

# ROBÓTICA COLABORATIVA ENFOCADA EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Alberto Dailey

Jair González

Luis Rivas



Facultad de Informática, Electrónica y  
Comunicación

Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación

Escuela de Ingeniería Mecatrónica



## 1 INTRODUCCIÓN

Para entender el concepto y el significado de robots colaborativos, es importante entender la industria de robots para estar más en contexto. Un robot industrial puede ser definido como un dispositivo programable y autocontrolado consisten en unidades electrónicas, eléctricas o mecánicas que puede realizar una serie compleja de acciones. Robots industriales son cuerpos grandes, pesados y rígidos que se instalan para realizar trabajos que humanamente serían muy difíciles y peligrosos, como llevar cargas enormes a través de las fábricas. Normalmente, Los robots industriales son específicos de la aplicación, aislados de mano de obra humana y poseer su propio espacio de trabajo [1].

Los robots colaborativos, llamados cobots, están diseñados para realizar tareas en colaboración con trabajadores humanos. La robótica colaborativa implica que los sistemas de robots operados automáticamente compartan el mismo espacio de trabajo con los humanos, por lo tanto, se refiere a un sistema o aplicación más que a un tipo o marca particular de robot [2].

La Federación Internacional de Robótica define dos tipos de robots colaborativos:

- Los robots diseñados para uso colaborativo que cumplen con la norma ISO 10218-1, que especifica los requisitos y las pautas para un diseño seguro, medidas de protección e información de uso.
- Los robots diseñados para uso colaborativo que no cumplen con la norma ISO 10218-1, lo que no significa que los robots no sean seguros, pues quedan sujetos a otros estándares de seguridad como los que establece cada país [3].

Estos robots se pueden utilizar para una gran variedad de actividades diferentes. La más obvia es la sustitución del trabajo físico. Los cobots se pueden utilizar en la fabricación como asistentes para apoyar a los trabajadores en tareas que requieren un gran esfuerzo físico, como por ejemplo el manejo de cargas pesada [1] El uso de estos robots es muy útil para predecir y minimizar los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo derivados de tareas repetitivas y enérgicas [4] Estos robots pueden, no solo, ser utilizados para ayudar a minimizar los esfuerzos de los trabajadores, sino también para establecer zonas prohibidas o facilitar las trayectorias adecuadas para realizar la tarea de manera eficiente [5]

## **2 COBOTS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**

### **Definición según la ISO 8373:2012:**

Un manipulador multipropósito, reprogramable y controlado automáticamente programable en tres o más ejes, que pueden ser fijos o móviles para uso industrial aplicaciones de automatización.

Hoy en día la industria automotriz cuenta con brazos robots, plataformas deslizantes y muchos sistemas expertos más, que son empleados para la fabricación de automóviles. Entrando en detalle, un brazo robot cuenta con múltiples sensores, para percibir el mundo exterior y cuenta con múltiples procesadores con algoritmos, para el procesamiento y posterior ejecución de la acción, por ejemplo: como primera acción, el brazo robot agarra el chasis y debe mantenerla a una altura de x metros, si no se cumplió acción, debe reportar el error; si se cumplió la acción, debe pasar al siguiente proceso, en otro ejemplo si se detecta colisión del brazo robot con otro objeto, debe el detener proceso, así se presentan muchos ejemplos de algoritmos [6].

El costo de una celda de trabajo de robot completa suele ser de cuatro a cinco veces el costo de los robots solos, pero a través de una mayor funcionalidad del robot y la inteligencia artificial, estos costos pueden reducirse drásticamente. La mayoría de las aplicaciones robóticas están protegidas con barreras de seguridad que mantienen a las personas a distancia; sin embargo, los estándares de seguridad mejorados han permitido HRC directo, lo que permite que los trabajadores y los robots compartan el mismo espacio [7].

