

Innovación en la industria juguetera: sistema robótico para el desmoldeo

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

^aInstituto Tecnológico de Producto Infantil y Ocio (AIJU), Av. de la Industria, 23, 03440 Ibi, Alicante, España.

^bGrupo de investigación Human Robotics. Universidad de Alicante. Ctra San Vicente del Raspeig SN 03690 Alicante, España

^cInstituto Universitario de Investigación Informática. Universidad de Alicante. Ctra San Vicente del Raspeig SN 03690 Alicante, España

To cite this article: Sánchez, D., Jara, C., Gómez, F. 2023. Innovation in the toy industry: robotic system for demoulding. XLIV Jornadas de Automática, 762-767. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497498609.762>

Resumen

Este trabajo presenta un nuevo sistema robótico desarrollado para automatizar la tarea de desmoldeo en la industria juguetera, que suele requerir mucha mano de obra y ser potencialmente peligrosa para los operarios. Aunque la automatización se ha generalizado en industrias como la automovilística y la alimentaria, sectores tradicionales como la fabricación de juguetes se han quedado rezagados. El sistema utiliza maquinaria especializada para la fabricación de juguetes, cámaras, actuadores y un algoritmo basado en visión, junto con un robot colaborativo capaz de manipular piezas de plástico blando y flexible durante el desmoldeo. Con la implantación de este sistema se reduce el estrés físico y las posibles lesiones de los operarios humanos, lo que les permite centrarse en tareas con mayores requisitos de destreza o reasignarlas a subtareas menos exigentes físicamente. El desarrollo de este sistema robótico colaborativo mejora la eficacia, la precisión y la seguridad del proceso de desmoldeo, al tiempo que permite a los operarios contribuir en otras tareas del proceso industrial.

Palabras clave: Robótica, Industria, Juguete, Material deformable, Automatización, Manipulación flexible

Innovation in the toy industry: robotic system for demoulding.

Abstract

This work presents a new developed robotic system to automate the demoulding task in the toy manufacturing industry, which is typically labor-intensive and potentially hazardous for human operators. While automation has become common in industries like automotive and food, traditional sectors like toy manufacturing have lagged behind. The system utilizes specialized machinery for the toy production, cameras, actuators, and a vision-based algorithm, along with a collaborative robot capable of handling soft and flexible plastic pieces during demoulding. By implementing this system, the physical stress and potential injuries to human operators are reduced, enabling them to focus on tasks with higher dexterity requirements or reallocating them to less physically demanding sub-tasks. The development of this collaborative robotic system enhances the efficiency, accuracy, and safety of the demoulding process, while allowing human operators to contribute in other industrial tasks.

Keywords: Robotics, Industry, Toys, Deformable object, Automation, flexible manipulation

1. Introducción

Hoy en día, las industrias automatizan y robotizan cada vez más sus procesos, como puede ser el ejemplo del sector de la automoción, que ha incorporado robots en las cadenas de mon-

taje para realizar diversas tareas. Otro ejemplo son las fábricas de producción, las cuales han implantado robots industriales para tareas como paletizado o despaletizado. Estos avances tecnológicos han permitido sustituir a los trabajadores humanos en determinadas áreas, como la soldadura, la pintura, la inspec-

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

ción y el control de calidad. Sin embargo, cabe señalar que la industria de fabricación de juguetes sigue dependiendo en gran medida del trabajo manual. Esto significa que los operarios son responsables de tareas físicamente exigentes, como sacar piezas de plástico calientes de los moldes de muñecas y manejar hornos a altas temperaturas. El proceso manual implica varios pasos: los operarios llenan un molde con plástico líquido, lo introducen en un horno calentado a más de 250 grados centígrados, una vez el horno ha dejado de girar el tiempo determinado, lo sitúan en un enfriador de aire y, por último, extraen todas las piezas en una zona de desmoldeo.

