cual cuida a los motores limitando su trabajo. De este estudio realizado por (Hashim, A; Gramescu, B; Cartal, A; 2020) titulado MODELING AND IDENTIFICATION OF A HIGH-RESOLUTION SERVO, FOR MOBILE ROBOTICS, se obtuvo las posibles fallas presentadas y porque sucedían, y que el comportamiento de

estos servos varía entre ellos.

Teniendo detectada la falla y la causa que la genera, se procedió a estudiar y proponer distintas soluciones con el propósito de mejorar el manipulador, lo cual llevo a los siguientes planteamientos.

Los actuadores (motores) están dotados de estructuras de control PID para el cumplimiento de las posiciones articulares, para ello se estudio la configuración PID de trabajos como el de Alvarado y Numpaque, 2014.

Tabla 1. Estudio y selección de repotenciación.
Fuente: los autores

	Pro	Contra
- material = torque	Economía	Fracturas y quiebres en los eslabones
+ torque = #servos	Mismo diseño	Nueva selección, compatibilidad, comunicación.
+ #servos + torque	Compatibilidad, comunicación, stock tecnoacademia.	Nuevo diseño, Mayor peso, costo de producción.

Después de analizar las posibles opciones, se optó por la opción que proporciona mayor número de servos para aumentar el torque, dando inicio a la detección de las articulaciones que iba a recibir el estudio para obtener una repotenciación y una reestructuración.

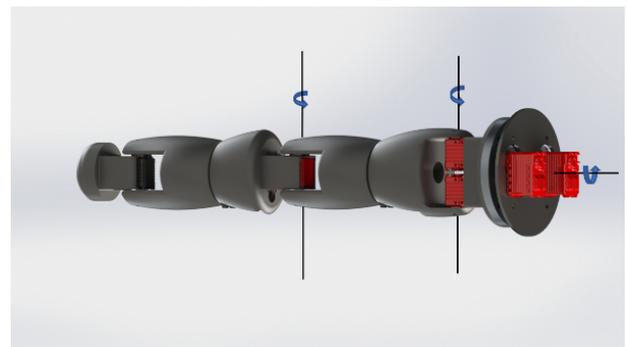


Figura 1. articulaciones con fallo. Fuente: los autores

De 3 articulaciones que se detectaron, 2

fueron las que recibieron la repotenciación, siendo la articulación 2 y la articulación 4 las que presentaban mayor complejidad al realizar su funcionamiento.

El proceso de repotenciación y reestructuración llevo lugar al aumento de la cantidad de servos y a su localización y distribución de estos, el cual debía generar sincronía entre ellos.

La etapa de rediseño, debía presentar un manipulador más llamativo pero que al mismo tiempo la distribución de pesos fuera la mejor para minorizar el impacto que proporcionaba agregar más servos a la estructura.

Logrando así que se presentara tras un estudio de diseño un manipulador capaz de garantizar las necesidades mencionadas en la etapa de propuesta, cumpliendo con el torque requerido y funcionalidad, pero que también cuenta con un diseño que obtuvo mayor aceptación al público destacándolo también en el aspecto estético.

