

Jornadas de Automática

Integración en la industria del sistema robótico para ensamblar muñecas

Sánchez, D.^{a,*}, Jara, C.^b, Gómez, F.^c

^aAIJU Instituto Tecnológico, Av. de la Industria, 23, 03440 Ibi, España.

^bHuman Robotics, Universidad de Alicante, 03690 San Vicente del Raspeig, España.

^cInstitute for Computer Research, Universidad de Alicante, PO-BOX 99, Alicante, España.

To cite this article: Sánchez, D., Jara, C., Gómez, F. 2024. Industrial integration of robotic system for doll assembly. Jornadas de Automática, 45. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2024.45.10769>

Resumen

Hoy en día, las pequeñas o medianas empresas se encuentran en una situación complicada a la hora de dar el salto hacia la robotización de sus procesos industriales, ya sea por motivos económicos o por desconocimiento de estas tecnologías. Es por eso que este sistema robotizado representa un avance significativo en la automatización industrial en un sector muy tradicional y manufacturero, el sector del juguete. Esta tecnología ofrecerá una solución eficiente, precisa y flexible al proceso de producción de juguetes, concretamente en el proceso de ensamblaje de la muñeca de juguete, mediante la optimización de recursos, lo que deriva en una reducción directa de costes y en una mayor adaptabilidad a los cambios en la demanda del mercado. Por último, el operario no será reemplazado en el proceso completo, únicamente en las tareas que requieran grandes esfuerzos o sean tediosas. La complejidad añadida a este proceso de ensamblaje es la manipulabilidad del producto, ya que se trata de un plástico flexible y deformable.

Palabras clave: Tecnología robótica, Robots manipuladores, Sistemas de fabricación inteligentes, Percepción y detección, Sistemas robóticos autónomos

Industrial integration of robotic system for doll assembly.

Abstract

Nowadays, small and medium-sized companies find themselves in a complicated situation when it comes to making the leap towards the robotisation of their industrial processes, either for economic reasons or because they are unfamiliar with these technologies. That is why this robotic system represents a significant advance in industrial automation in a very traditional and manufacturing sector, the toy sector. This technology will offer an efficient, precise and flexible solution to the toy production process, specifically in the toy doll assembly process, by optimising resources, resulting in a direct reduction in costs and greater adaptability to changes in market demand. Finally, the operator will not be replaced in the entire process, only in the tasks that require great effort or are tedious. The added complexity to this assembly process is the manipulability of the product, because it is a flexible and deformable plastic.

Keywords: Robotics technology, Robots manipulators, Intelligent manufacturing systems, Perception and sensing, Autonomous robotic systems

1. Introducción

En un entorno industrial, es muy común encontrar tareas repetitivas realizadas por operarios, en las que el riesgo aumenta durante los largos periodos de tiempo en que se llevan

a cabo. La alta frecuencia con la que los trabajadores ejecutan estas tareas los expone a productos peligrosos o a realizar grandes esfuerzos físicos, lo que puede derivar en lesiones.

En la actualidad, muchos procesos industriales requieren destreza, como por ejemplo los de la industria juguetera. La

*Autor para correspondencia: danielsanchez@aiju.es
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

fabricación de una muñeca de juguete es un proceso definido que sigue siempre los mismos pasos. Uno de estos pasos es el montaje de la muñeca, que implica insertar los brazos, piernas y la cabeza en el cuerpo. La principal dificultad radica en la manipulación de estos objetos flexibles y deformables. Un claro ejemplo de un caso similar donde los autores presentan un sistema robótico para la manipulación de telas y el proceso de cosido de las mismas en un entorno industrial (Lahoud et al., 2021), sin embargo, al tratarse de objetos planos, el número de incógnitas es menor que en el caso que se presenta en este artículo, donde se manipulan objetos de geometrías 3D variadas. Esto lo corrobora otro estudio, donde autores tratan el aprendizaje por refuerzo en tareas que involucran interacciones de contacto entre el objeto manipulado y el entorno (Íñigo Elguea-Aguinaco et al., 2023), ya que exponen los distintos tipos de contactos que existen. Así pues, este artículo quedaría englobado en el grupo "Pushing tasks", el cual recalca la dificultad debido a las dinámicas no lineales desconocidas mientras el robot realiza la tarea con objetos de distintos tamaños y formas

Esta aportación pretende dar solución a estos problemas mediante la integración de un sistema robótico capaz de realizar el ensamblaje de la muñeca, cuyo procedimiento es muy repetitivo y resulta tedioso para los operarios. Este desarrollo no reemplazará al humano del proceso, si no que lo liberará de las partes más pesadas del mismo, pudiendo desarrollar tareas más acorde a sus capacidades.