Este trabajo presenta una innovadora solución robótica diseñada específicamente para la tarea de desmoldeo en la fabricación de juguetes. El sistema está compuesto por un robot colaborativo que emplea un algoritmo basado en visión artificial y un control de fuerzas para garantizar que las piezas no se dañen ni se rompan durante el proceso. Además, este sistema está diseñado para colaborar con los operarios humanos en lugar de sustituirlos por completo, por lo que el robot se encarga de la tarea de desmoldeo, físicamente exigente e intrincada, mientras que los operarios siguen ocupándose de los demás pasos mencionados anteriormente, permitiendo así que este enfoque reduzca el riesgo de lesiones o estrés para los operarios humanos.

La principal aportación de esta investigación radica en el desarrollo de un sistema robótico capaz de desmoldear piezas de plástico flexibles, que suelen requerir que los operarios ejerzan grandes fuerzas en plazos cortos. Además, se ha creado un algoritmo basado en visión artificial para mejorar la precisión y consistencia de la ejecución de la tarea, abordando un aspecto crucial de los procesos industriales. En última instancia, este sistema colaborativo permite a los operarios centrarse en otras tareas que requieran de mayor destreza, en lugar de en ésta, que exige un gran esfuerzo físico.

El documento se estructura de la siguiente forma: en primer lugar, en la Sección 2 se presentarán distintas contribuciones similares a la presentada en este artículo. En la Sección 3 se explicará en qué consiste el proceso de fabricación de las piezas y el sistema robótico desarrollado. En la Sección 4, se mostrarán los resultados obtenidos tras la ejecución de varios experimentos. Finalmente, en la Sección 5, se expondrán unas conclusiones acorde a las contribuciones de este trabajo.

2. Estado del Arte

En la actualidad, la manipulación de objetos blandos y flexibles se ha convertido en un destacado campo de investigación que abarca diversos tipos de materiales. En (Lahoud et al., 2021), los autores exploran uno de estos campos de investigación, en el que han ideado un sistema robótico para manipular prendas de tela con el fin de coserlas. Tanto esta tarea como la del desmoldeo requieren una elevada precisión para llevarlas a cabo. En cambio, la tarea de cosido no requiere una fuerza significativa y es menos propensa a dañar o romper el objeto, a diferencia de la tarea que se propone en este trabajo. En (Navarro-Alarcon et al., 2016), los autores presentan un método automático para calcular en tiempo real los parámetros del modelo de deformación de un objeto blando utilizando una cámara externa. Los investigadores establecieron una zona de trabajo

en la que el objeto permanecía visible en todo momento. Sin embargo, el escenario propuesto en este artículo, el objeto se encuentra dentro del molde durante el proceso de desmoldeo, lo que provoca que ocuya algunos puntos de vista. En consecuencia, se hace necesario estimar la fuerza aplicada antes de ejecutar la tarea. A diferencia de los métodos de control tradicionales para la aplicación de fuerza en la manipulación robótica, los autores de (Lin et al., 2019) introducen un sistema de control centrado en la seguridad que utiliza el aprendizaje por refuerzo y sensores de fuerza. El objetivo es mejorar el control y evitar situaciones peligrosas e impredecibles, especialmente durante la transición de la simulación al mundo real. Aunque la aplicación de este tipo de algoritmos resulta muy beneficiosa para lograr soluciones generales, la estabilidad y la fiabilidad no siempre están garantizadas. Sin embargo, la tarea de desmoldeo debe dar prioridad a la precisión, la estabilidad y la repetibilidad de las trayectorias. De lo contrario, es imposible realizar correctamente dicha tarea a lo largo del tiempo.

En conclusión, actualmente hay muchas contribuciones relacionadas con el control y la manipulación de objetos blandos y deformables. Sin embargo, no existe ningún trabajo sobre la robotización de los procesos de producción de la industria del juguete, ya que se trata de un sector muy tradicional y las especificaciones para la manipulación de las piezas son muy específicas y complejas.