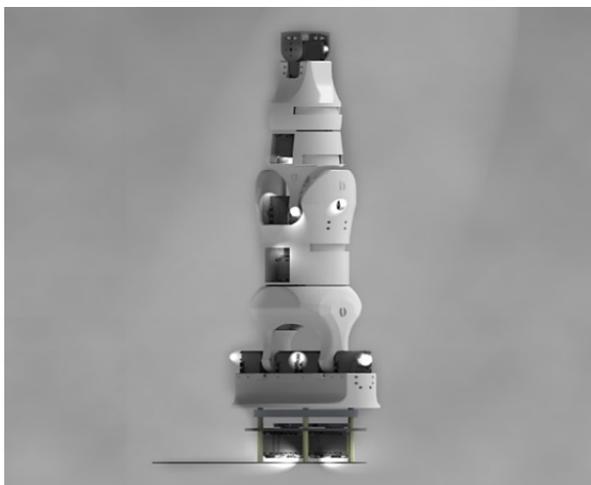


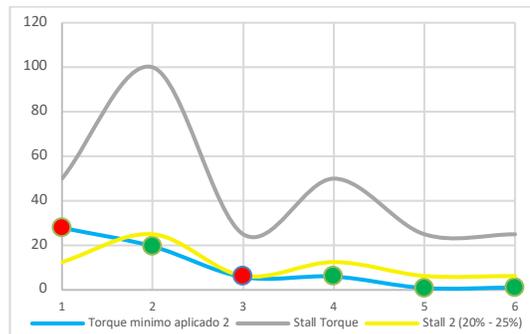
Figura 2. diseño final. Fuente: los autores

3.2. Resultados

- Fluidez
- Velocidad
- Destreza

En el prototipo 2.0 se logró destacar 3 objetivos que eran fundamentales en el

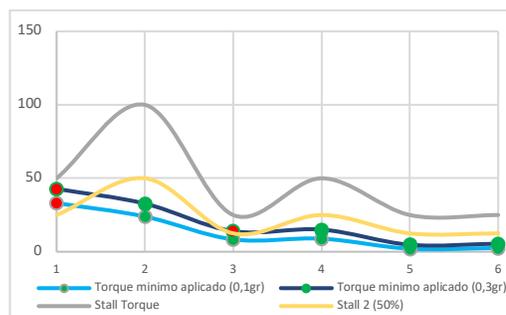
planteamiento del proyecto, siendo una la capacidad de mantener la fluidez del movimiento en el transcurso de su trayectoria.



Gráfica 1. comportamiento articulationes. Fuente: los autores

Observando en la gráfica 1, la funcionalidad de las articulationes con respecto a una curva de limitación obtenida por una estimación de la hoja de datos del servo, prediciendo el comportamiento que presentaría la implementación y Reafirmando el estudio de diseño realizado.

Seguido a esto, era fundamental proporcionar la capacidad de realizar movimientos fluidos con carga, lo que llevo a realizar una selección del elemento final de control que pudiera presentar esta posibilidad. A lo cual se estimó la capacidad de carga que este podía administrar observándolo en la siguiente grafica.



Gráfica 2. comportamiento de articulationes con cargas. Fuente: los autores

De la cual obtuvimos el rango de maniobrabilidad que disponía el manipulador con respecto a cargas externas siendo este entre 100 gr y 200gr.

El último aspecto por nombrar es la

adaptabilidad del manipulador a la trayectoria, ya que su comunicación está dividida en 2 puertos seriales administrados a un mismo arduino el cual nos garantiza el flujo completo de datos, mayor velocidad de procesamiento y eliminación de errores generados por desbordamiento de datos.

4. HARDWARE Y SOFTWARE

El prototipo establece dos fases de funcionamiento las cuales son:

- Aprendizaje
- Envío

De tal manera que cada uno tiene su diferente hardware y software, debido a que se diseñó para que trabajaran independientemente las dos.

La parte de aprendizaje, utiliza el computador y Kinect, el cual funciona como sensor para obtener los puntos angulares del movimiento del usuario; Su respectivo software se aligeró de tal manera que el proceso elegido solo se ejecute cuando el usuario lo requiera y su interfaz se sobreponga solo en el modo deseado. A su vez esta interfaz permite al usuario elegir un modo de funcionamiento denominado guiado y otro control, donde el primero corresponde a la parte de aprendizaje y simulación de la trayectoria aprendida por guiado. El segundo corresponde a la creación de planos angulares que representen el control cinemático generado para la trayectoria elegida y su simulación respectiva. Un factor importante es resaltar la posibilidad de crear gran variedad de trayectorias, mediante el programa indicando el número índice que lo define.

