



## ENSAMBLAJE DE CINTURONES DE SEGURIDAD VEHICULARES ASISTIDO POR COBOT Y ROBODK

### ASSEMBLY OF AUTOMOTIVE SEATBELTS ASSISTED BY COBOT AND ROBODK

Kevyn Obed Manzano-Ibarra<sup>1</sup> , Ivón Oristela Benítez-González<sup>2</sup> ,  
 José Manuel Bernal-de Lázaro<sup>2,3,\*</sup>

Recibido: 04-09-2025, Recibido tras revisión: 15-01-2026, Aceptado: 21-04-2026, Publicado: 01-07-2026

#### Resumen

En la industria automotriz moderna se han adoptado ampliamente diversos principios y paradigmas de la Industria 4.0 para mejorar la flexibilidad, eficiencia y calidad en sus procesos. Sin embargo, varios subprocesos en este sector industrial aún dependen de los operarios y de tareas manuales o repetitivas, las cuales suelen ser altamente susceptibles a errores humanos que impactan negativamente en la calidad del producto final e implican elevados sobrecostos de operación. El presente estudio atiende dicha problemática mediante un enfoque de robótica colaborativa aplicado a celdas de manufactura y propone la integración de un cobot para el ensamblaje de cinturones de seguridad vehiculares en la planta de ZF en Tamaulipas, México. La propuesta utiliza RoboDK para simular y evaluar la implementación de un cobot de Universal Robots con el propósito de aumentar la eficiencia operativa y reducir la tasa de defectos en la estación de prensa. Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad de la simulación y permiten llevar a cabo el análisis funcional y la validación de las configuraciones en la celda de manufactura a partir de la integración segura del cobot, garantizando el cumplimiento de la especificación técnica ISO/TS 15066. El sistema implementado muestra un potencial significativo en cuanto a eficiencia, flexibilidad operacional y reducción de costos en el proceso productivo.

**Palabras clave:** industria automotriz, Industria 4.0, robótica colaborativa, cobot, RoboDK, Universal Robots, simulación digital

#### Abstract

In the modern automotive sector, Industry 4.0 principles have been widely adopted to enhance flexibility, efficiency, and quality in production processes. Nonetheless, several automotive subprocesses still rely on operators for manual or repetitive tasks, which are highly susceptible to human error and may compromise product quality while increasing operating costs. This study addresses this challenge by implementing a collaborative robotic solution for manufacturing environments. Specifically, it proposes the integration of a cobot for the assembly of automotive seatbelts at the ZF plant in Tamaulipas, Mexico. RoboDK is used to simulate and evaluate a Universal Robots cobot intended to increase operational efficiency and reduce defect rates at the press station. The results demonstrate the feasibility of the proposed simulation approach, enabling the functional analysis and validation of multiple configurations within the manufacturing cell while ensuring the safe integration of the collaborative robot (cobot). Furthermore, the proposed solution supports safe human-robot collaboration in compliance with the ISO/TS 15066 technical specification. Overall, the implemented system shows significant potential to improve efficiency and operational flexibility while reducing costs in the production process.

**Keywords:** automotive industry, Industry 4.0, collaborative robotics, cobot, digital simulation, RoboDK, Universal Robots

<sup>1</sup>Universidad Internacional de Valencia, España.

<sup>2</sup>Universidad Internacional de La Rioja, España.

<sup>3,\*</sup>Instituto Politécnico de la Universidad do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.   
 Autor para correspondencia ✉: jose.lazaro@iprj.uerj.br.

Forma sugerida de citación: K. O. Manzano-Ibarra, I. O. Benítez-González y J. M. Bernal-de Lázaro. "Ensamblaje de cinturones de seguridad vehiculares asistido por cobot y RoboDK," *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*, N.º 36, pp. 9-18, 2026. DOI: <https://doi.org/10.17163/ings.n36.2026.01>.

## 1. Introducción

La Industria 4.0 ha tenido un impacto significativo en el sector automovilístico. Desde sus inicios, este sector ha sido pionero en la adopción de nuevas tecnologías, que involucran soluciones basadas en sistemas de control inteligentes [1–4], robótica [5, 6] y realidad aumentada [7], para incrementar la productividad, la flexibilidad y la eficiencia en los procesos de fabricación de partes y piezas. En este ámbito, la robótica colaborativa, como pilar de la Industria 4.0, ha permitido el desarrollo y la automatización de tareas complejas relacionadas con la alimentación de máquinas, el montaje (por ejemplo, atornillado o inserción de piezas), el sellado, el pegado, el acabado de superficies, la soldadura y los controles de calidad [8].

