

Control de fuerza asistida para tareas de desmoldeo mediante robótica

Sánchez-Martínez, D.^{a,*}, Cartagena, D.^a, Micó, J.^a

^aAIJU - Asociación de investigación de la industria del juguete conexas y afines. Av. de la Industria, 23, 03440 Ibi, Alicante, España

Resumen

El desmoldeo en sectores manufactureros tradicionales continúa realizándose de forma manual debido a la variabilidad del proceso y a la necesidad de intervención experta, lo que implica elevados esfuerzos físicos y riesgos ergonómicos. Este trabajo presenta el desarrollo e implementación de un sistema de asistencia robótica colaborativa basado en una estrategia híbrida de control de impedancia–admitancia para amplificación controlada de fuerza humana en el sector del juguete. El operario genera la referencia de movimiento mediante interacción directa, mientras el robot aporta asistencia configurable en la tarea. La arquitectura de control, implementada íntegramente en ROS, integra un sensor externo de fuerza/par complementario a la sensorización interna del manipulador, permitiendo una estimación precisa de la fuerza aplicada y una modulación estable del esfuerzo asistido. El sistema se valida experimentalmente mediante un banco de ensayos con cilindro neumático que reproduce resistencias equivalentes al proceso de desmoldeo, evaluando distintos porcentajes de asistencia y límites de seguridad.

Palabras clave: Robótica, Sistemas humano-máquina, Diseño de control, Modelado, identificación y procesamiento de señales, Control de plantas de manufactura

Assisted Force Control for Demoulding Tasks Using Robotics

Abstract

Demoulding in traditional manufacturing sectors continues to be carried out manually due to the variability of the process and the need for expert intervention, which involves high physical effort and ergonomic risks. This work presents the development and implementation of a collaborative robotic assistance system based on a hybrid impedance-admittance control strategy for controlled amplification of human force in the toy sector. The operator generates the movement reference through direct interaction, while the robot provides configurable assistance in the task. The control architecture, implemented entirely in ROS, integrates an external force/torque sensor complementary to the internal sensorisation of the manipulator, allowing for accurate estimation of the applied force and stable modulation of the assisted effort. The system is experimentally validated using a test bench with a pneumatic cylinder that reproduces resistances equivalent to the demoulding process, evaluating different assistance percentages and safety limits.

Keywords: Robotics, Human-Machine Systems, Control Design, Modelling, Identification and Signal Processing, Manufacturing Plant Control

1. Introducción

A pesar del elevado nivel de automatización alcanzado en numerosos procesos industriales, ciertos sectores manufactureros tradicionales continúan dependiendo de operaciones manuales en fases críticas del ciclo productivo. Entre ellas, el desmoldeo de piezas constituye una tarea especialmente representativa en industrias como la del plástico y el juguete, donde la extracción manual de componentes tras procesos de rotomol-

deo o conformado sigue siendo habitual. Esta operación requiere aplicar fuerzas significativas para separar la pieza del molde (Figura 1), enfrentándose a la gran adherencia, fricción y variabilidad geométrica que dificultan su automatización completa. En la práctica, la experiencia del operario resulta determinante para identificar el momento de liberación inicial, modular la dirección del esfuerzo y evitar daños tanto en la pieza como en el utillaje.

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

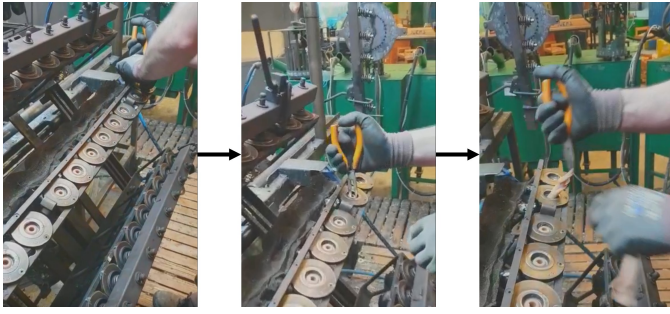


Figura 1: Desmoldeo manual.