El objetivo principal de este estudio es demostrar que es posible integrar un sistema robótico, colaborativo y basado en visión, en un entorno industrial real, de un sector manufacturero cuyo proceso es totalmente manual y tradicional. Introduciendo así, las nuevas tecnologías a las empresas con menos facilidades para ello.

El resto del documento está estructurado de la siguiente manera. En primer lugar, en la Sección 2 se recogen otras contribuciones que tienen relación con el campo de estudio de este artículo. A continuación, en la sección 3 se definen y exponen los procedimientos a seguir para realizar la tarea manual que desempeñan los operarios en el entorno industrial. En la Sección 4 se explica la solución robótica diseñada y desarrollada para lograr realizar la tarea de ensamblaje. En la Sección 5 se muestran los experimentos y pruebas realizadas al sistema para comprobar su funcionamiento. Finalmente, en la Sección 6 se exponen las conclusiones de la aportación.

2. Estado del Arte

El campo de investigación de la manipulación mediante robots es muy amplio, y concretamente, la manipulación de objetos deformables se ha convertido en un paradigma muy interesante, debido a los retos que este supone.

Existen distintos tipos de objetos deformables, tales como los objetos plásticos, telas, productos alimenticios, etc. Aún englobándolos dentro de objetos deformables/flexibles, todos ellos poseen propiedades distintas, es por eso que no hay un único método general capaz de manipularlos mediante robots.

Un ejemplo de aplicación de ensamblaje diferente puede ser en un sistema robótico para la inserción de clavijas sobre un objeto previamente escaneado (Nigro et al., 2023), basado

en controles de posición y admitancia que compensen los posibles errores de posicionamiento relativo entre los dos objetos que pretenden ser ensamblados. Este tipo de aproximaciones pueden resultar útiles en la mayoría de casos, sin embargo, el paradigma cambia completamente en cuanto se trata de objetos deformables o flexibles, ya que, una vez se realiza el primer contacto, el objeto se deforma y se pierde el conocimiento de la posición relativa entre estos dos objetos.

Una parte muy importante en esta tarea es el efector final que se utiliza (Takács et al., 2020), existen distintos tipos de agarre, ya sea de bloqueo por forma o por fuerza, que permiten manipular cargas más pesadas. Pese a que se centra en el sector de la carne, la problemática es prácticamente la misma, las distintas formas que se pueden encontrar, distintas propiedades mecánicas. Sin embargo, nuestra tarea va más allá a de la manipulación en sí, ya que en el caso del montaje de la muñeca, sería simple encontrar un agarre estable y que permita mover la pieza de una posición a otra. Nuestra tarea exige que, una vez manipulada la pieza, se ha de realizar una tarea con ella (ensamblado), por lo que el agarre más estable, no sirve para su posterior ensamblado.

Por otro lado, se han estudiado los retos de la manipulación de objetos deformables (Zhu et al., 2022), separándolos en diversas categorías, como por ejemplo el modelado de los objetos. Existen dos tipos de modelado, el local y el global. Mientras que el modelado global puede utilizar grandes cantidades de datos ya que no se requiere que se actualice en cada iteración de la manipulación, todo lo contrario que el local, que al tener que actualizarse constantemente, no puede demostrarse procesando tanta información. En ambos casos es complicado debido a la falta de simuladores realistas para muchos tipos de objetos, como es nuestro caso. Al tratarse de un producto fabricado de manera manual, pueden existir variaciones entre las propiedades mecánicas de los objetos, por lo que no se puede estimar un modelado del objeto o de su material.

Por último, es posible desarrollar un sistema multi-sensorial para tareas de desensamblado mediante robots cooperativos (Gil et al., 2007). Donde existen problemas similares, ya que hay interacción entre el elemento manipulado y el entorno, sin embargo, nuestros objetos a interactuar son deformables, por lo que no se puede estimar la disposición de ellos en el entorno una vez se han manipulado y han entrado en contacto. Además, emplean un sistema de control basado en visión y fuerza para hacer el seguimiento de las trayectorias de desensamblado. Sin embargo en nuestro sistema no es posible realizar ese tipo de seguimiento, ya que, si se realiza sobre el robot, se desconoce realmente el estado de los dos objetos que se quieren ensamblar y dado el efector final y la disposición de los elementos, no hay visibilidad para realizar el seguimiento de los objetos mientras la tarea se está llevando a cabo.