En el marco normativo internacional vigente establecido por la especificación técnica ISO/TS 15066, el concepto de robot colaborativo ha sido actualizado, enfatizando que la colaboración no constituye una propiedad intrínseca del robot, sino una característica de la aplicación o de la tarea realizada. En este contexto, resulta más preciso referirse a aplicaciones o tareas colaborativas, en las cuales un robot industrial opera en interacción con humanos bajo modos y criterios específicos de seguridad, tales como la parada monitorizada, el guiado manual, el control de velocidad y separación, o la limitación de potencia y fuerza. En consecuencia, un mismo robot puede participar o no de manera activa en una aplicación colaborativa, dependiendo del entorno, la herramienta terminal y las condiciones operativas empleadas. Esta característica, junto a una fácil programación de los dispositivos, facilita la colaboración humano-máquina, brindando una mayor adaptabilidad a diferentes entornos industriales y niveles de seguridad laboral. De ahí el reciente auge de aplicaciones de robots colaborativos para el sector automovilístico [8–11].

Siendo así, en la actualidad, alrededor del 70 % de las unidades de producción automotriz están integrando robots industriales configurados para ejecutar tareas colaborativas, bajo modos de operación seguros que incrementan la flexibilidad y la eficiencia de los procesos. En este mismo sentido, el 50 % de los pequeños productores (pymes) están iniciando instalaciones piloto para compensar la falta de mano de obra y mejorar el rendimiento operativo [10, 11]. Este elevado interés ha propiciado que en el mercado de la robótica colaborativa se encuentren disponibles una gran variedad de soluciones industriales ofrecidas por diferentes proveedores. Entre ellas, se destacan soluciones de proveedores como Universal Robots con su e-Series, y otros como KUKA, Yaskawa Electric Corporation, ABB y Fanuc Corporation.

Aunque las soluciones basadas en cobots se han convertido en una opción muy atractiva para las empresas que buscan aumentar la eficiencia, calidad y

seguridad de sus procesos, la realidad es que dichas soluciones también requieren personal capacitado e infraestructura adecuada. A diferencia de los robots convencionales, que ocupan más espacio, requieren una programación más compleja suelen permanecer en una posición fija, los cobots ofrecen mayor flexibilidad, seguridad y facilidad de programación; además, permiten reubicar su posición gracias a su diseño compacto [12–14].

Las simulaciones operativas en estos tipos de robots son fundamentales para verificar posibles configuraciones sin exponer el área de trabajo a accidentes que puedan causar daños a las personas, a la infraestructura o al propio robot. El diseño a partir de simulación robótica asegura una integración eficaz que reduce los tiempos y costes que supone la parada de las líneas de producción, y permite optimizar procesos automatizados antes de su implementación real [15]. Particularmente, en este ámbito, el uso de RoboDK resulta adecuado por ser un software de simulación con una interfaz intuitiva y que no requiere conocimientos de programación para simular brazos robóticos.

En la estación de prensa de barras ubicada en la planta de ZF, en Reynosa, se identificó un problema de mal posicionamiento de las barras en la pieza, lo que provoca prensados defectuosos y genera pérdida de material. Además, en este entorno de producción, existe elevada interacción con otras personas y poco espacio físico. Para la automatización de este proceso productivo se requiere una solución basada en robótica colaborativa, siendo necesaria la selección y simulación de un brazo robótico compacto, con alta capacidad de interacción humano-máquina, que permita aumentar la eficiencia de la línea de producción y reducir el inadecuado manejo del material.

El presente artículo propone evaluar la implementación de un cobot de Universal Robots para la producción de cinturones de seguridad automovilísticos, utilizando para ello el enfoque de análisis comparativo y simulación robótica que provee el software RoboDK. Estas simulaciones operativas permiten identificar configuraciones idóneas para el cobot, de modo que sea posible mejorar los indicadores de eficiencia, calidad y seguridad en la estación de prensa de barras, sin afectar significativamente el área de trabajo, y garantizando también el cumplimiento del marco normativo internacional vigente establecido por la especificación técnica ISO/TS 15066.

## 2. Materiales y métodos

En este acápite se abordan el método de investigación, el análisis del proceso y las fases de la investigación.

## 2.1. Enfoque, metodología y fases de investigación

La solución presentada en este artículo utiliza una metodología híbrida de análisis comparativo y simulación que permite la selección e implementación de un cobot para automatizar la producción de cinturones de seguridad automovilísticos. En este contexto, el análisis comparativo es un método de investigación que utiliza la recolección, comparación y análisis de datos cualitativos y cuantitativos para una visualización más clara de las características de procesos, documentos u otros objetos, apoyándose en herramientas visuales para representar las características de los objetos estudiados.

Para el desarrollo de esta investigación, se aplican diversos instrumentos, entre los que destacan: (i) fichas técnicas de cobots de Universal Robots, (ii) manuales de operación del software RoboDK, y (iii) modelos CAD y modelos 3D obtenidos mediante el software Fusion360, considerando el área de trabajo de la estación prensa de barras. Para cumplir los objetivos establecidos, se aplicaron diversos enfoques de investigación, incluyendo el análisis cualitativo y cuantitativo del entorno de trabajo a fin de seleccionar el cobot adecuado, y validar su implementación a través de la simulación digital. Entre las técnicas utilizadas destacan:

1. Revisión documental: Se emplea para analizar especificaciones de los modelos de cobots de Universal Robots.
2. Análisis comparativo: Permite contrastar las diferencias de los criterios técnicos y económicos, utilizando tablas comparativas como herramienta de evaluación.
3. Simulación digital: Mediante RoboDK y Fusion360, permite modelar el entorno de trabajo, programar trayectorias, medir tiempos de ciclo, identificar interferencias con el entorno y validar la operatividad del cobot.