Sin embargo, el carácter repetitivo de la tarea y la magnitud de las fuerzas implicadas generan una elevada carga física y riesgos ergonómicos acumulativos. En muchas pequeñas y medianas empresas del sector plástico, la inversión en soluciones de automatización total no resulta viable debido a la variabilidad del proceso, los cambios frecuentes de referencia y los costes asociados a sistemas rígidos y altamente especializados.

En este contexto, la transferencia tecnológica hacia modelos de colaboración humano-robot emerge como una estrategia intermedia de alto impacto. Frente a la sustitución completa del operario, los sistemas colaborativos permiten preservar el conocimiento experto del trabajador, quien continúa tomando decisiones y guiando la operación, mientras el robot asume la mayor parte del esfuerzo físico. Este enfoque se centra como elemento potenciador de las capacidades humanas.

No obstante, la implementación efectiva de asistencia colaborativa en tareas de esfuerzo requiere estrategias de control que garanticen interacción estable, amplificación segura de fuerza y adaptación a distintos perfiles de usuario. En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema de desmoldeo asistido que integra control híbrido de impedancia-admitancia, sensorización externa de fuerza y una arquitectura distribuida basada en ROS1, orientada a facilitar su integración en entornos manufactureros convencionales.

2. Estado del Arte

En determinados sectores manufactureros tradicionales, como el del plástico y el juguete, el nivel de automatización sigue siendo reducido en comparación con industrias altamente estandarizadas. Aunque existen propuestas de robotización para tareas de manipulación y extracción de piezas, muchas de ellas se centran en automatización completa de la operación, sustituyendo la intervención humana mediante soluciones específicas o altamente integradas. Sin embargo, estas aproximaciones suelen requerir condiciones controladas y adaptación de utillajes. Frente a ello, el sistema propuesto en este trabajo no persigue la sustitución del operario, sino su asistencia directa, preservando su experiencia en la tarea y facilitando una transferencia tecnológica viable en entornos reales con baja automatización.

La interacción humano-robot (HRI) está siendo ampliamente estudiada como marco para colaboración segura, estableciendo fundamentos teóricos para el contacto físico controlado entre humano y manipulador (Luca and Mattone, 2005). Estas contribuciones sientan las bases de seguridad y estabilidad en entornos colaborativos. No obstante, gran parte de estos

desarrollos se han validado en contextos experimentales o aplicaciones generales de manipulación. El sistema aquí presentado se orienta específicamente a una tarea industrial concreta de esfuerzo manual, implementado y validado en un entorno físico real, demostrando su aplicabilidad directa en procesos productivos tradicionales.

El control de impedancia y el control de admitancia constituyen los enfoques más extendidos para modelar el comportamiento dinámico durante la interacción (Ott et al., 2007). Estas estrategias permiten definir comportamientos masa-resorte-amortiguador virtuales para regular la relación fuerza-movimiento. Mientras que muchas aplicaciones emplean estos esquemas para teleoperación o manipulación cooperativa genérica, el sistema desarrollado en este trabajo introduce una amplificación configurable del esfuerzo humano, integrando explícitamente el porcentaje de asistencia como parámetro operativo adaptado al perfil del usuario y a la tarea de desmoldeo.

La integración de sensores externos de fuerza/par ha demostrado mejorar la precisión en la estimación de interacción frente al uso exclusivo de modelos internos del robot (Biesenbach et al., 2015). Este principio es adoptado en el presente sistema mediante la incorporación de un sensor externo adicional al del manipulador, permitiendo una medición robusta de la fuerza aplicada por el operario. A diferencia de aproximaciones basadas en visión o percepción externa, la solución propuesta no emplea cámaras ni sistemas ópticos, evitando problemas de oclusión y simplificando la integración industrial, ya que la intención del usuario se obtiene directamente mediante interacción física.

Por otro lado, el enfoque Forward Dynamics Compliance Control (FDCC) propone una arquitectura que combina impedancia, admitancia y control de fuerza bajo un marco de dinámica directa (Scherzinger et al., 2017). Esta formulación demuestra la viabilidad de integrar distintos esquemas de control en una arquitectura unificada. El sistema presentado utiliza este enfoque, implementado completamente en ROS, orientado a asistencia industrial configurable y validado experimentalmente en un banco físico de resistencia neumática, en lugar de entornos puramente académicos.