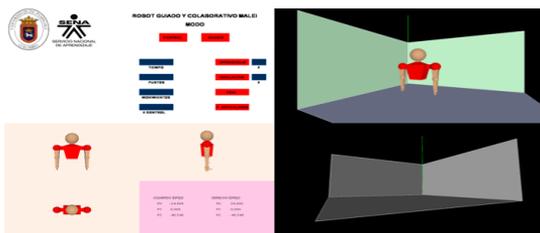


Figura 3. Interfaz de aprendizaje. Fuente: los autores

La parte de envío utiliza la raspberry y Arduino, donde el primero cumple la función de base de datos y el segundo el receptor de los datos y a su vez el encargo de enviarlos a los motores. Su respectivo software está basado en una interfaz sencilla que permita al usuario ingresar la trayectoria la cual desea realizar y a su vez verificar cuales se encuentran dentro de la base de datos.

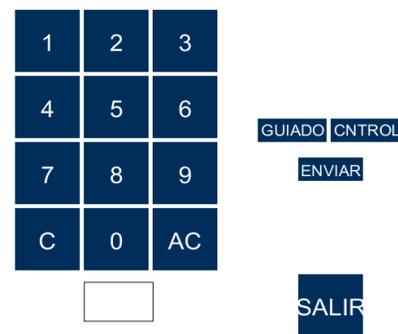


Figura 4. Interfaz de envío de trayectorias. Fuente: los autores

Cabe destacar que el separar los dos procesos anteriores, permite trabajarlos paralelamente, lo cual el funcionamiento de uno afecta al otro.

Otro punto a favor es la manera de comunicación de ambos, mediante una carpeta compartida, donde su ruta principal, está establecida en la raspberry. Esta comunicación se basa en una conexión mediante internet, la cual establece un flujo de datos mediante un protocolo CIFS, el cual es de uso compartido y presenta una buena transmisión de datos que genera confiabilidad en que no se pierda información.

El anterior proceso se resume en la figura 3, la cual muestra un pictograma de la manera en cómo sucede el proceso de comunicación.

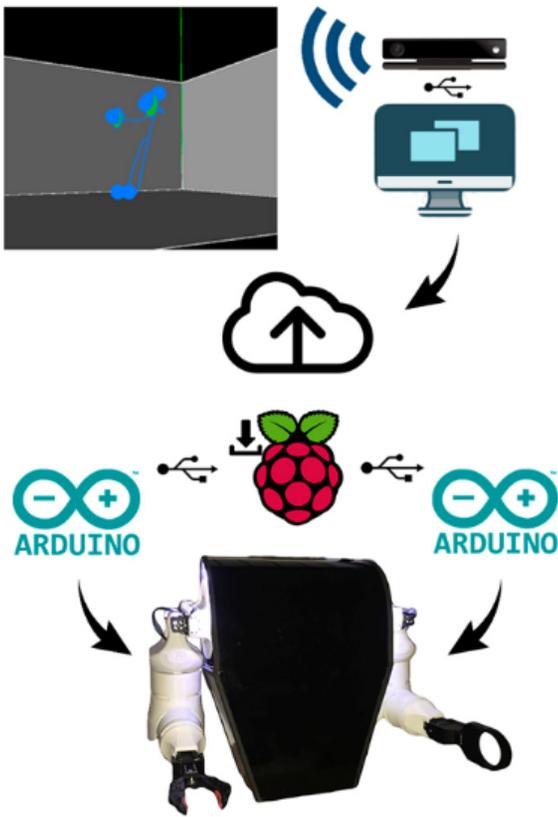


Figura 5. Conexión y comunicación. Fuente: los autores

Lo anterior se realizó de tal manera que el prototipo tuviese una integración de redes IoT, mediante un trabajo remoto y una mejor estructuración en todo su proceso.

5. MULTITRAYECTORIA

El ser multitrayectoria, se define en la capacidad de trabajar una multitud de trayectorias en su funcionamiento. Es decir que guarde, simule y envíe diferentes trayectorias cuando sea requerido. Este factor es posible mediante la creación de archivos que las contengan y sean llamados en su funcionamiento. En este caso la creación de archivos .txt. Las razones de ser archivos texto, es que permiten una ligereza para ser creados y llamados; Asimismo al ser sin formato, permite utilizar estos datos de manera sencilla, sin dificultad, para fines de estudio en sus trayectorias.