El análisis de datos para esta investigación se estructura en tres etapas fundamentales. En primer lugar, se realiza una comparación técnica entre los distintos modelos de cobots que ofrece Universal Robots, considerando especificaciones técnicas como la carga útil, el área de trabajo, la repetibilidad y los costos. Esta comparación es fundamental para no sobredimensionar el costo de la integración en el futuro. En la segunda etapa, se desarrolla una simulación digital del modelo del cobot seleccionado a través del software RoboDK. El objetivo de este paso es analizar diferentes parámetros clave, como el tiempo de ciclo, la identificación de posibles colisiones y la viabilidad de su integración en el entorno real en el área de trabajo de la estación de prensa de barras. Finalmente, se realiza una comparación de los resultados obtenidos en la simulación con

las condiciones reales del proceso, con el fin de validar la aplicabilidad de la solución propuesta.

En el ámbito de la automatización industrial y, específicamente, en la selección de brazos robóticos colaborativos, el análisis comparativo y la simulación digital desempeñan un papel esencial en las etapas iniciales de un proyecto. Ambas técnicas se complementan; el análisis comparativo permite evaluar y seleccionar el modelo más adecuado en función de las especificaciones técnicas requeridas, mientras que la simulación digital facilita la visualización y validación de diferentes configuraciones para la integración del cobot en el área de trabajo. Esta metodología permite identificar la opción más viable para la implementación de un cobot sin interferir significativamente en la línea de producción, reduciendo riesgos, costos y tiempos asociados a pruebas físicas. Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo principal de la metodología se centra en la selección y evaluación de un cobot a través de la recopilación de datos técnicos de los modelos de robótica colaborativa de Universal Robots. Las fases que componen el análisis comparativo para este caso se pueden visualizar en la Figura 1 y se presentan a continuación.



Figura 1. Fases del análisis comparativo.

## 2.2. Consideraciones en la selección del cobot

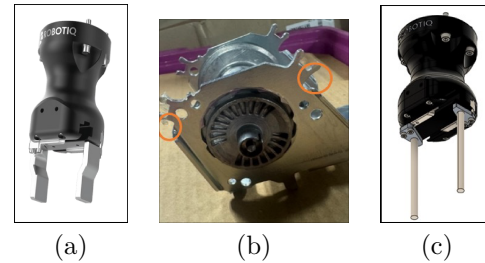
Teniendo en cuenta que no se requiere una elevada carga útil, se evaluaron varios cobots de la e-Series que comercializa el proveedor Universal Robots. La Tabla 1 resume y compara los distintos modelos de Universal Robots considerados en este estudio. Asimismo, se tuvo en cuenta el peso del efector final y del producto como factores determinantes para el posicionamiento del robot dentro de la estación de prensa de barras. Para la selección del efector final se consultó la información técnica del proveedor ROBOTIQ, considerando no solo el peso total del producto (1.2 kg), sino también la masa efectiva transmitida al efector final durante la operación de agarre, que depende de la geometría del contacto, la distribución de esfuerzos entre los dedos y la configuración de la tarea. Así, la fuerza gravitatoria asociada a la masa efectiva puede expresarse como se ve en la ecuación (1):

$$F_g = m_{ef} \cdot g \quad (1)$$

donde  $F_g$  es la fuerza gravitatoria aplicada en el punto de agarre,  $m_{ef}$  es la masa efectiva soportada por el contacto del efector final y  $g$  es la aceleración de la gravedad. A partir de la geometría del componente, el tipo de sujeción y la distribución de esfuerzos recomendada por el fabricante, la masa efectiva transmitida a cada punto de contacto se estimó en 0.345 kg. Con el fin de garantizar un agarre seguro y compensar posibles efectos dinámicos y variaciones operativas, se aplicó posteriormente un factor de seguridad de 2, resultando en una fuerza mínima requerida de 6.77 N. Con base en este análisis, la propuesta utiliza un efector final que corresponde al modelo Hand-E de la marca ROBOTIQ, y que se aprecia en la Figura 2(a).





Este modelo cumple con las características necesarias para esta aplicación, como la flexibilidad en su diseño, una carga útil de 7 kilogramos, buena precisión y una fuerza de agarre de entre 20 y 185 N [16]. En la Figura 2(b) se indican las posiciones que deben alcanzar los dedos del efector final en el producto a manipular. El diseño original del Hand-E no es capaz

de ingresar en esos espacios, por lo que fue necesario diseñar un modelo diferente de los dedos del efector final en Fusion 360. El diseño final se muestra en la Figura 2(c), logrando un agarre adecuado. Teniendo esto en cuenta y considerando las diferentes opciones que proporciona Universal Robots, el modelo UR3e se seleccionó como el más viable por su diseño compacto y porque ofrece una carga útil de 3 kilogramos [17]. Esta característica es suficiente para mover el peso total de la pieza y el efector final sin dificultad.