Más recientemente, se han desarrollado estrategias de admitancia variable y adaptativa para mejorar estabilidad y confort ante cambios en la interacción (Dimeas and Aspragathos, 2020). Estas investigaciones subrayan la importancia de modular dinámicamente el comportamiento del sistema. En línea con ello, el sistema propuesto incorpora límites de seguridad en fuerza humana y modulación de asistencia en tiempo real, priorizando robustez y simplicidad operativa para su implementación en pequeñas y medianas empresas.

En trabajos previos, los autores han abordado el desmoldeo mediante automatización completa con sistemas robóticos inteligentes (Sánchez-Martínez et al., 2023a,b), demostrando su viabilidad en entornos controlados. Sin embargo, estas soluciones requieren mayor estructuración y complejidad, lo que limita su aplicabilidad en entornos industriales variables. En contraste, el enfoque propuesto se basa en la colaboración humano-robot, donde el operario guía la tarea y el robot proporciona asistencia, facilitando su integración en contextos con baja automatización.

En conjunto, aunque la literatura proporciona marcos sólidos para el control por fuerza y la interacción física segura, existe una brecha en su aplicación directa a tareas manuales específicas de sectores con baja automatización. El sistema desarrollado aborda esta brecha mediante una solución colaborativa real, sin dependencia de visión artificial, que asiste al operario en lugar de sustituirlo y que ha sido validada experimentalmente bajo condiciones controladas de resistencia equivalentes al proceso de desmoldeo.

3. Metodología

El sistema experimental se basa en un manipulador colaborativo UR16e (Universal Robots), el cual integra un sensor interno de fuerza/par en el extremo del brazo. Este sensor interno es el que permite detectar la interacción directa del operario con el robot.

Sobre el extremo del robot se ha instalado un mango impreso en 3D, cuya función es permitir que el operario aplique fuerza de tracción directamente sobre el manipulador. El operario interactúa físicamente con el robot a través de este mango, y la intención de movimiento se obtiene principalmente a partir de las lecturas del sensor de fuerza interno del UR16e.

A continuación del mango, en serie, se integra un sensor externo de fuerza/par Bota Systems T80. Este sensor no mide la fuerza aplicada por el operario, sino la carga transmitida hacia el entorno resistivo. En su extremo distal se dispone una argolla mecánica, a la cual se conecta una cuerda de tracción que enlaza con el vástago de un cilindro neumático.

El cilindro neumático actúa como elemento resistivo pasivo. Mediante la regulación de la presión, genera una fuerza opuesta al desplazamiento, simulando la resistencia equivalente a un proceso de desmoldeo.

Esta configuración mecánica mostrada en la Figura 2(a) permite desacoplar claramente dos magnitudes:

- La fuerza de interacción humano-robot, medida por el sensor interno del UR16e.
- La fuerza de carga o resistencia aplicada por el entorno, medida por el sensor externo Bota T80.

En la Figura 2(b) se muestra el set-up real para las pruebas. De este modo, el sistema puede distinguir entre intención humana y carga efectiva transmitida al entorno, lo que resulta clave para implementar la estrategia de asistencia y evaluar experimentalmente la amplificación de esfuerzo.

3.1. Arquitectura de control

En este trabajo, se emplean principalmente los controles de posición y fuerza.

Como se ha mencionado previamente, se ha implementado el control utilizando FDCC (Scherzinger et al., 2017), lo que permite integrar técnicas de control de impedancia, admitancia y fuerza. Esta combinación ofrece una flexibilidad notable, ya que posibilita comandar el robot en términos de posición, fuerza o conformidad.