6. FUNCIONAMIENTO

6.1. Aprendizaje

6.1.1. Guiado

El funcionamiento guiado, tiene su base en la detección del usuario y la obtención de la localización de cada articulación que corresponde a las extremidades superiores de este mediante el sensor Kinect. A raíz de esto pasa por un proceso de cinemática inversa, la cual define los valores articulares en que se encuentran dichas articulaciones.

Lo anterior permite que el usuario decida cuando es el momento de generar una nueva trayectoria, asignándole un numero índice, el cual sirve para identificarla.

Otra elección posible es la simulación de dicha trayectoria, la cual permite verificar que la trayectoria aprendida sea la misma que el usuario pretendió enseñar y a su vez, visualizar la trayectoria que es enviada a los motores, debido a que esta es una reducción que se hace de la original, según el tiempo que haya tomado el aprendizaje.

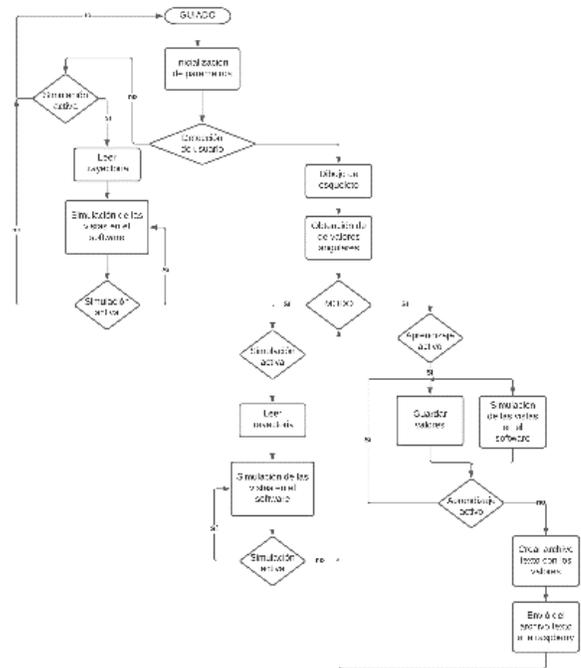


Figura 6. Diagrama de flujo modo guiado. Fuente: los autores

La figura 6, muestra el proceso completo que se cumple el proceso de guiado un poco más detallado.

6.1.2. Control

El funcionamiento de control, tiene su base en el cargue de la trayectoria guardada y generada en la fase de guiado, donde el usuario ingresa el número índice asignado y se procede a realizar el control. Cabe aclarar que se ingresa 3 parámetros importantes para realizarlo:

- Tiempo de duración de la trayectoria.
- Cantidad de puntos a reducir.
- Cantidad de puntos entre los puntos reducidos.

Los parámetros anteriores son necesarios, debido a que se utiliza un método de interpolador cubico, el cual se encarga de encontrar los coeficientes de una ecuación cubica, que cumpla con los requerimientos ingresados por el usuario.



Figura 7 . Diagrama de flujo modo control. Fuente: los

autores

La figura 7, muestra el proceso de control.

6.2. Envió

El funcionamiento de envío, se hace mediante serial, cumpliendo una cadena la cual es, raspberry-arduino-motores. Donde el primer dispositivo se encarga de obtener los valores articulares correspondientes de los archivos txt, el segundo de comunicarse con los motores, dándole las respectivas órdenes y el tercero de cumplir y efectuar el movimiento para llegar al valor requerido.

Cabe destacar que en el proceso de envío el usuario ingresa mediante un teclado predeterminado el índice de la trayectoria a realizar y escogiendo la manera en cómo quiere hacerla. En este caso la aprendida sin control (guiada) o con control.

7. RESULTADOS

7.1. “Malei”.

“Malei” es la implementación de múltiples técnicas aplicadas a la ingeniería Mecatronica. Siendo la versión mejorada de su antecesor y presentando nuevas cualidades incorporadas que lo hacen mejorar en el ámbito de investigación y exhibición.