3. Proceso manual de ensamblaje

El proceso de fabricación de una muñeca es completamente manual y, desde que se fabrica cada pieza mediante roto-moldeo, hasta que se empaqueta para ser vendida, pasa por varios procesos intermedios. Uno de ellos es el ensamblaje, como se muestra en la Figura 1. Los operarios utilizan el cuerpo de la muñeca como pieza base, sobre la cual se insertan

el resto. Las piezas de los brazos y las piernas tienen partes sobresalientes que se insertan en los agujeros del cuerpo, sin embargo, en la pieza de la cabeza es distinto, ya que es el cuerpo el que tiene la parte que sobresale y la cabeza el agujero. Aun así, el operario mantiene la pieza del cuerpo siempre lo más fija posible y es con el resto de las piezas con las que realiza los movimientos de presión y rotación para realizar el ensamblaje.

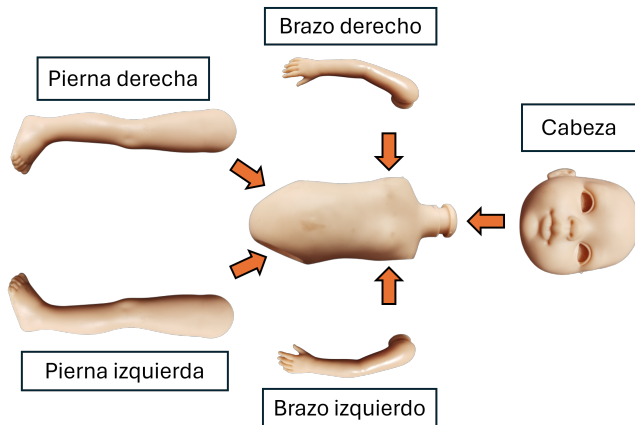


Figura 1: Piezas de la muñeca a ser insertadas.

En las siguientes imágenes (Figura 2, 3 y 4) se puede observar que para insertar las piezas en el cuerpo hay varios pasos a realizar. En primer lugar se ha de alinear la parte que sobresale con el agujero en cuestión y después, presionar mientras se rota. Durante este proceso, cuando se insertan las extremidades, se ha de realizar una fuerza extra en el cuerpo para deformar los orificios ligeramente y permitir el ensamblaje de una manera más fácil.



Figura 2: Proceso de ensamblaje de la pierna.

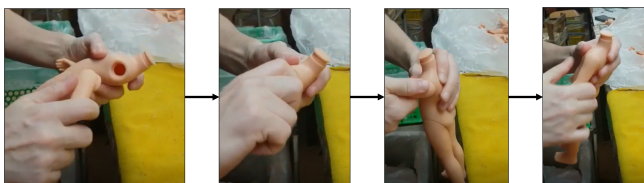


Figura 3: Proceso de ensamblaje del brazo.

A la hora de ensamblar la cabeza, como esta es la pieza con el agujero, es en la que hay que ejercer fuerza para deformar el orificio.



Figura 4: Proceso de ensamblaje de la cabeza.

4. Proceso robótico de ensamblaje

Una de las características de la tarea del ensamblaje es que termina siendo muy repetitiva, por lo que se ha diseñado y desarrollado una solución automática para llevar a cabo dicho proceso.

La Figura 5 muestra la solución propuesta, la cual consiste en una célula robótica dotada de un sistema de visión, un robot colaborativo UR10e, dispositivos de seguridad y efectores finales adaptados para la tarea mediante unos dedos alargados que le permitan agarrar a pieza e introducirla en los orificios.

Entrando en detalle de los distintos elementos de la instalación, se diseñaron unos soportes con el negativo de las piezas para mejorar la fijación sobre la mesa, de forma que para el operario resulta más fácil colocarlas ya que encajan entre sí. Después, el robot realiza la detección de todas las piezas que están dispuestas sobre la mesa, obteniendo el punto de agarre para cada una de ellas. De esta manera, agarrará en primer lugar el cuerpo, para colocarlo sobre la pinza auxiliar de la parte derecha de la mesa de montaje. Los dedos de esta pinza también están hechos como el negativo del cuerpo, para asegurar la fijación para facilitar el posterior ensamblaje. Una vez fijado el cuerpo, el robot agarra las extremidades de un costado y las ensambla. Después rota el cuerpo y repite el proceso de ensamblado del otro costado. Finalmente, agarra la cabeza y la inserta.