3.1.1. Control de Posición Deseada

El control de posición deseada permite al robot alcanzar una posición específica en el espacio, ajustando su movimiento en función de las interacciones con el entorno. En el caso de nuestro sistema, la posición deseada se deriva de la interacción del operario con el robot. El operario agarra el mango del robot y, al moverlo, transmite una fuerza a través del mango. Este movimiento es detectado por el sensor de fuerza interno del robot, el cual mide la fuerza aplicada por el operario. La fuerza detectada se transforma en incrementos de posición, lo que permite que el robot se mueva en respuesta a las acciones del operario, pero controlando el movimiento en términos de fuerza, y no de posición absoluta. El sensor interno del robot no mide únicamente la fuerza del operario, sino la resultante de todas las fuerzas en el efector final, incluyendo la resistencia del entorno. Por ello, la fuerza del operario se estima como la diferencia entre la medida del sensor interno y la fuerza de resistencia proporcionada por el sensor externo BotaSys.

Este enfoque permite al operario guiar el robot de forma intuitiva, simplemente aplicando fuerza sobre el mango, y el sistema traduce esta fuerza a movimientos suaves e intuitivos en la dirección deseada. A diferencia del modo de guiado manual nativo del robot, la estrategia implementada permite trabajar bajo un control externo, lo que posibilita la introducción y modificación de parámetros del sistema como el porcentaje de asistencia, los límites de fuerza del operario o la modulación del comportamiento dinámico durante la tarea.

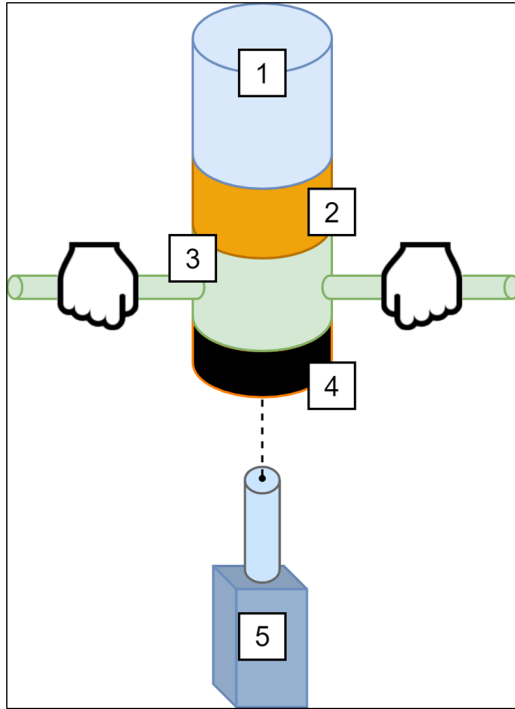
3.1.2. Control de Fuerza Deseada

Por otro lado, el control de fuerza deseada ajusta la fuerza que el robot aplica sobre los objetos o el entorno. Este enfoque es crucial cuando se requiere que el robot mantenga o modifique la fuerza aplicada, por ejemplo, al enfrentar una resistencia externa como la que se presenta en tareas de desmoldeo. Cuando el robot está en movimiento y detecta resistencia durante el desplazamiento, medida a través del sensor externo de fuerza Bota T80, la fuerza de resistencia generada por la pieza que se está desmoldeando se mapea como fuerza deseada.

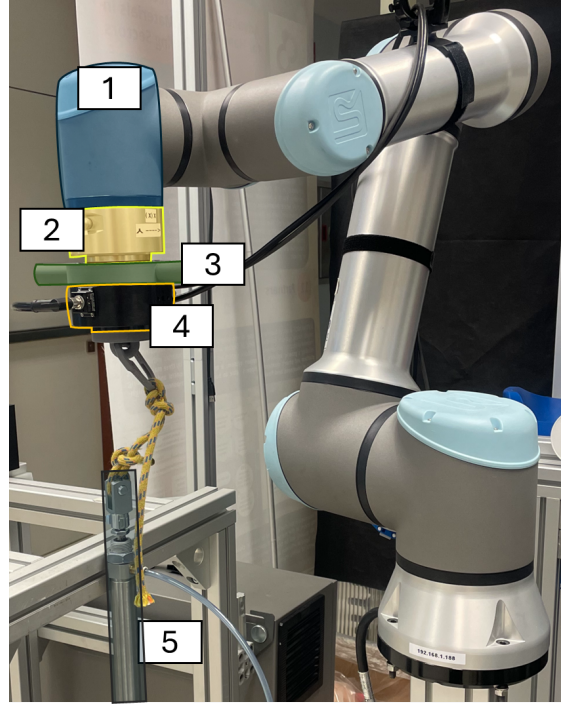
De esta manera, el robot ajusta su movimiento en función de la fuerza detectada y la dirección guiada por el operario. El control de fuerza deseada asegura que el robot se mueva con la suficiente fuerza para vencer la resistencia generada por el material o la pieza que está siendo desmoldeada, pero siguiendo siempre la dirección comandada por el operario a través del mango.