“Malei” es un prototipo creado para satisfacer la realización de tareas repetitivas con la opción de multi selección, siendo capaz de realizar trabajos colaborativos entre sí mismo y el usuario.

En comparación con su antecesor, “Malei” cuenta con una interfaz minimalista y simple, que le hace ser amigable con el usuario teniendo la habilidad de tener un tiempo de respuesta más corto y una alta fluidez en sus movimientos, lo que le que proporciona la posibilidad de ampliar su rango de ejecución y

detección.



Figura 8. Malei. Fuente: los autores

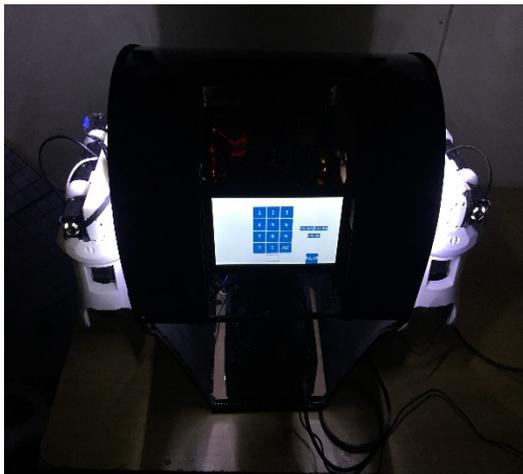


Figura 9. Interfaz HMI. Fuente: los autores

7.2. Ergonomía.

“Malei” cuenta con la capacidad de ser remoto y de fácil montura, haciéndolo adaptable a cualquier área donde se desee implementar, necesitando únicamente de una conexión wifi local para la detección de nuevas trayectorias, pero siendo autónomo a esta, si la trayectoria se encuentra en la base de datos, de esta manera se redujo el área de acción ya que no cuenta con la necesidad de tener un operador dentro de dicha área, abriendo la posibilidad realizar su trabajo en lugares de poco acceso, no obstante, se debe garantizar el monitoreo de esta máquina por un supervisor,

todo esto en consideración al enfoque de este prototipo dirigido hacia el área de investigación y exhibición.



Figura 10. Distribución de área. Fuente: los autores

Tabla 2. Principios básicos para la implementación en la industria 4.0

REQUERIMIENTO	DESCRIPCIÓN	CUMPLE	NO CUMPLE
DATOS EN TIEMPO REAL	TOMA DE DATOS DE MANERA OPORTUNA PARA LA TOMA DE DECISIONES		X
SISTEMAS VIRTUALES	MODELOS DE SIMULACIÓN	X	
DESCENTRALIZACIÓN	TRABAJO DE LAS MAQUINAS DE MANERA INDEPENDIENTE	X	
ORIENTACIÓN DE SERVICIOS	SOFTWARE CON POSIBILIDAD DE ADAPTARSE A NUEVOS ELEMENTOS INNOVADORES	X	
INTEROPERABILIDAD	UNIÓN DE ELEMENTOS MATERIALES Y HUMANOS QUE TRABAJAN MEDIANTE IoT	X	
MODULARIDAD	CAPACIDAD DE AGREGAR, MANTENER O	X	

El prototipo según lo establecido cumplió con cinco principios básicos para la implementación en la industria 4.0, los cuales se ven reflejados en la tabla 2, brindando la posibilidad de seguir avanzando en investigación y a su vez poder ser una base sólida para futuros proyectos.

Se implementó una manera sencilla y practica de guardar múltiples trayectorias en una base de datos, de tal manera que puedan ser llamadas cuando sean requeridas y con la posibilidad de hacer un estudio con la obtención de los datos de estos, debido a que están creados en un archivo texto, que puede ser trabajado en cualquier plataforma.

REFERENCIAS

8. CONCLUSIONES

El prototipo presenta la particularidad de ser remoto, lo cual deja establecido un trabajo que permite independizar cada proceso (aprendizaje y envío), lo cual genera una experiencia más agradable para el usuario y un trabajo más práctico debido a que no se interfieren los dos procesos.