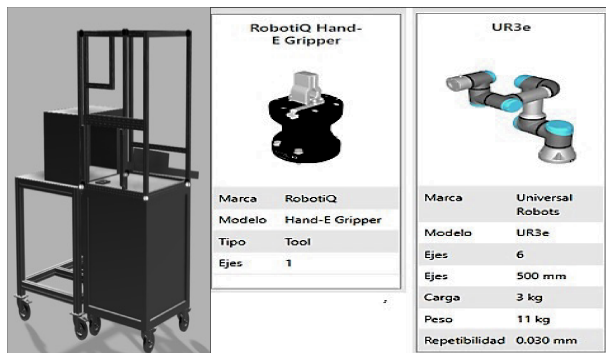
**Figura 2.** (a) Efector final Hand-E, (b) Retractor 4.0 y (c) Diseño del Hand-E propuesto.

**Tabla 1.** Comparación de la e-Series Universal Robots con especificaciones técnicas

Modelos	Carga útil (kg)	Alcance (mm)	Repetibilidad (mm)	Grados de libertad	Comunicación	Control	Costo (USD)
 UR16e	16 kg	900 mm	$\pm 0.05$ mm	6 articulaciones	Frecuencia de control 500 Hz Modbus TCP PROFINET Ethernet/IP USB 2.0, USB 3.0	Polyscope	57 600
 UR10e	12.5 kg	1300 mm	$\pm 0.05$ mm	6 articulaciones	Frecuencia de control 500 Hz Modbus TCP PROFINET Ethernet/IP USB 2.0, USB 3.0	Polyscope	47 600
 UR5e	5 kg	850 mm	$\pm 0.03$ mm	6 articulaciones	Frecuencia de control 500 Hz Modbus TCP PROFINET Ethernet/IP USB 2.0, USB 3.0	Polyscope	38 300
 UR3e	3 kg	500 mm	$\pm 0.03$ mm	6 articulaciones	Frecuencia de control 500 Hz Modbus TCP PROFINET Ethernet/IP USB 2.0, USB 3.0	Polyscope	33 000

### 2.3. Modelado 3D

Antes de crear el entorno de simulación, fue necesario obtener los modelos 3D de los objetos a evaluar, por ejemplo, la estación de trabajo del robot, la prensa de barras, el robot colaborativo y el efector final. Con Autodesk Fusion 360 como software de diseño CAD, se llevó a cabo el diseño de la estación de trabajo del UR3e y, a un lado, la estación de prensa de barras [18–20]. En la Figura 3 se muestran el modelo del robot colaborativo UR3e y el efector final seleccionados previamente a través de la biblioteca de RoboDK.



**Figura 3.** Modelo 3D de estación de trabajo del UR3e con estación de prensa de barras y efector.

### 3. Resultados y discusión

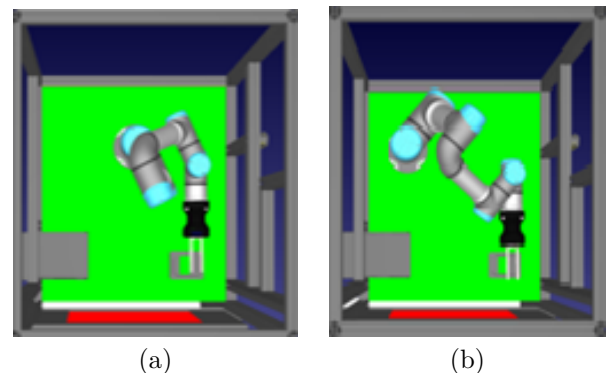
Previo a la programación de las trayectorias y a la definición final del robot seleccionado, se realizaron simulaciones para evaluar distintas alternativas de ubicación de la base del cobot UR3e en la estación de prensa de barras. Inicialmente se consideraron dos configuraciones: una ubicación central sobre la mesa de trabajo y una segunda opción en una de las esquinas de la mesa. Como se muestra en la Figura 4, la primera alternativa presenta limitaciones en la movilidad del robot y en su alcance efectivo, mientras que la segunda opción proporciona una mayor libertad de movimiento y reduce el riesgo de colisiones con el entorno. Una vez definida la ubicación óptima del cobot en la esquina de la mesa, se estableció el punto inicial del UR3e y se procedió a la definición de las trayectorias. La posición de inicio se fijó sobre el *fixture* donde el operador coloca manualmente la pieza, tal como se ilustra en la Figura 5.