3. Descripción del sistema

En esta sección se detallarán los aspectos más importantes de la producción manual de juguetes y el desarrollo del sistema robótico innovador que se ha llevado a cabo.

3.1. Tarea manual

La industria del juguete es un sector muy manual e involucra distintas tareas, como el cosido de pelo o desmoldeo de piezas de plástico que componen los juguetes. En este caso, el trabajo se centra en esta última, ya que es la que más exigencias físicas demanda.

Como se ha mencionado anteriormente, la extracción de las piezas es un único paso del proceso completo, el cual se conoce como fabricación por rotomoldeo (Figura 1), y consta de los siguientes pasos:

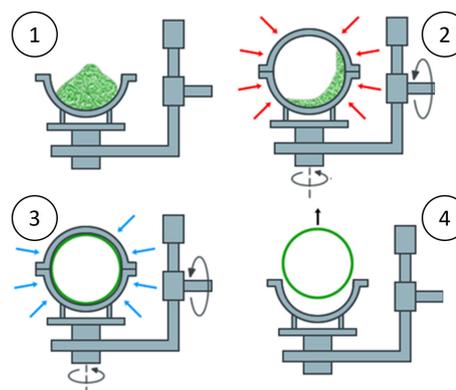


Figura 1: Proceso de fabricación por rotomoldeo.

1. **Llenado de molde:** el operario vierte el material plástico líquido en el molde. La cantidad depende del tamaño de la pieza y de la dureza que se pretenda conseguir.
2. **Rotación en el horno:** el operario cierra el molde y lo introduce en el horno de rotomoldeo, el cual gira en dos ejes perpendiculares para asegurar que el material se distribuye por todo el molde.
3. **Enfriado:** una vez el horno termina de rotar, el operario extrae el molde y lo sitúa en una zona de enfriamiento por aire. Este cambio brusco de temperatura hace que la pieza del molde se forme adecuadamente.
4. **Extracción:** el último paso del proceso se basa en extraer las piezas de los moldes. En este caso los operarios utilizan alicates para realizar esta tarea, ya que las temperaturas del molde y las piezas siguen siendo elevadas. Este paso se puede observar en la Figura 2.

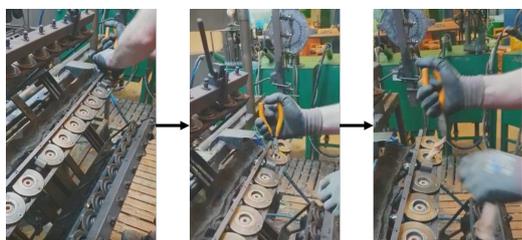


Figura 2: Tarea de desmoldeo manual.



Figura 4: Primera versión de la instalación real desarrollada.

Finalmente, con la integración del robot colaborativo UR10e, se obtuvo la instalación robótica final (Figura 5). Además, el robot está equipado con un efector final cuyos dedos han sido diseñados para realizar las extracciones correctamente. Además, uno de ellos dispone de un sistema de vacío para que cuando el dedo de la herramienta del robot sea introducida por el agujero de extracción de la pieza, pueda ayudar en el desmoldeo.



Figura 5: Instalación robótica final.

3.2. Sistema robótico

Una vez estudiados los pasos y las distintas tareas del proceso de fabricación por rotomoldeo, se ha desarrollado un sistema robótico capaz de llevar a cabo la tarea de extracción de las piezas. Para ello se realizó una simulación con la distribución de los distintos elementos que formarían parte de la instalación robótica, como se muestra en la Figura 3, donde el área marcada en rojo hace referencia al horno de rotomoldeo, la zona marcada en verde representa el ventilador de enfriamiento del molde, la zona marcada en amarillo es la zona de desmoldeo, donde el robot (zona marcada en azul) realizará la tarea de extracción.