Es de suma importancia mantener una mejora constante del prototipo, de tal manera que se logre llegar a cumplir con la totalidad de los requerimientos básicos para la implementación en la industria 4.0 y lograr trabajar con datos en tiempo real, lo cual es un factor muy llamativo en futuras demostraciones de este.

Para lograr un avance en la eliminación de cables y avanzar con la visión artificial, se aprovechó el Kinect para detectar el estado de la mano (abierta o cerrada), de tal manera que el Gripper funcione bajo este criterio.

observamos como la construcción del diseño toma enfoque en la relación peso/torque, ya que en la articulación 1, articulación la cual no presentó repotenciación y la cual recibió el mayor impacto por el peso añadido (400gr aproximadamente), la distribución de este peso fue planeado a ser muy cerca al centro de masa, lo que no represento exceso en el torque mínimo a aplicar, siendo solo un aumento del 13,2% (4Kgf).

- [1]. MOHAMMED, Ahmed; ELMISERY, Fathy; MOSTAFA, Ramadan. Motion Control of Robot by using Kinect Sensor. En: Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 8(11), No (sep, 2014); p. 1384-1388
- [2]. BAYONA Ibáñez, E, & RICON PARADA, I. K. (2020). Hábitos de estudio y rendimiento académico en los estudiantes de ingeniería mecánica. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada,1(29),64-69.
<https://doi.org/10.24054/16927257.v29.n29.2017.191>
- [3]. KAKANI, Vijay; Nguyen, VAN; KUMAR, Basivi; KIM, Hakil; PASUPLETI, Visweswara. A critical review on computer vision and artificial intelligence in food industry En: Journal of Agriculture and Food Research. Vol: 2, No (Dic, 2020).
- [4]. RANZ, Fabian; KOMENDA, Titanilla; REISINGER, Gerhard; HOLD, Phillip; HUMMEL, Vera; SHIN, Wilfried. A Morphology of Human Robot Collaboration Systems for Industrial Assembly En: Procedia CIRP. Vol :72, No (2018); p: 99-104
- [5]. MOHAMED, Abdulla; CULVERHOUSE, Phill; DE AZAMBUJA, Ricardo; CANGELOSI, Angelo; YANG, Chenguang. Automating Active Stereo Vision Calibration Process with Cobots. En: IFAC-PapersOnLine. Vol: 50 (2), No (Dic, 2018); p: 163-168.
- [6]. NIÑO RONDÓN, C. V., CASTRO CASADIEGO, S. A. & MEDINA DELGADO, B. (2020). Caracterización para la ubicación en la captura de video aplicado a técnicas de visión artificial en la detección de personas. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada,2(36),83-88.