Así, el sistema permite que el robot mantenga el movimiento de acuerdo a la intención del operario, mientras asegura que la fuerza aplicada se ajuste para superar la resistencia sin comprometer el control de la tarea. En este contexto, aunque el sistema lo permite, no se consideran efectos de torsión ni componentes laterales, centrándose el control en la componente axial de la fuerza. Tampoco se incluye en los cálculos el factor de deformación elástica de la cuerda.

Sin embargo, en esta tarea, el robot no aplica el 100 % de la fuerza necesaria para realizar el desmoldeo, sino solo un porcentaje destinado a acompañar el movimiento del operario. De no ser así, el robot realizaría la tarea de forma completamente autónoma, sin intervención del operario, moviéndose de manera bruta y únicamente en la dirección contraria a la resistencia,



(a) Diseño de configuración del sistema.



(b) Montaje real.

Figura 2: Instalación robótica para el desmoldeo asistido. 1) Robot UR16e. 2) Extremo del robot donde se ubica el sensor de fuerza y torque. 3) Mango para el operario. 4) Sensor de fuerza y torque industrial SensONE T80 de Bota Systems. 5) Cilindro neumático para simular el desmoldeo.

sin controlar el movimiento de manera precisa.

De esta manera se aplica la siguiente modelo matemático:

$$F_a = \begin{cases} \alpha F_r & \text{si } (1 - \alpha) F_r \leq F_{\max} \\ F_r - F_{\max} & \text{si } (1 - \alpha) F_r > F_{\max} \end{cases} \quad (1)$$

Las variables del modelo mostradas la Ecuación 1 describen la interacción humano-robot durante la tarea. La fuerza de resistencia F_r es la carga medida por el sensor BotaSys, la fuerza asistida F_a es la aplicada por el robot, y F_h corresponde al esfuerzo del operario. El parámetro α define el porcentaje de asistencia, mientras que F_{\max} establece el límite máximo de fuerza permitido al operario por motivos de seguridad.

Así pues, el sistema es capaz de detectar las distintas fuerzas y enviar al robot los comandos de movimiento y aplicación de fuerza como se muestra en el esquema de la Figura 3.

4. Arquitectura de control

La arquitectura de control implementada se basa en la integración de varios dispositivos para la interacción del sistema robótico basado en ROS1. A continuación se describe la configuración mostrada en la Figura 4:

- **UR16e (Robot):** El robot colaborativo UR16e es controlado a través del paquete de *UR ROS Driver*, que permite la comunicación entre el robot y el sistema de software. Este driver permite enviar comandos al robot y recibir retroalimentación sobre su estado.
- **Sensor de Fuerza Interno del UR:** El sensor de fuerza interno del UR mide la fuerza aplicada por el operario cuando éste agarra el mango del robot. Esta fuerza se

mapea a movimientos de posición del robot, mediante el control de impedancia, permitiendo que el operario guíe el movimiento mientras se ajusta la interacción física.