Al cumplirse las condiciones de inicio, el UR3e ejecuta un movimiento lineal descendente (MoveL) hasta alcanzar el punto de agarre, garantizando una mayor precisión y minimizando el riesgo de colisión

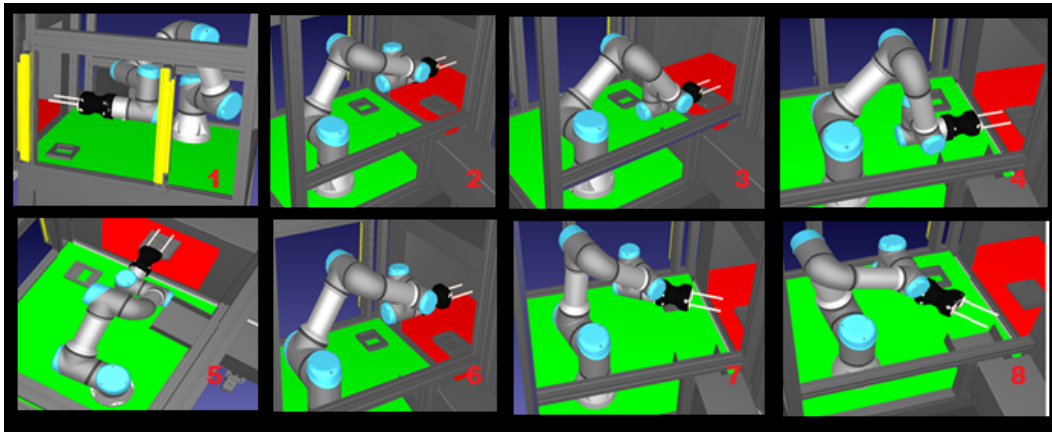
con el producto. Al llegar al punto programado, se activa el efector final para sujetar el retractor. Como la pieza se sitúa sobre un *fixture*, fue necesario añadir un movimiento para extraer el componente. Una vez que haya sido recogida la pieza, el siguiente punto en su trayectoria será dirigirse hacia la estación de prensa de barras, que utiliza dos *fixtures*. Para ubicar de manera correcta la pieza en esta estación, se configuró una secuencia de tres movimientos, combinando desplazamientos articulares (MoveJ) para el posicionamiento general y movimientos lineales (MoveL) para la aproximación final y la deposición precisa de la pieza sobre el *fixture* de la prensa.

Por razones de seguridad, se programó explícitamente la retirada del robot UR3e de la zona de la prensa como parte del ciclo operativo. Finalizada la operación de prensado, el UR3e retoma la sujeción de la pieza con un movimiento lineal hasta alcanzar su siguiente posición. Al retirar la pieza, la posición del cobot debe evitar colisiones y permitir su descarga posterior. Por último, el cobot se programa para posicionar la pieza final por encima de la bandeja de descarga. En este caso, se empleó un movimiento articular (MoveJ), permitiendo que sea un movimiento más rápido y menos preciso. No se requiere precisión, ya que la bandeja tiene espacio suficiente para recibir adecuadamente la pieza. La tarea completa se implementó mediante un conjunto de 7 a 9 *waypoints*, que además incluyen las posiciones de inicio, aproximación, agarre, elevación, colocación, retirada segura y descarga.

Con la trayectoria propuesta, el tiempo de ciclo del robot fue de 5.8 s, sin considerar el tiempo propio de la estación de prensa de barras. Este tiempo no contempla el ciclo de la estación de prensa de barras, por lo que es necesario sumarlo para obtener una estimación real. La prensa de barras tiene un tiempo de ciclo de 3.94 s, lo que indica un tiempo total de 9.34 s con el UR3e. Asimismo, se comprobó la probabilidad de colisiones con el entorno de trabajo del UR3e.



**Figura 4.** Posibles ubicaciones para la base del UR3e.

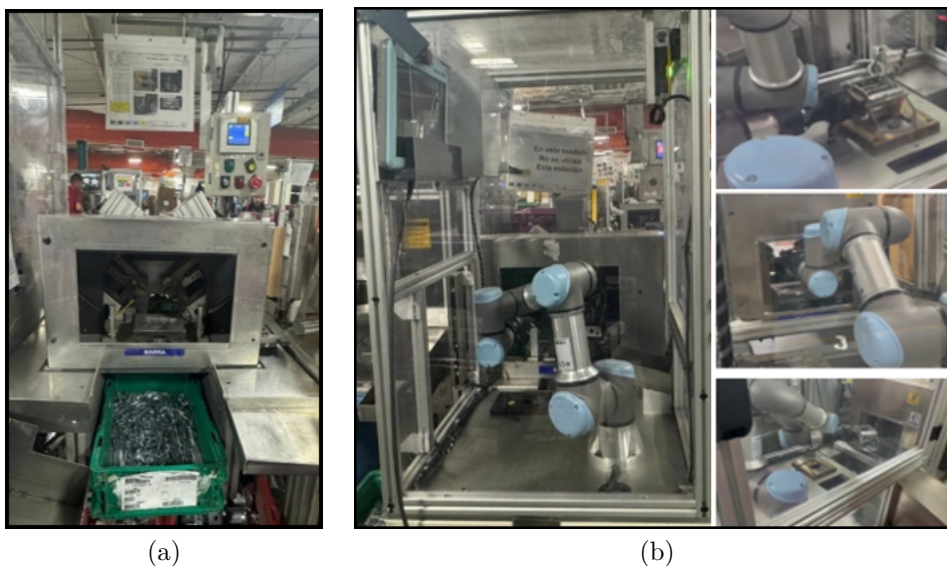


**Figura 5.** Secuencia de movimientos programados para el cobot en la prensa de barras.

### 3.1. Integración y validación en entorno real

Para validar los resultados de la simulación y los diseños propuestos, se realizaron pruebas en la línea de producción 454 de la entidad, evaluando el desempeño del robot colaborativo UR3e. La Figura 6 ilustra el antes y el después de la integración del UR3e en la estación de trabajo de prensa de barras correspondiente a la línea de producción 454. De acuerdo con la posición recomendada en la simulación en RoboDK, se colocó la estación de trabajo en la prensa de barras y se verificó el posicionamiento de la base del UR3e en la estación de trabajo. El robot quedó integrado y programado en la línea de producción según los resultados de la simulación, como se muestra en la Figura 5. Además, se integró la programación del UR3e con el controlador lógico programable de la estación de prensa de barras.