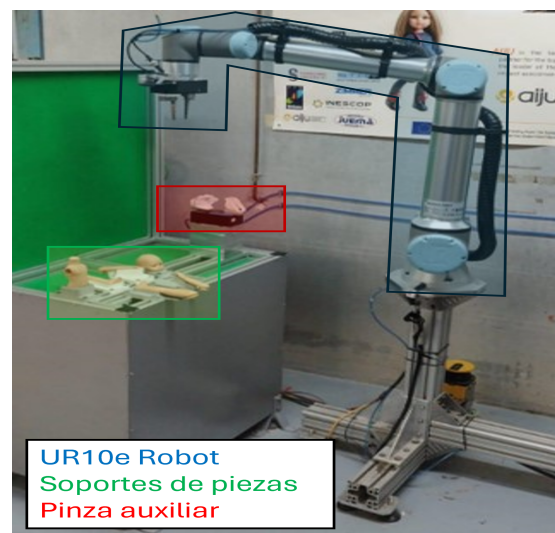


Figura 5: Célula robótica para el ensamblaje de muñecas.

En cuanto a los efectores finales, se puede observar en la Figura 6 cómo el diseño de los dedos, realizado con el negativo de la pieza, abraza por completo el cuerpo de la muñeca, dejando libres los agujeros de un costado para realizar el ensamblaje. Este diseño permite que, al cerrar la pinza, la pieza

quede completamente fija durante la tarea y deforme lo suficiente los agujeros para facilitarla.

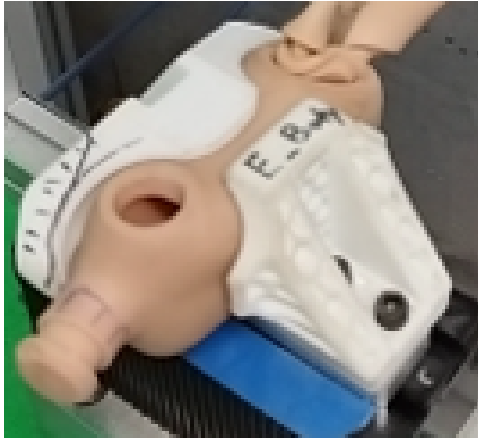


Figura 6: Pinza auxiliar para el montaje de muñecas.

Finalmente, el efector final del robot (Figura 7) no tener un diseño tan específico, ya que ha de manipular todas las piezas de manera correcta. Por ello, se optó por un diseño más general de unos dedos alargados, con patrones tallados en la punta para evitar el deslizamiento durante la ejecución de la tarea.

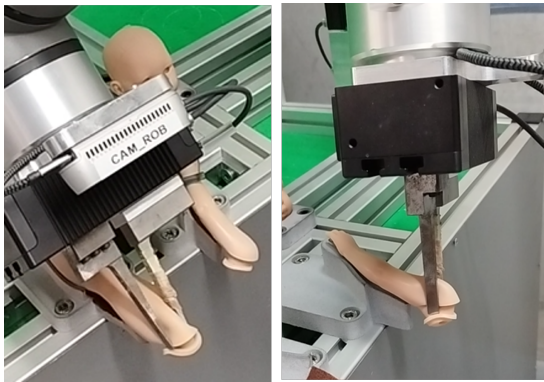


Figura 7: Efector final integrado en el robot.

De esta manera, una vez agarrada la pieza, el robot es capaz de realizar las trayectorias correspondientes para ensamblar la muñeca de manera correcta. Una vez se posiciona en el orificio de inserción (Figura 8) cambia el modo de operación y realiza trayectorias basadas en fuerza, ya que de otra manera, el robot entraría en parada debido a la oposición que se encuentra durante el ensamblado. Dichas trayectorias se basan en los movimientos que realizan los operarios; presión de la pieza sobre el agujero, mientras se va rotando sobre el punto de pivote. El punto de pivote es el centro de la parte que se inserta de la pieza en el cuerpo. Así pues, al estar basado en fuerza, en el momento en el que el robot no encuentra más oposición en el movimiento, se considera que la pieza ya ha sido insertada.