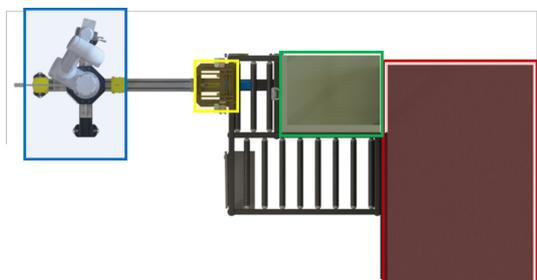


Figura 3: Distribución de elementos de la simulación de la instalación robótica.

Una vez terminada la simulación, se desarrolló la instalación robótica real mostrada en la Figura 4 con los elementos marcados como se menciona anteriormente.

3.3. Algoritmo de visión para la detección de piezas

Como se ha explicado anteriormente, el operario es el encargado de colocar el molde en la zona de desmoldeo, por lo que no siempre quedará dispuesto en la misma posición y tendremos siempre un pequeño error. Dado que la tarea que se pretende llevar a cabo necesita mucha precisión, se ha desarrollado un sistema de visión para detectar el orificio de extracción de las piezas de manera automática, gracias a la cámara Real Sense d435i que se ha integrado en la pinza del robot.

En la Figura 6, se muestra el proceso de dicho algoritmo. En primer lugar se obtiene la imagen RGB-D del entorno, por lo que se puede extraer la nube de puntos correspondiente. Dado que el entorno posee demasiados puntos e información que no es de interés, se realiza una segmentación para dejar únicamente una zona aproximada donde se sitúa la zona de interés, que es la parte superior del molde. Dado que se ha reducido la cantidad de datos, se puede aplicar el algoritmo RANSAC para obtener el plano que mejor se ajusta de nuestro conjunto, por lo que acaba detectando la parte superior del molde, como muestra el paso 3 de la Figura 6. El algoritmo RANSAC es un método iterativo para calcular modelos matemáticos en base a un conjunto de datos que contiene valores atípicos. En este caso, el

conjunto de datos es la nube de puntos y el modelo matemático es un plano, por lo que dicho algoritmo nos proporciona los valores de la nube de puntos que mejor encajan con un plano, descartando así, los puntos que no son de interés.

El siguiente paso consiste en eliminar de la imagen inicial RGB los píxeles correspondientes a los puntos que están fuera del plano detectado por RANSAC. De esta forma tenemos muy reducida el área de búsqueda del orificio de extracción y mediante técnicas de visión se localiza dicho agujero. Finalmente, el robot se mueve hacia el punto detectado para realizar la extracción.

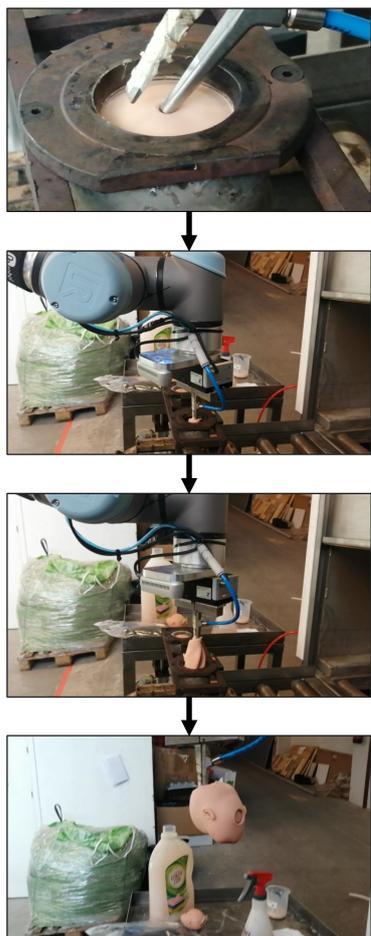


Figura 7: Proceso de desmoldeo automático.

Una vez detectado el punto, el robot se mueve hacia dicho punto de extracción de la pieza, y posteriormente realiza una serie de trayectorias para desmoldear la pieza con la herramienta del extremo, tal y como se muestra en la Figura 7.