- **BotaSys (Sensor de Fuerza Externo):** El sensor externo BotaSys mide la fuerza de resistencia que el robot experimenta al interactuar con el entorno (cilindro neumático). La fuerza de resistencia medida se utiliza como referencia de fuerza deseada en el control de fuerza, permitiendo que el robot ajuste su movimiento para superar dicha resistencia sin sobrecargar al operario.
- **FDCC (Forward Dynamics Compliance Control):** El sistema de control híbrido combina las técnicas de impedancia y admitancia, integrando la fuerza aplicada por el operario y la resistencia detectada por el sensor BotaSys. El sistema ajusta el movimiento en función de la fuerza, permitiendo que el operario controle el robot de manera colaborativa sin que éste realice la tarea de manera completamente autónoma.
- **Comunicaciones:** La comunicación entre los dispositivos se realiza a través de Ethernet para el robot y el *UR ROS Driver*, y a través de EtherCAT para el sensor BotaSys, lo que permite una transferencia de datos rápida y sincronizada entre los dispositivos. De esta forma, el módulo del UR, *External Control*, permite que el robot se pueda controlar desde el PC sin necesidad de programación a través del Teach Pendant. Dado que el BotaSys permite un máximo de 3800Hz, limitamos la frecuencia de muestreo en 50Hz para evitar la saturación del sistema.

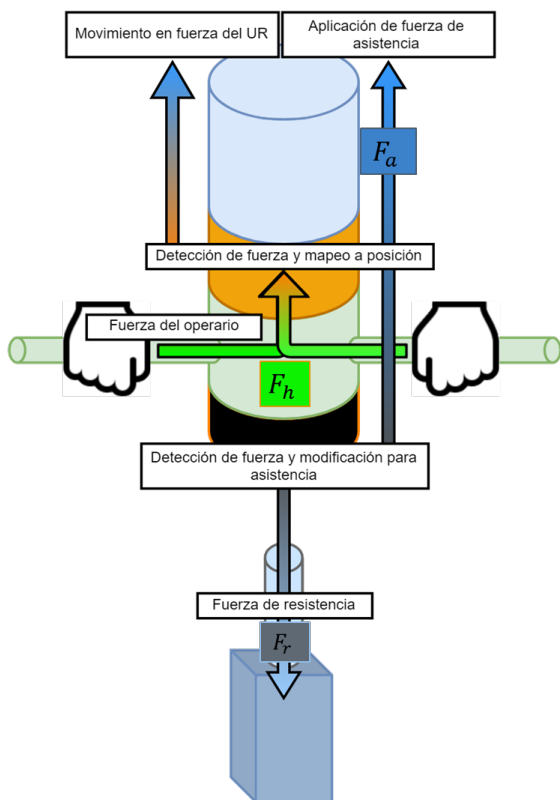


Figura 3: Esquema de funcionamiento de detección y envío de fuerzas.

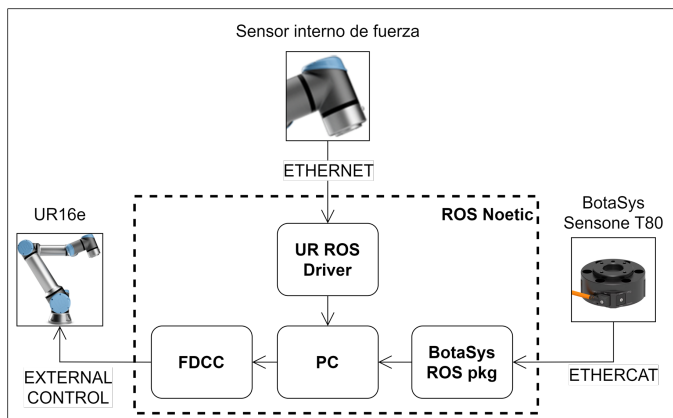


Figura 4: Arquitectura ROS empleada.

5. Experimentación

Las pruebas experimentales tienen como objetivo evaluar el comportamiento del sistema de asistencia robótica en tareas de desmoldeo simulado. Se busca determinar cómo la asistencia variable proporcionada por el robot impacta en el esfuerzo físico del operario y la efectividad del sistema bajo diferentes condiciones de carga.

Los parámetros de interés son los siguientes:

- Porcentaje de asistencia:** Define la relación entre la fuerza ejercida por el robot y la fuerza de resistencia de

la tarea detectada por el sistema. Un α del 50 % indica que el robot aplicará la mitad de la fuerza de resistencia detectada por el sensor, mientras que el operario sigue controlando la acción de tracción.