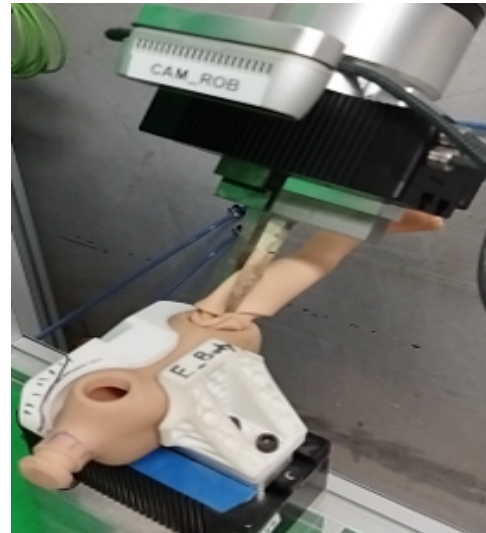


Figura 8: Robot posicionado para realizar el ensamblaje.

4.1. Algoritmo de visión

Como se ha mencionado anteriormente, la célula robótica está dotada por un sistema de visión que permite la detección del punto de agarre de las piezas para su ensamblado y otro para la detección del centro del orificio sobre el cual se realiza la inserción.

La Figura 9 muestra el diagrama de flujo del algoritmo. En primer lugar, se obtiene la nube de puntos inicial del entorno y su imagen RGB correspondiente. Después, empieza el procesamiento de la información 3D (nubes de puntos) mediante la segmentación de los puntos que están en el fondo ("threshold" fijo) y por lo tanto, de los que no son de interés. Una vez se tiene acotada la nube de puntos, se emplea RANSAC para detectar el conjunto de puntos de nuestra nube que más se asemeja a un plano, por lo que la mesa donde están dispuestas las piezas se detecta fácilmente y se puede eliminar. Una vez reducido al mínimo la cantidad de puntos que no son de interés, se separan en rangos conocidos cada una de las piezas de la mesa.

En este paso, se traslada el procesamiento 3D (nube de puntos) al 2D (imágenes RGB). En este punto, y dado que la información de la nube de puntos y la imagen son correspondientes, para cada pieza se elimina de la imagen inicial todo aquello que se encuentra fuera de su región en la nube de puntos. De esta manera se obtiene la imagen únicamente con la información RGB de las piezas, por lo que es posible realizar la detección del punto de agarre, gracias a la detección del centro de la pieza y a que las proporciones de la pieza real son conocidas.

De esta manera, el robot es capaz de agarrar las piezas y realizar el ensamblaje.

Una vez ha colocado el cuerpo en la pinza auxiliar, el robot procede a agarrar las extremidades para insertarlas. Pero para ello se ha de realizar una detección del orificio, para simular el movimiento que los operarios hacen para alinear las piezas con los agujeros de inserción, se desarrolló otro algoritmo de visión (Figura 10) para detectar los orificios del cuerpo y reducir al máximo el error de alineamiento entre el robot con la pieza y el cuerpo.

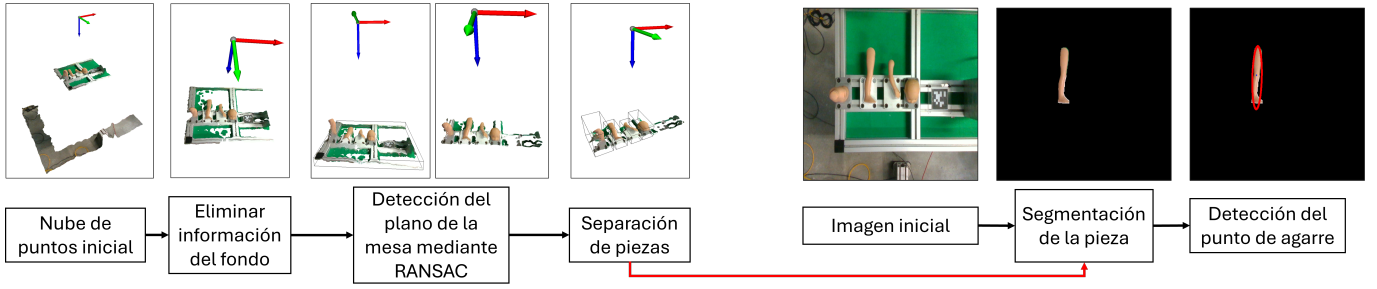


Figura 9: Algoritmo de visión para la detección de las piezas.