4. Experimentación y resultados

En esta sección se expondrán los resultados del sistema de desmoldeo tras someterlo a varias pruebas.

Dado que el objeto es deformable y flexible, se debe utilizar una fuerza que permita extraer la pieza del molde, pero sin dañarla ni romperla, ya que al tratarse de un producto que será comercializado, no puede tener ningún tipo de marcas. Para ello, se realizaron 30 ciclos de producción de la pieza de la

cabeza del juguete, con distintas fuerzas aplicadas por el robot. Concretamente, el robot aplicó 150 N, 190 N y 225 N.

Para clasificar los resultados, se pueden diferenciar 5 tipos de situaciones distintas:

- **Atascamiento:** esta situación se suele dar cuando el robot no aplica una fuerza suficiente para extraer la pieza del molde y permanece en un bucle infinito en el que intenta tirar y no puede extraer.
- **Deslizamiento:** en este caso el robot tampoco ha aplicado la fuerza suficiente para desmoldear la pieza, pero en el proceso de extracción, ésta se resbala de la pinza y el robot la pierde.
- **Daño:** en esta situación, el robot aplica la fuerza suficiente para extraer la pieza del molde, sin embargo, durante el proceso, el robot ha arañado o dañado de alguna forma la pieza. Pese a realizar el desmoldeo, la fuerza aplicada sigue siendo reducida, gasta mucho tiempo en realizar la tarea y el robot daña la pieza en el proceso.
- **Rotura:** en este caso el robot ha aplicado demasiada fuerza y la pieza deformable se rompe.
- **Desmoldeo:** esta es la situación que se busca, el robot aplica la fuerza suficiente para desmoldear la pieza sin que esta sufra ningún daño o rotura.

Tras los 30 ciclos de producción (como el molde tiene 2 huecos para piezas, equivale a 60 piezas producidas en total) con las distintas fuerzas aplicadas, la Tabla 1 muestra la clasificación en porcentajes de las diferentes situaciones estudiadas.

Tabla 1: Ratio de éxito en el desmoldeo con distintas fuerzas.

	Fuerzas en Newtons (N)		
	150	190	225
Atascamiento (%)	43	22	0
Deslizamiento (%)	17	12	6
Daño (%)	0	7	3
Rotura (%)	0	3	11
Desmoldeo (%)	40	56	80

De los resultados podemos extraer las siguientes conclusiones representadas en gráficas mediante una curva azul que muestra los datos de la tabla y una curva de puntos naranja que muestra la tendencia de esos resultados al aplicar más o menos fuerza. En primer lugar, en la Figura 8 se puede observar la tendencia que sigue la curva de las situaciones donde la pieza se queda atascada en el molde. Como es de esperar, cuanto menos fuerza se aplica, el robot es menos capaz de extraer las piezas y una vez superada cierta fuerza, esta situación no sucede más.