- Fuerza máxima:** La fuerza máxima permitida para que el operario ejerza durante la tarea. Esto se limita para evitar que el operario aplique esfuerzos excesivos.

Las pruebas se estructuran en dos fases principales. En la primera fase, se varía el porcentaje de asistencia, manteniendo constante el valor de la fuerza máxima permitida y la presión del cilindro. Este ajuste permite observar cómo varía la fuerza total aplicada por el sistema, tanto la fuerza aplicada por el operario como la fuerza asistida por el robot. En la segunda fase, se mantiene el porcentaje de asistencia constante y se varía el valor de la fuerza máxima, lo que permite estudiar cómo influye la capacidad del operario para aplicar fuerza en la interacción con el sistema asistido.

6. Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en las pruebas experimentales, donde se variaron el porcentaje de asistencia y la fuerza máxima del operario para estudiar su impacto en el esfuerzo físico del operario y la efectividad del sistema de asistencia robótica. Se muestran las siguientes gráficas que ilustran cómo estos parámetros afectan la fuerza aplicada por el operario, la fuerza de resistencia y la fuerza asistida.

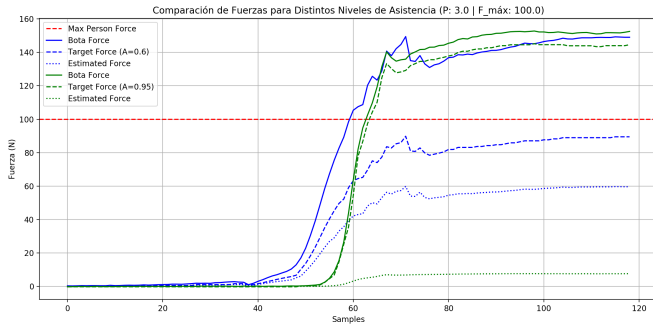
6.1. Comparativa de porcentajes de asistencia

La Figura 5(a) muestra una gráfica que compara los resultados obtenidos con un porcentaje de asistencia alto (95 %) frente a un porcentaje de asistencia bajo (60 %). Esta comparación muestra cómo la fuerza aplicada por el operario varía en función de la fuerza total aplicada por el sistema. A medida que el porcentaje de asistencia aumenta, el esfuerzo físico del operario disminuye significativamente, ya que el robot asume más de la fuerza de resistencia. La gráfica ilustra claramente cómo el operario aplica menos fuerza cuando el robot proporciona mayor asistencia.

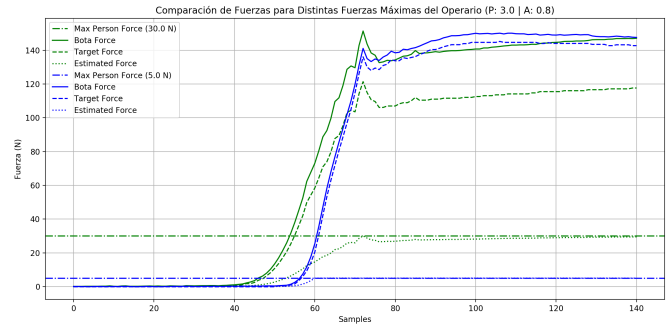
6.2. Comparativa de límites de fuerza máxima del operario

En este conjunto de pruebas, se analiza el comportamiento del sistema cuando se establece un límite de fuerza máxima para el operario. Este límite tiene como objetivo garantizar que el operario no aplique esfuerzos excesivos durante la tarea. Es decir, si el operario llega a su límite de fuerza, el sistema calcula la fuerza total que el robot debe aplicar. El robot ajusta la fuerza asistida para que el operario no tenga que superar el límite de fuerza predeterminado. Esto asegura que el esfuerzo del operario se mantenga dentro de niveles seguros, mientras el robot asume la carga restante.