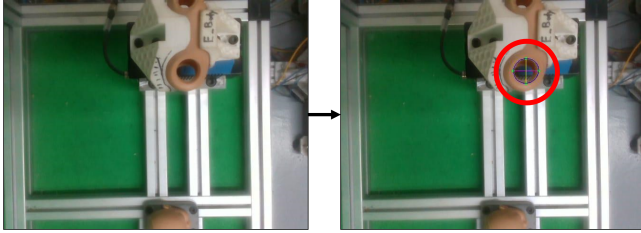


Figura 10: Detección del orificio de inserción de piezas.

5. Experimentos y resultados

La tarea de ensamblaje se trata de una etapa dentro de un gran proceso de producción en un entorno industrial real, por lo que cumplir con los objetivos establecidos es crucial para no entorpecer el resto de tareas.

Es por eso que, para comprobar la eficiencia y eficacia de nuestro sistema, se realizaron 10 ciclos de trabajo ininterrumpidos, sobre los cuales se extrajeron los datos en cuanto al porcentaje de éxito de cada subtarea (detección del punto de agarre, agarre, ensamblaje) y el tiempo empleado para cada una de ellas. El ciclo de trabajo se define de la siguiente manera:

1. El operario coloca las piezas en los soportes.
2. El operario sale de la célula robótica y confirma al sistema que puede proseguir.
3. El robot realiza la detección de las piezas.
4. Realiza el proceso de ensamblaje.
5. Espera a la siguiente tanda de piezas.

Para ello, el consorcio de empresas que forman parte del proyecto definieron las siguientes métricas para corroborar el alcance de los valores de producción propuestos:

- **Average Probability of Success (APS):** Este valor (Ecuación 1) se obtiene dividiendo el número de aciertos (S) por el número de ensayos totales (N). Se mide en porcentaje. Este parámetro se calculará para cada módulo por separado (visión, agarre y ensamblaje).

$$APS = \frac{S}{N} * 100 \quad (1)$$

- **Average Time Per (ATP) piece assembled:** Este valor (Ecuación 2) se obtiene dividiendo el tiempo que el robot emplea en ensamblar todas las piezas en el cuerpo (T) por el número de piezas (N). Se mide en segundos.

Está dividido en dos grupos, el tiempo en ensamblar las extremidades y el de la cabeza.

$$ATP = \frac{T}{N} \quad (2)$$

- **Average Time Per Operation (ATPO):** Este valor (Ecuación 3) se calcula dividiendo la suma del tiempo de todas las operaciones (T) por el número total de operaciones (N). Por lo que se mide el tiempo que se emplea por cada operación que realiza el sistema. Se mide en segundos.

El término de operación, representa la unidad de trabajo que añade valor a la cadena de producción. En este caso, se consideran 3 operaciones: el ensamblaje de las 2 extremidades y de la cabeza.

$$ATPO = \frac{\sum_{i=0}^N T_i}{N} \quad (3)$$

- **Number of Trials Per Hour (NTPH):** Este valor (Ecuación 4) indica el número de intentos que es capaz de realizar el robot en una hora, calculados con el ATPO.

$$NTPH = \frac{3600}{ATPO} \quad (4)$$

- **Mean Operations Per Hour (MOPH):** Este valor (Ecuación 5) se calcula multiplicando la media del APS (mAPS) y el NTPH. Dicha media se calcula para la tarea completa en el peor de los casos.

$$MOPH = mAPS * NTPH \quad (5)$$

Así pues, se pueden observar los resultados obtenidos para 10 ciclos de ensamblaje (Tabla 1).

De estos resultados se pueden obtener varias conclusiones. En primer lugar, el APS de todas las etapas es satisfactorio, ya que cumple los objetivos planteados inicialmente. Sin embargo, se puede observar que el agarre del brazo es el proceso en el que menos porcentaje de éxito se obtiene. Esto se debe a que al ser la pieza más pequeña, el error que admite a la hora de ser agarrada es mucho menor que el resto. Lo que se podría solucionar con un segundo algoritmo de comprobación de agarre, a costa de incrementar el tiempo de ejecución de la tarea.