<https://doi.org/10.24054/16927257.v36.n36.2020.24>

- [7]. COGNEX. Introducción a la visión artificial. Una guía para la automatización de procesos y mejoras de salud.
- [8]. TARBOURIECH, Sonny; SULEIMAN, Wael. Bi-objective Motion Planning Approach for Safe Motions: Application to a Collaborative Robot. En: Journal of Intelligent & Robotic Systems (2020), No (Nov, 2019); p: 45-63.
- [9]. FRANKLIN, Carlisle S.; DOMINGUEZ, Elena G.; FRYMAN, Jeff D.; LEWANDOWSKI, Mark L. Collaborative robotics: New era of human-robot cooperation in the workplace, En: Journal of Safety Research. No (Sep, 2020); p: 153-160.
- [10]. KADIR, Bzhwen; BROBERG, Ole; SOUZA DA CONCEIÇÃO, Carolina. Current research and future perspectives on human factors and ergonomics in Industry 4.0. En: Computers & Industrial Engineering Vol: 137, No (Nov, 2019).
- [11]. DOWLING, Jason. Artificial human vision. En: Expert Review of Medical Devices Vol: 2. No (Ene, 2005); p:73-85.
- [12]. GUALTERI, Luca; RAUCH, Erwin; VIDONI, Renato. Emerging research fields in safety and ergonomics in industrial collaborative robotics: A systematic literature review. En: Robotics and Computer Integrated Manufacturing. Vol: 67, No (Feb, 2021).
- [13]. VILLORIA, Pedro. La docencia de visión artificial en el grado de ingeniería en electrónica y automática industrial. Proyecto fin de carrera. Valladolid: Universidad de Valladolid. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.
- [14]. CHEN, C; ONG, S; NEE, A; ZHOU, y. Haptic-based interactive path planning for a virtual robot arm. En: International Journal on Interactive Design and Manufacturing (UDEM). Vol: 4, No (2010); p: 113-123.
- [15]. Alvear-Puertas, V., Rosero-Montalvo, P., Peluffo-Ordóñez, D., & Pijal-Rojas, J. Internet of Things and Artificial Vision, Performance and Applications: Literature Review. En: Enfoque UTE. Vol: 8, No (2017); p: 244 - 256.
- [16]. LIU, Fenglin; ZENG, Wei; YUAN, Chengzhi; WANG, Quingui; WANG, Ying. Kinect-based hand gesture recognition using trajectory information, hand motion dynamics and neural networks. En: Artif Intell Rev. Vol: 52, No (Abr, 2019); p: 563-583.
- [17]. De Gea Fernández, José; Mronga, Dennis; Günther, Martin; Knobloch, Tobias; Wirkus, Malte; Schröer, Martin; Trampler, Mathias; Stiene, Stefan; Kirchner, Elsa; Bargsten, Vinzenz; Bänziger, Timo; Teiwes Johannes; Krüger, Thomas; Kirchner, Frank. Multimodal Sensor-Based Whole-Body Control For Human-Robot Collaboration In Industrial Settings. En: Robotics And Autonomous Systems. Vol: 94, No (Ago, 2017); P: 102-119.
- [18]. EL TIEMPO. Así avanza el compromiso de Colombia con la innovación. Bogotá. 27 de octubre de 2020.
- [19]. HONGYAO, Shen; LINGNAN, Pain; JUN, Qian. Research on large-scale additive manufacturing based on multi-robot collaboration technology. En: Additive Manufacturing. Vol: 30, No (Dic, 2019).
- [20]. J. D. Galarcio, M. P. Buevas, P. A. Nisperuza, J. M. López and H. E. Hernández, "Una nueva metaheurística aplicada al problema de ruteo de vehículos capacitados (cvrp) para la distribución de productos perecederos," Rev. Ing. e Innovación, vol. 5, pp. 60-72, Dec. 2017. Disponible en <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/article/view/1107>