### **Ventajas y desventajas**

Como **ventajas** encontramos la automatización de procesos, optimizando tiempo y recursos. También se reducen los riesgos de accidentes laborales, salvaguardando la vida de los operarios. En el ámbito de la inteligencia de negocios, los sistemas de información resultan más exactos y eficientes, debido a que reciben oportunamente y garantizados. Optando por recursos de las tecnologías de la información encontramos software que ayudan al modelado de los automóviles, mostrando en tamaño real o posible forma del vehículo a fabricar, partiendo de esa idea, se considera en ventaja para el operario, debido a que con la obtención de un modelado rápido, ellos optimizan tiempo, dando más espacio a la creatividad y cambios que deseen aplicar, se considera también como **desventaja** para el software, debido a que carece de autonomía en la decisión, por ejemplo, si el modelado del vehículo con x altura no satisface la elección visual, el software no podría juzgar eso, en cambio el operario tendrá la capacidad de aprobarlo, s la reducción de mano laboral, es decir genera desempleo, porque las

actividades que realizaban anteriormente los operarios, ahora los realizan los robots. Como desventaja, se expone el caso que los sistemas y/o maquinas con IA carecen de percepción natural o reacción rápida como lo tienen los humanos. Es decir, si se presenta un caso nuevo o no incluido en los algoritmos, podría fallar la producción y detener la cadena de procesos, pudiendo perjudicar a la empresa con pérdida de recursos o accidentes laborales, que conllevaría a problemas legales [8].

## Aplicaciones de los Cobots Automotrices

### ***A. Soldadura***

Los cobots de soldadura pueden realizar soldaduras por puntos y por arco de forma autónoma. Estos robots son un activo valioso en la fabricación de automóviles porque pueden realizar una soldadura prácticamente perfecta innumerables veces con muy pocos errores. Esto ofrece algunos beneficios sobre los soldadores humanos [9].

### ***B. Montaje***

Los cobots en la fabricación a menudo se utilizan para automatizar etapas del proceso de ensamblaje. Pueden levantar y colocar el techo de un automóvil pesado o colocar y atornillar pernos. Muchos pasos del proceso de ensamblaje son muy repetitivos, lo que hace que los robots se adapten mejor a ellos que las personas [9].

### ***C. Pintura y Revestimiento***

Cuando se trata de objetos grandes como automóviles, los robots son perfectos para acelerar los procesos de pintura y recubrimiento. Es especialmente importante con un automóvil obtener capas uniformes y uniformes de imprimaciones, pinturas, pulimentos y otros tratamientos de superficie. El uso de un robot para esta tarea garantiza que el trabajo se realice rápidamente sin comprometer la calidad [9].

### ***D. Inspección de productos***

Los robots colaborativos pueden realizar esta aburrida tarea con gran precisión sin cansancio ni aburrimiento en comparación con sus homólogos humanos [10].

### ***E. Manejo de materiales***

Los robots colaborativos pueden ayudar a proporcionar un entorno libre de peligros. entorno de trabajo cuidando las materias primas nocivas que pueden ser altamente peligrosos o dañinos para el ser humano personal [10].

En general, podemos ver que el uso de robots colaborativos ayuda a mejorar la salud y la seguridad de la fuerza laboral humana, reduce los costos operativos, acelera los ciclos de producción y reduce los tiempos de inactividad [10].

### Casos

El caso de uso en Audi Brussels se centra en aplicar pegamento a placas de refuerzo. Estos se utilizan para soportar las barras de techo del automóvil. El trabajo del trabajador consiste en recoger las placas de refuerzo de un contenedor y apilarlas en una pequeña mesa. Mediante el uso de una pistola de pegamento, el operador aplica dos tiras de pegamento sobre las placas de metal. Luego, el trabajador une las placas de refuerzo apropiadas al panel lateral de un automóvil de dos o cuatro puertas de dos líneas de ensamblaje paralelas [10].