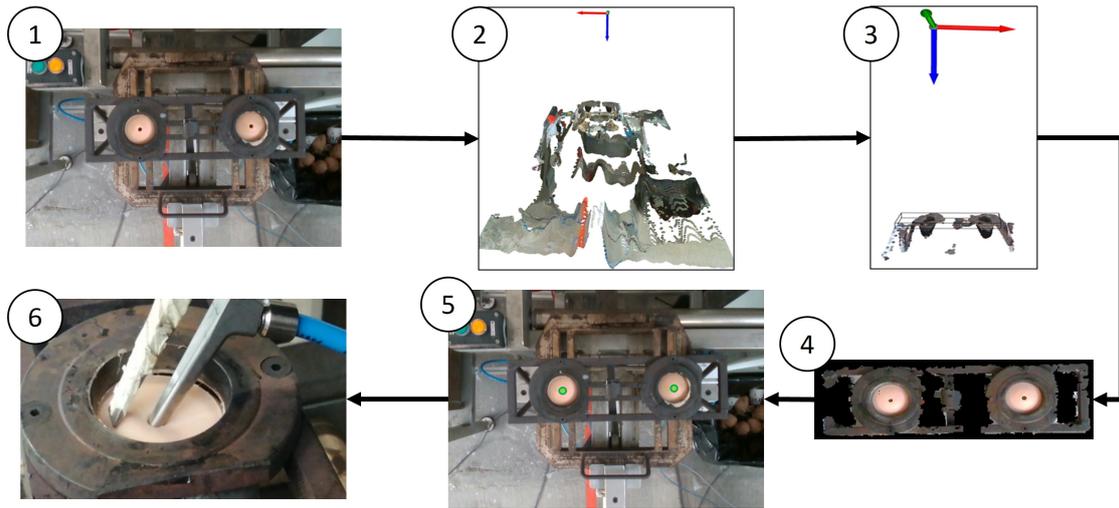


Figura 6: Pasos del algoritmo de detección.

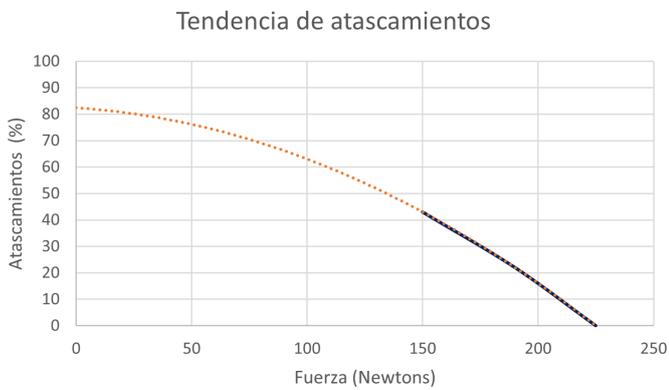


Figura 8: Tendencia de las situaciones de pieza atascada acorde a la fuerza aplicada por el robot.

Por otro lado, en la Figura 9 se muestra cómo evoluciona la curva de las situaciones de deslizamiento, donde es mayor cuando aplicamos poca fuerza, pero no es tan elevada como el caso de que la pieza se quede atascada.

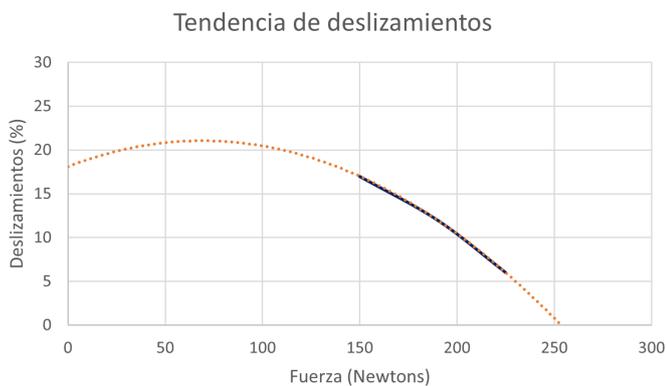


Figura 9: Tendencia de las situaciones de deslizamiento acorde a la fuerza aplicada por el robot.

Como se puede observar en la Figura 10, las situaciones en las que el robot daña las piezas se dan sobre todo en fuerzas intermedias, donde aplica suficiente fuerza para desmoldear la pieza, pero no la suficiente como para hacerlo rápido y la pieza

sufre daños durante el proceso.