- [21]. WANG, Weitan; LI, Rul; DIEKEL, Max; JIA, Yunyi. Robot action planning by online optimization in human-robot collaborative tasks. En: International Journal of Intelligent Robotics and Applications. Vol: 2, No (2018); p: 161-179
- [22]. BURDEN, Alan; WAGDY, Ayman; DONOVAN, Jared; TEIXEIRA, Frederico. ROBOTIC MORPHOLOGIES. No (2018).
- [23]. LAMBRAÑO GARCÍA, E. D., LÁZARO PLATA, J. L., & Trigos Quintero, A. E. . (2020). Revisión de técnicas de sistemas de visión artificial para la inspección de procesos de soldadura TIPO GMAW. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 1(29), 47-57. <https://doi.org/10.24054/16927257.v29.n29.2017.189>
- [24]. FERNÁNDEZ SAMACÁ, L., MESA MESA, L. A., & PÉREZ HOLGUÍN, W. J.. (2020). Investigación formativa para estudiantes de ingeniería utilizando robótica. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2(28), 30-38. <https://doi.org/10.24054/16927257.v28.n28.2016.203>
- [25]. F. A. Guasmayan y N. A. González, "Estado del arte de redes educativas para el intercambio de conocimientos en robótica educativa", Ingeniería E Innovación, vol. 7, n.º 2, pp. 17-21, 2019. <https://doi.org/10.21897/23460466.1784>
- [26]. EI ZAATARI, Shirine; MAREI, Mohamed; LI, Weidong; USMAN, Zahid. Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview. En: Robotics and Autonomous Systems. Vol: 116, No (Jun, 2019); p:162-80.
- [27]. OSPINA TORO, D, TORO OCAMPO, E. M., & GALLEGO RENDÓN, R. A. (2020). Solución del MDVRP usando el algoritmo de búsqueda local iterada. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 1(31), 120-127. <https://doi.org/10.24054/16927257.v31.n31.2018.139>
- [28]. Vanegas, D., Ramón, A. A. y Lizarazo, A. K. (2017). Comunidad y cultura ambiental. dinámicas de potenciación para un desarrollo sostenible y corresponsable. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178. Volumen (8), Numero (1).
- [29]. VICENTINI, Federico. Terminology in safety of collaborative robotics. En: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. Vol: 63, No (Jun, 2020).
- [30]. LEVRATTI, Alessio; RIGGIO, Guiseppe; FANTUZZI, Cesare; DE VUONO, Antonio; SECCHI, Cristian. TIREBOT: A collaborative robot for the tire workshop. En: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. Vol: 57, No (Jun, 2019); p: 129-137.
- [31]. BARRIENTOS, Antonio; PEÑIN, Luis F.; BALAGUER, Carlos; ARACIL, Rafael. Fundamentos de robótica. 2 ed. Barcelona: McGraw-Hill, 2007. ISBN 9788448156367.
- [32]. CRUZADO, Raúl. CONTROL Y GUIADO DE UN ROBOT MÓVIL. Barcelona, 2017. Trabajo fin de grado (Grado en Ingeniería Industrial y Automática.). Universitat Politècnica de Catalunya barcelonatech.
- [33]. RODRÍGUEZ, Pedro. LA DOCECIA DE VISIÓN ARTIFICIAL E EL GRADO E IGEIERÍA E ELECTRÓICA Y AUTOMÁTICA IDUSTRIAL. Valladolid, 2013. Proyecto fin de carrera (Ingeniero técnico industrial especialidad en electrónica industrial). Universidad de Valladolid.

Escuela de Ingenierías industriales.

- [34]. Ortega, J. Y. (2016). Estructura ecológica principal de la cuenca del Río Pamplonita. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178. Volumen (7), Numero (1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2016.3258>.
- [35]. PEREZ, Nohelia; CARO, Sanchez. Estudio hidrogeológico para el establecimiento de un campo de pozos a explotar por aguas de Mérida C.A., en la zona comprendida entre los sectores de AROA II y prado hermoso de el vigía, municipio Alberto Adriani del estado Mérida. Mérida, 2014. Trabajo final de grado (Ingeniero Geólogo). Universidad de los Andes (Mérida-Venezuela). Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Geológica.
- [36]. HASHIM, Ahmed; GRĂMESCU, Bodgan; CARTAL, Adrian; NITU, Constantin. MODELING AND IDENTIFICATION OF A HIGH RESOLUTION SERVO, FOR MOBILE ROBOTICS. En: IEEE Transactions On Control Systems Technology. Vol: 12, No (Nov, 2004); P: 904-919.
- [37]. Hernandez, León. Reconocimiento De Gestos De La Mano Aplicado Al Desarrollo De Una Interfaz Kinect Para El Museo Regional De Huajuapán (Mureh). Oaxaca, 2015. Tesis (Ingeniero En Computación). Universidad Tecnológica De La Mixteca.
- [38]. Zambrano, Frey. Simulación, Integración E Implementación De Un Algoritmo De Robotica Colaborativa Para Dos Robots Moviles De Arquitectura Homogenea. Nueva Granada, 2018. Trabajo De Grado (Ingeniero En Mecatrónica). Universidad Militar Nueva Granada, Facultad De Ingeniería.
- [39]. ALVARADO JD, NUMPAQUE H. Control PID de temperatura y dosificación de ph para la producción de gas metano a partir de la digestión anaeróbica de residuos sólidos orgánicos. 2014. *Revista Tecnologías de Avanzada - Uipamplona - Journal* Vol. 2, Núm. 24 (2014)