En el primer paso, se verificó el inicio del cobot, que, al recibir una señal de una pieza presente en el *fixture*, inició su ciclo y sujetó correctamente la pieza con precisión. Posteriormente, se extrajo la pieza del *fixture* antes de dirigirse hacia su siguiente punto de trayectoria. Tal como se simuló y recomendó previamente, el UR3e ejecutó un movimiento hacia atrás para mantener una distancia de seguridad mientras la estación de trabajo de prensa de barras se encontraba en proceso. Al terminar el ciclo de la prensa de barras, el UR3e realizó su siguiente punto de trayectoria para sujetar y extraer la pieza de la estación, posicionándose antes de dirigirse a la descarga en la bandeja de descarga. Para finalizar la secuencia, el robot UR3e ejecutó correctamente la última posición para colocar la pieza en la bandeja de descarga. Una vez alcanzado el punto indicado, se desactivó su efector final, liberando la pieza en la bandeja de salida.



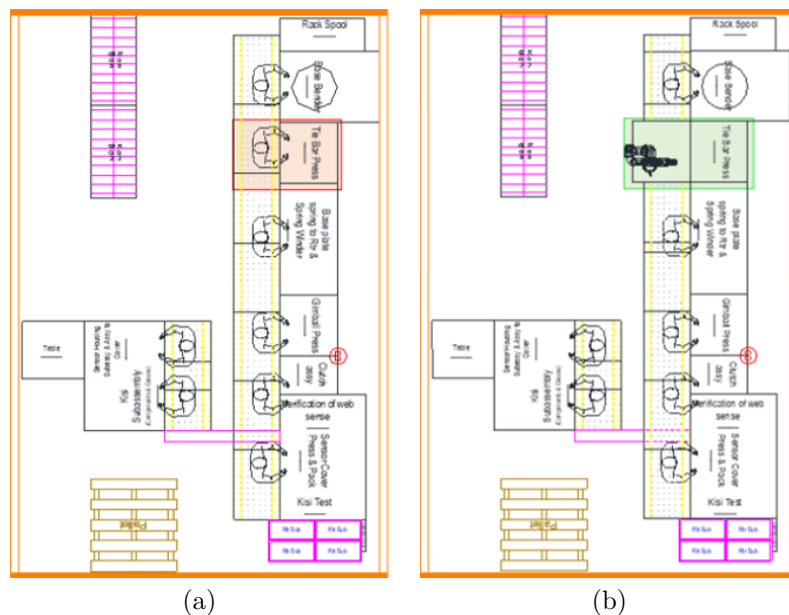
**Figura 6.** Integración real del cobot UR3e en la prensa de barras de la línea de producción 454: (a) antes de la integración y (b) después de la integración.

### 3.2. Resultado de la integración del UR3e

En este apartado se muestra, de forma comparativa, un análisis de eficiencia del proceso después de incorporar el robot colaborativo UR3e propuesto para la prensa de barras. En dicho análisis se tomaron 10 muestras de los tiempos de ciclo del proceso, tanto con el operador humano como con el cobot. La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos en esta comparación. Es importante destacar que los tiempos de operación manual fueron medidos bajo condiciones habituales o normales del flujo de trabajo, correspondientes a un turno estándar de producción, evitando situaciones de fatiga extrema o condiciones no representativas del proceso real. Las mediciones se realizaron sobre un operador experimentado, previamente entrenado en la estación de prensa de barras, a fin de garantizar la consistencia en la ejecución de la tarea y reducir la variabilidad asociada a diferencias individuales. Este enfoque permite una comparación directa y controlada entre el desempeño manual y el automatizado en un escenario industrial realista. Cada muestra corresponde a un turno de operación, durante el cual se registraron múltiples ciclos consecutivos. De este modo, la variabilidad intraturno capturada por la desviación estándar refleja de manera natural los efectos de la fatiga, las micropausas y los ajustes propios de la operación manual, mientras que la comparación con el cobot permite evidenciar las diferencias en repetibilidad y consistencia del proceso. Esta metodología fue adoptada deliberadamente para asegurar una comparación justa y representativa entre ambas modalidades de operación, manteniendo constantes las condiciones de entorno, y la carga de trabajo.

Con el fin de evaluar si la reducción del tiempo de ciclo observada es estadísticamente significativa, se aplicó una prueba t-Student para muestras independientes, considerando como unidades experimentales los valores medios por turno de operación ( $n = 10$  por condición).