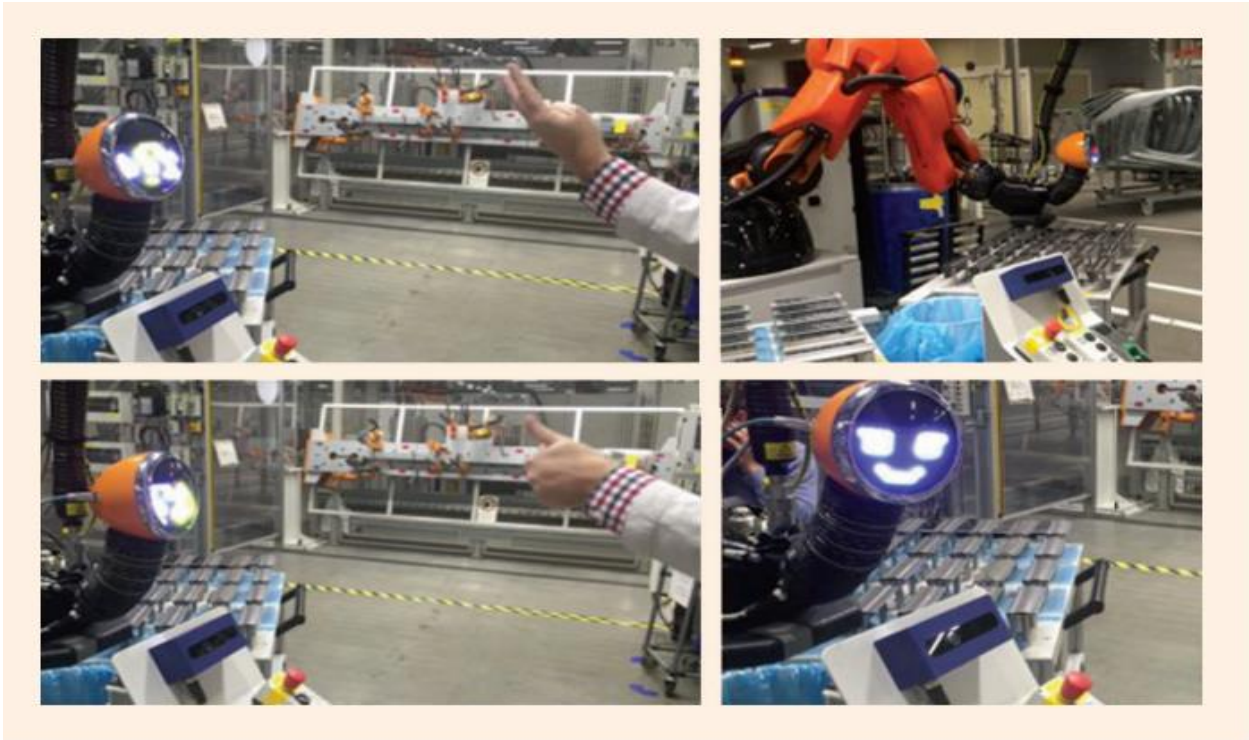
El inconveniente de todo este proceso radica en el pegado. Como esto se hace manualmente, la calidad no es óptima, es decir, el pegamento no se distribuye uniformemente a lo largo de la placa. También depende de las habilidades de la persona que realiza la tarea de pegado y de otros factores, como la temperatura y la hora del día. Esto estaba afectando la calidad de los autos producidos. En este caso, el uso de un cobot de alta precisión permite una mejor calidad del producto mientras se hace cargo de la tarea repetitiva y desordenada del trabajador humano. Este caso de uso también se utiliza como ejemplo para demostrar las tecnologías desarrolladas a lo largo del proyecto ClaXon [10].

### *Cobot walt*

El cobot que se integró en la planta de producción de Audi en Bruselas se llamó Walt. La Figura 1 muestra el robot MRK-Systeme desarrollado, junto con su interacción con los trabajadores de la fábrica. Walt trabaja muy cerca de los humanos y no necesita una cerca de seguridad. Robovision desarrolló una cabeza robótica accionada para expresar emociones para la comunicación entre humanos y robots. Se implementaron señales sociales relevantes identificadas durante los experimentos sociales, como movimientos de los ojos y asentir y sacudir la cabeza. Interacción basada en gestos. Debido al entorno ruidoso de la fábrica, se utilizaron gestos para comunicarse con el robot. El operador instruye a Walt con las siguientes señas con las manos: apuntando a la izquierda o a la derecha para indique la línea de montaje, dos o cuatro dedos para decirle al robot qué piezas deben pegarse (piezas de automóviles de dos o cuatro puertas, respectivamente) y un pulgar hacia arriba o hacia abajo para confirmar o negar una acción, respectivamente. Estos se muestran en la Figura 1. Se prefirieron los gestos estáticos a los dinámicos (por ejemplo, deslizar la mano). Durante los experimentos sociales, los gestos estáticos se vieron como más fáciles de detectar y obtener el desempeño más consistente. Se seleccionó este conjunto específico de



señales porque son similares a los gestos de comunicación no verbales de persona a persona que se usan en la fábrica [11].