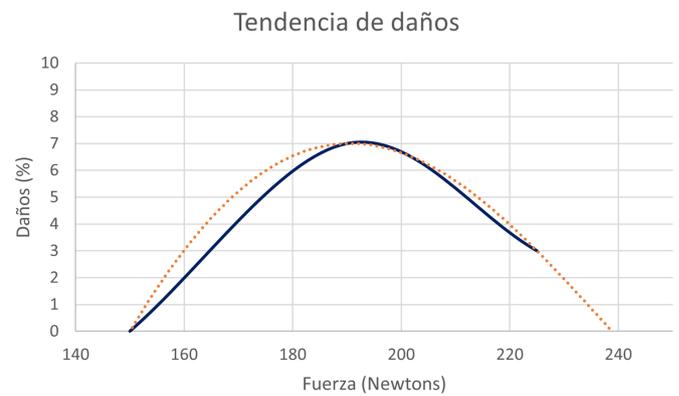


Figura 10: Tendencia de las situaciones de daño a la pieza acorde a la fuerza aplicada por el robot.

En cuanto a las situaciones en las que la pieza se rompe, como muestra la Figura 11, la probabilidad de que haya más casos aumenta conforme lo hace la fuerza que aplicamos.



Figura 11: Tendencia de las situaciones de rotura acorde a la fuerza aplicada por el robot.

Por último, se puede observar en la Figura 12 el crecimiento en el porcentaje de casos de éxito conforme la fuerza aumenta.

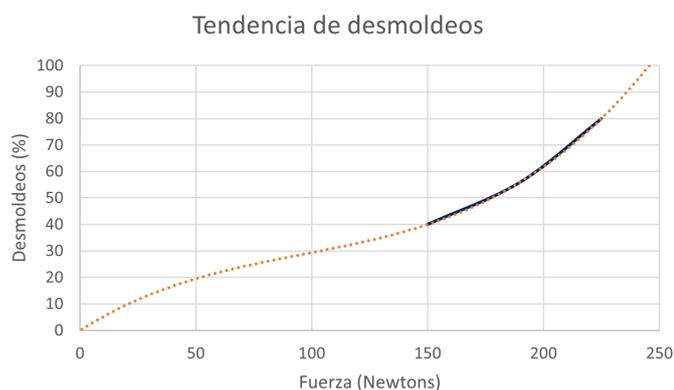


Figura 12: Tendencia de las situaciones de desmoldeo acorde a la fuerza aplicada por el robot.

Finalmente, se observa en las gráficas la dependencia que tiene el sistema a la fuerza que aplica el robot en la extracción. Si no se aplica la fuerza suficiente, la pieza no será extraída o será dañada. Sin embargo, si se aplica demasiada fuerza, se puede llegar a romper. Por lo que, se ha de buscar un buen balance de fuerza ejercida que sea elevada.

5. Conclusiones

Como conclusión, se puede decir que se ha logrado desarrollar un sistema robótico capaz de realizar la tarea de desmoldeo de piezas deformables y flexibles a través de un sistema de visión y un control de la fuerza aplicada por el robot. Este avance repercute de manera directa en los operarios del sector, ya

que podrán abandonar la realización de esta tarea tan exigente a nivel físico, y podrán desempeñar otro tipo de funciones que requieran más habilidad sin dejar a un lado el proceso de roto-moldeo (tarea de llenado, colocación de moldes, etc.). De esta manera, la integración de este sistema robótico inteligente no es laboralmente intrusivo para ellos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido apoyado con la beca de referencia UAIND21-06B. 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

- Lahoud, M., Marchello, G., Abidi, H., D'Imperio, M., Cannella, F., 08 2021. Robotic Manipulation System for Multi-Layer Fabric Stitching. Vol. Volume 7: 17th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA) of International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. V007T07A037.
- Lin, N., Zhang, L., Chen, Y., Zhu, Y., Chen, R., Wu, P., Chen, X., 2019. Reinforcement learning for robotic safe control with force sensing. In: 2019 WRC Symposium on Advanced Robotics and Automation (WRC SARA). pp. 148–153.
- Navarro-Alarcon, D., Yip, H. M., Wang, Z., Liu, Y.-H., Zhong, F., Zhang, T., Li, P., 2016. Automatic 3-d manipulation of soft objects by robotic arms with an adaptive deformation model. IEEE Transactions on Robotics 32 (2), 429–441.