Los resultados indican una diferencia estadísticamente significativa entre la operación manual y la operación asistida por el UR3e ( $p < 0.05$ ), confirmando que la disminución del tiempo de ciclo no es atribuible a la variabilidad aleatoria del proceso, sino a un efecto sistemático asociado a la integración del robot colaborativo. De acuerdo con la toma de tiempos, se confirmó la viabilidad de integrar un cobot en el proceso de la estación de prensa de barras. La eficiencia mejoró significativamente en comparación con el anterior proceso manual, reduciendo el tiempo promedio del ciclo de 13.04 s a 9.34 s. De manera similar, se comprobó que el tiempo obtenido en la simulación fue preciso, presentando un resultado comparable en la aplicación real, lo que evidencia una ejecución repetible y estable del proceso. La Figura 7(a) muestra el *layout* antes de la integración del cobot y la Figura 7(b) ilustra el *layout* después de la integración del robot colaborativo en la línea de producción 454. La Figura 7 muestra que el robot UR3e opera en una zona delimitada. Sin embargo, dicha configuración no implica un entorno aislado, sino una organización funcional del espacio que permite la convivencia segura entre el operador humano y el robot a lo largo del ciclo de trabajo. Durante las fases de operación automática, el sistema basado en el robot UR3e opera con la separación física requerida para garantizar la seguridad y la repetibilidad del proceso.



**Figura 7.** Línea productiva y estación de trabajo con interacción hombre-máquina: (a) *Layout* de la línea 454 antes de la integración y operación del cobot UR3e, (b) *Layout* de la línea 454 posterior a la integración y operación del cobot UR3e.

**Tabla 2.** Promedios de tiempos de ciclo antes y después de la integración de un cobot UR3e

Elementos	Tiempos de ciclo (s)										Prom.
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	
Operador	13.19±0.28	13.25±0.31	12.85±0.35	12.68±0.33	13.02±0.29	13.17±0.30	12.95±0.34	12.84±0.36	13.25±0.32	13.15±0.27	13.04±0.20
UR3e	9.38±0.05	9.31±0.04	9.30±0.06	9.43±0.05	9.31±0.04	9.35±0.05	9.33±0.04	9.31±0.05	9.31±0.04	9.33±0.05	9.34±0.04
Prueba estadística			Estadístico t				gl		p-valor		
t-Student (muestras independientes)			t = 56.4				18		p<0.001		

En contraste, durante las fases de carga, descarga, ajuste, programación, mantenimiento y supervisión, el robot puede operar bajo modos seguros, tales como parada monitorizada o guiado manual, permitiendo la intervención directa del operador conforme a los criterios definidos en la ISO/TS 15066 [21]. Por ende, la tarea analizada corresponde a una aplicación colaborativa secuencial, donde el operador humano y el robot comparten el entorno de trabajo y cooperan en el flujo productivo, aunque no ejecuten acciones simultáneas sobre la misma pieza. El carácter colaborativo de la aplicación reside principalmente en la flexibilidad operativa que ofrece, permitiendo alternar de forma segura entre modos automáticos y modos colaborativos según la etapa del proceso. Con ello, el robot asume aquellas operaciones que requieren precisión, repetibilidad y control, mientras que el operador mantiene funciones de alimentación, supervisión y control del proceso, reduciendo la carga física y la variabilidad operativa. Asimismo, la delimitación visual del área de operación del robot responde a criterios de control de velocidad, separación y limitación de potencia y fuerza, en concordancia con la ISO/TS 15066, y no a un aislamiento físico incompatible con una aplicación colaborativa.

## 4. Conclusiones

Los resultados respaldan la hipótesis planteada inicialmente, que propone mejorar el proceso productivo mediante la implementación de un cobot de Universal Robots en la estación de prensa de barras, con incrementos en los indicadores de eficiencia, calidad y seguridad, sin afectar significativamente el área de trabajo. Asimismo, se respalda el uso de herramientas de simulación RoboDK, utilizada para la validación del sistema diseñado. Los resultados alcanzados demostraron una correcta selección del brazo robótico, reduciendo el tiempo promedio del ciclo de 13.04 s a 9.34 s. Adicionalmente, la ejecución de trayectorias repetibles y controladas contribuye a reducir el riesgo de daño al material durante la manipulación, al minimizar errores asociados al posicionamiento y a la variabilidad propia de la operación manual. Cabe destacar que el enfoque metodológico presentado en este trabajo es escalable y transferible a otras estaciones de la línea de producción que involucren tareas repetitivas de manipulación. Mediante la adaptación del *layout*, la definición de nuevas

trayectorias y la selección del efector final adecuado, el mismo procedimiento basado en simulación robótica puede aplicarse a operaciones como carga y descarga de máquinas, inspección o ensamblaje ligero, permitiendo validar previamente el desempeño del sistema y su impacto en los tiempos de ciclo, la seguridad y la calidad del proceso.