En las gráficas de la Figura 5(b), se comparan dos escenarios: uno con un límite de fuerza máxima bajo (5N) y otro con un límite de fuerza máxima más alto (30N). En ambos casos, el robot ajusta la fuerza asistida para garantizar que el operario no supere los niveles de esfuerzo seguros. Dentro del rango comprendido entre 0 N y el límite de fuerza establecido, la asistencia se aplica de forma proporcional mediante el porcentaje definido. Sin embargo, cuando el operario alcanza dicho límite,



(a) Comparación del sistema con distinto porcentaje de asistencia del 60 % (azul) y 95 % (verde).



(b) Comparación del sistema con distinto límite de fuerza del operario de 5N (azul) y 30N (verde).

Figura 5: Comparativa de funcionamiento del sistema con variación de parámetros de porcentaje de asistencia (5(a)) y límite máximo de la fuerza permitida para el operario (5(b)). La línea continua representa la fuerza de resistencia de la tarea, la línea rayada indica la fuerza comandada al robot, la línea punteada muestra la fuerza aplicada por el operario y la línea roja a rayas marca el límite de la fuerza permitida para el operario.

el sistema modifica su comportamiento y el robot asume la carga restante necesaria para superar la resistencia, manteniendo constante la fuerza aplicada por el operario y evitando que esta se incremente.

7. Conclusiones

Los resultados obtenidos en las pruebas experimentales demuestran que el sistema de asistencia robótica propuesto es efectivo para reducir el esfuerzo físico del operario durante tareas de desmoldeo simulado. La capacidad de ajustar el porcentaje de asistencia permite que el robot asuma una parte significativa de la fuerza de resistencia, lo que disminuye considerablemente el esfuerzo requerido por el operario. A medida que el porcentaje de asistencia aumenta, el operario aplica menos fuerza, lo que evidencia la capacidad del sistema para adaptarse a las necesidades del usuario y mejorar la ergonomía en tareas exigentes.

Además, el sistema ha mostrado un control efectivo del límite de fuerza máxima del operario, garantizando que no se superen los niveles de seguridad establecidos. Al superar este límite, el robot asume el 100 % de la carga restante, evitando que el operario aplique esfuerzos excesivos. Este enfoque garantiza un balance adecuado entre el control del operario y la asistencia proporcionada por el robot, asegurando que el operario pueda completar la tarea sin sobrecargar su capacidad física.

En resumen, el sistema no solo optimiza la eficiencia del operario, sino que también mejora la seguridad laboral al evitar riesgos asociados con esfuerzos físicos excesivos. El control dinámico de la fuerza asistida y la interacción colaborativa entre

el operario y el robot permiten realizar tareas que tradicionalmente son manuales, como el desmoldeo, con mayor comodidad y menos fatiga.

8. Agradecimientos

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del proyecto ROBOTASUDOE, financiado bajo el programa Interreg Sudoe a través del Acuerdo de Subvención No. S1/1.1/P0125.

Referencias

- Biesenbach, R., Zaeh, M. F., et al., 2015. Force-torque sensor integration in industrial robot control. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). pp. 2961–2966.
- Dimeas, C., Aspragathos, N., 2020. Admittance control for physical human–robot interaction: A survey. *Robotics and Autonomous Systems* 126, 103451.
- Luca, A. D., Mattone, R., 2005. Sensorless robot collision detection and hybrid force/motion control. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). pp. 999–1004.
- Ott, C., Albu-Schäffer, A., Hirzinger, G., 2007. A unified passivity-based control framework for position, torque and impedance control of flexible joint robots. *The International Journal of Robotics Research* 26 (1), 23–39.
- Scherzinger, S., Roennau, A., Dillmann, R., 2017. Forward dynamics compliance control (fdcc): A new approach to cartesian compliance for robotic manipulators. In: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). pp. 4568–4575.
- Sánchez-Martínez, D., Jara, C., Gomez-Donoso, F., 2023a. Robotoy demoulding: Robotic demoulding system for toy manufacturing industry. In: *Automation and Robotics - Volume 1: ICINCO*. pp. 546–553.
- Sánchez-Martínez, D., Jara, C. A., Gomez-Donoso, F., 2023b. A new automatic method for demoulding plastic parts using an intelligent robotic system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 129, 3109–3121.