En cuanto al tiempo actual de la tarea, el tiempo que tarda el sistema en ensamblar la cabeza es de 15 segundos, y el del

Tabla 1: Resultados de la tarea de ensamblaje mediante el sistema robótico.

Piezas	Num. piezas	APS %			ATP (s)	ATPO	NTPH	MOPH
		Detección	Agarre	Ensamblado				
Cabeza	10	10(100 %)	10(100 %)	9(90 %)	15			
Cuerpo	10	10(100 %)	10(100 %)	10(100 %)	80	31.67	113.67	94.72
Pierna	20	20(100 %)	18(90 %)	18(100 %)	-			
Brazo	20	18(90 %)	14(70 %)	14(100 %)	-			

resto de partes es de 80 segundos en total. Por lo que se obtiene un tiempo total de 95 segundos. Este tiempo también tiene en cuenta el proceso de girar el cuerpo para pasar de ensamblar un lado del cuerpo al otro, por lo que dicho paso hace que se pierda tiempo valioso para la operación.

Finalmente, los valores de ATPO, NTPH y MOPH permiten observar en términos de producción cuánto tarda el robot en hacer una operación, el número de intentos que permite ese tiempo en una hora y el número de operaciones exitosas que realizará el sistema. Como se menciona anteriormente, una operación es el ensamblaje de las piernas, otra el de los brazos y finalmente, de la cabeza.

6. Conclusión y trabajo futuros

Como conclusión se puede decir que se ha conseguido desarrollar un sistema robótico colaborativo como solución a la tarea de ensamblaje de muñecas en la industria juguetera. Al tratarse de un sector tan específico, tradicional y manufacturero, prácticamente no han habido avances tecnológicos en sus procesos de producción. Por lo que con este desarrollo y estos alentadores resultados se pretende que este sector siga el camino hacia la transformación digital y les permita crecer en un mercado competitivo.

Como trabajos futuros se plantea la posibilidad de mejorar los tiempos de los procesos mediante la optimización de la distribución de los elementos en la mesa de trabajo, como por ejemplo, que la pinza auxiliar permita dejar libres los dos costados del cuerpo y poder realizar el ensamblaje de las 4 extremidades sin tener que rotar el cuerpo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido apoyado con la beca de referencia UAIND21-06B y en parte por GVA a través de AIJU. Además,

se ha realizado en el contexto del proyecto SOFTMANBOT, el cual recibió financiación del programa de la Unión Europea de investigación e innovación, Horizon 2020, en virtud del convenio de subvención número 869855.

Referencias

- Gil, P., Pomares, J., vT. Puente, S., Diaz, C., Candelas, F., Torres, F., 2007. Flexible multi-sensorial system for automatic disassembly using cooperative robots. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 20 (8), 757–772.
DOI: 10.1080/09511920601143169
- Lahoud, M., Marchello, G., Abidi, H., D’Imperio, M., Cannella, F., 08 2021. Robotic Manipulation System for Multi-Layer Fabric Stitching. In: 17th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA). Vol. Volume 7 of International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. p. V007T07A037.
DOI: 10.1115/DETC2021-70994
- Nigro, M., Sileo, M., Pierri, F., Bloisi, D., Caccavale, F., 2023. Assembly task execution using visual 3d surface reconstruction: An integrated approach to parts mating. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 81, 102519.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102519>
- Takács, K., Mason, A., Christensen, L. B., Haidegger, T., 2020. Robotic grippers for large and soft object manipulation. In: 2020 IEEE 20th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI). pp. 133–138.
DOI: 10.1109/CINTI51262.2020.9305836
- Zhu, J., Cherubini, A., Dune, C., Navarro-Alarcon, D., Alambeigi, F., Berenson, D., Ficuciello, F., Harada, K., Kober, J., Li, X., Pan, J., Yuan, W., Gienger, M., 2022. Challenges and outlook in robotic manipulation of deformable objects. *IEEE Robotics & Automation Magazine* 29 (3), 67–77.
DOI: 10.1109/MRA.2022.3147415
- Íñigo Elguea-Aguinaco, Serrano-Muñoz, A., Chrysostomou, D., Inziarte-Hidalgo, I., Bøgh, S., Arana-Arexolaleiba, N., 2023. A review on reinforcement learning for contact-rich robotic manipulation tasks. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 81, 102517.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102517>