## Conflicto de intereses

Ninguno de los autores manifestó la existencia de posibles conflictos de intereses que debieran ser declarados en relación con este artículo.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero de FAPERJ, Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro; Brasil. Bolsa de Posdoctorado Sénior (PDS), Edital FAPERJ n.º 18/2024.

## Rol de los autores

- **Kevyn Obed Manzano-Ibarra:** conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, software, validación, visualización y escritura – borrador original.
- **Ivón Oristela Benítez-González:** conceptualización, curación de datos, metodología, administración del proyecto, validación y visualización, escritura – revisión y edición.
- **José Manuel Bernal-de Lázaro:** conceptualización, curación de datos, investigación, metodología, administración del proyecto, validación, visualización y escritura – revisión y edición.

## Referencias

- [1] Y. Han, J. Shao, R. Zhou, Y. Liao, and Y. Zhong, “Robotic digital twin based full lifecycle decision framework for automotive productions,” *IEEE Network*, vol. 39, no. 4, pp. 173–181, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/MNET.2024.3418624>

- [2] J. Yang, Y. H. Son, D. Lee, and S. D. Noh, "Digital twin-based integrated assessment of flexible and reconfigurable automotive part production lines," *Machines*, vol. 10, no. 2, p. 75, Jan. 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/machines10020075>
- [3] O. Llanes-Santiago, A. Prieto-Moreno, J. M. Bernal de Lázaro, D. C. Knupp, and A. J. Silva Neto, "A design proposal for multiblock-based fault diagnosis systems in complex industrial plants," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 162, pp. 149–159, Mar. 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2017.01.015>
- [4] A. S. Bisen and H. Payal, "Collaborative robots for industrial tasks: A review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 52, pp. 500–504, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.263>
- [5] L. Liu, F. Guo, Z. Zou, and V. G. Duffy, "Application, development and future opportunities of collaborative robots (cobots) in manufacturing: A literature review," *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 40, no. 4, pp. 915–932, Apr. 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2041907>
- [6] C. E. Martínez-Ochoa, I. O. Benítez-González, A. O. Cepero-Díaz, J. R. Núñez-Álvarez, C. G. Miguélez-Machado, and Y. E. Llosas-Albuérne, "Active disturbance rejection control for robot manipulator," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 3, no. 5, pp. 622–632, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.18196/jrc.v3i5.14791>
- [7] R. G. Boboc, F. Gîrbacia, and E. V. Butilă, "The application of augmented reality in the automotive industry: A systematic literature review," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 12, p. 4259, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/app10124259>
- [8] A. Keshvarparast, D. Battini, O. Battaia, and A. Pirayesh, "Collaborative robots in manufacturing and assembly systems: literature review and future research agenda," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 35, no. 5, pp. 2065–2118, May 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02137-w>
- [9] GGI, *Collaborative Robots Market*. Global Growth Insights, 2024. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing36ar1r9>
- [10] GVR, *Collaborative Robot Market (2026–2033) Size, Share & Trends Analysis Report*. Grand View Research, 2026. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing36ar1r10>
- [11] MI, *Tamaño del mercado de robots colaborativos y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)*. Mordor Intelligence, 2024. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing36ar1r11>
- [12] P. Amiri, M. Müller, M. Southgate, T. Theodoridis, G. Wei, M. Richards-Brown, and W. Holderbaum, "A statistical analysis of commercial articulated industrial robots and cobots," *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, vol. 8, no. 5, p. 216, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/jmmp8050216>
- [13] J. Bernal-de Lázaro, O. Llanes-Santiago, A. Prieto-Moreno, A. del Castillo-Serpa, and A. Silva-Neto, "A novel index for the robustness comparison of classifiers in fault diagnosis," *Neurocomputing*, vol. 275, pp. 636–648, Jan. 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.09.021>
- [14] V. Villani, F. Pini, F. Leali, and C. Secchi, "Survey on human-robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications," *Mechatronics*, vol. 55, pp. 248–266, Nov. 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2018.02.009>
- [15] Siemens. (2026) Simulación robótica. Siemens. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing36ar1r15>
- [16] Robotiq. (2026) Hande-E. Robotiq. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing36ar1r16>
- [17] U. Robots. (2026) e-Series. Universal Robots. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing36ar1r17>
- [18] RoboDK. (2026) Software de simulación de robots. RoboDK. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing36ar1r18>
- [19] N. A. Molina Ferrer, *Diseño de interfaz y comunicación para inspecciones visuales automatizadas en ensamblajes complejos mediante un Cobot Festo*. Universitat Politècnica de València, 2024. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing36ar1r19>
- [20] N. P. Brito Santos, *Diseño y simulación de un sistema automatizado para la navegación y almacenamiento eficiente de paquetes en centros logísticos utilizando el Robot Colaborativo UR10e en conjunto con un Robot Móvil y la integración de visión artificial y marcadores ArUco mediante la herramienta CoppeliaSim (V-REP)*. Universidad Miguel Hernández de Elche, 2023. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing36ar1r20>

[21] ISO, *ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices – Collaborative robots*. International

Organization for Standardization, 2016. [Online]. Available: <https://upsalesiana.ec/ing36ar1r21>