**Figura 1.** Vistas del cobot Walt en la fábrica de Audi en Bruselas. La interacción con el robot se realiza mediante gestos. un accionado la cabeza robótica se utiliza para comunicarse con el trabajador y expresar emociones. Se pueden ver más detalles en el video disponible en [12]. (Fotos cortesía de la fábrica de Audi en Bruselas).

Walt con los siguientes signos de mano: apuntando a la izquierda o a la derecha para indicar la línea de montaje, dos o cuatro dedos para decirle al robot qué piezas deben pegarse (piezas de automóviles de dos o cuatro puertas, respectivamente), y un pulgar hacia arriba o hacia abajo para confirmar o negar una acción, respectivamente. Durante los experimentos sociales, se observaron gestos estáticos. como más fácil de detectar y obtener el rendimiento más consistente. Este conjunto específico de señales fue seleccionado porque son similares a la comunicación no verbal de persona a persona gestos utilizados en la fábrica [11].

### ***Reconocimiento de gestos***

El reconocimiento de gestos lo realiza una cámara RoboSense (marca Robovision) que integra una cámara de luz estructurada (3-D,  $640 \times 480$ ), una cámara RGB ( $1280 \times 1024$ ) y una unidad de procesamiento integrada (ARM Cortex octa-core). El método de reconocimiento se basa en el histograma de función de gradientes orientados (HOG) descriptor [12] En primer lugar, un umbral es aplicado a los datos de

profundidad proporcionados por la cámara 3-D para separar el primer plano, que contiene la nube de puntos de la mano del usuario, desde el fondo. Se determina una ventana alrededor de la mano. el extraído la imagen que usa la última ventana se divide en celdas, por para el cual se calculan la magnitud y la dirección del gradiente cada píxel. Esta información se combina en un HOG, en qué características de las celdas se concatenan para obtener una característica vector de toda la imagen. Este vector se utiliza como entrada de un algoritmo de clasificación basado en un perceptrón multicapa red neuronal [11].

### ***Reconocimiento facial***

El reconocimiento facial también se integró para reconocer al operador. Se implementó un enfoque de aprendizaje profundo usando RGB imágenes recopiladas en la base de datos durante el registro de un trabajador fase ResNet [13] redes neuronales con 29 convolucionales. Se usaron capas para aprender las caras de los trabajadores. Se reforzó la identificación del operador con el escaneo de huellas dactilares, utilizando un ZKteco para atenuar los demás colores. Las imágenes se envían a un algoritmo de clasificación basado en una red neuronal convolucional que determina si hay pegamento presente en las partes.

### ***Seguridad***

Para lograr una interacción segura, el Kuka El robot KR 5 SI implementado por MRKSysteme se utilizó para el proceso de pegado en Audi. Aunque diferentes robots eran adecuados para el caso de uso, como el robot ligero Kuka o el Universal Robots UR5, estábamos limitados a él KR 5 SI (SafeInteraction) de Sistema MRK. era el unico robot durante la fase preparatoria del proyecto certificado por la Berufsgenossenschaft Holz und Metall (la Asociación Profesional de la Madera y el Metal) y, por tanto, el único permitido en la planta de fabricación de Audi para interacción segura entre humanos y robots. La figura 2 muestra el robot MRK-Systeme pegando las placas de refuerzo en la fábrica de Audi en Bruselas. El robot es una plataforma adecuada, ya que puede operar sin seguridad separada equipo. La seguridad se basa en varios mecanismos funcionales. El entorno de trabajo y la velocidad del robot se controlan de acuerdo con los requisitos de seguridad de la norma DIN EN ISO 10218-1 [14], de modo que las fuerzas aplicadas permanezcan por debajo de los límites biomecánicos. Además, amortiguación integrada. Los elementos se utilizan para reducir las fuerzas de contacto. el robot se detiene en caso de colisiones con humanos. Estos son detectados por una piel de seguridad, como se muestra en la Figura 2. La pistola de pegamento, que es una parte potencialmente

peligrosa debido a su forma puntiaguda, en el efector final está enmarcada por una caja de plástico por lo que la seguridad requerida se alcanza el nivel [11].

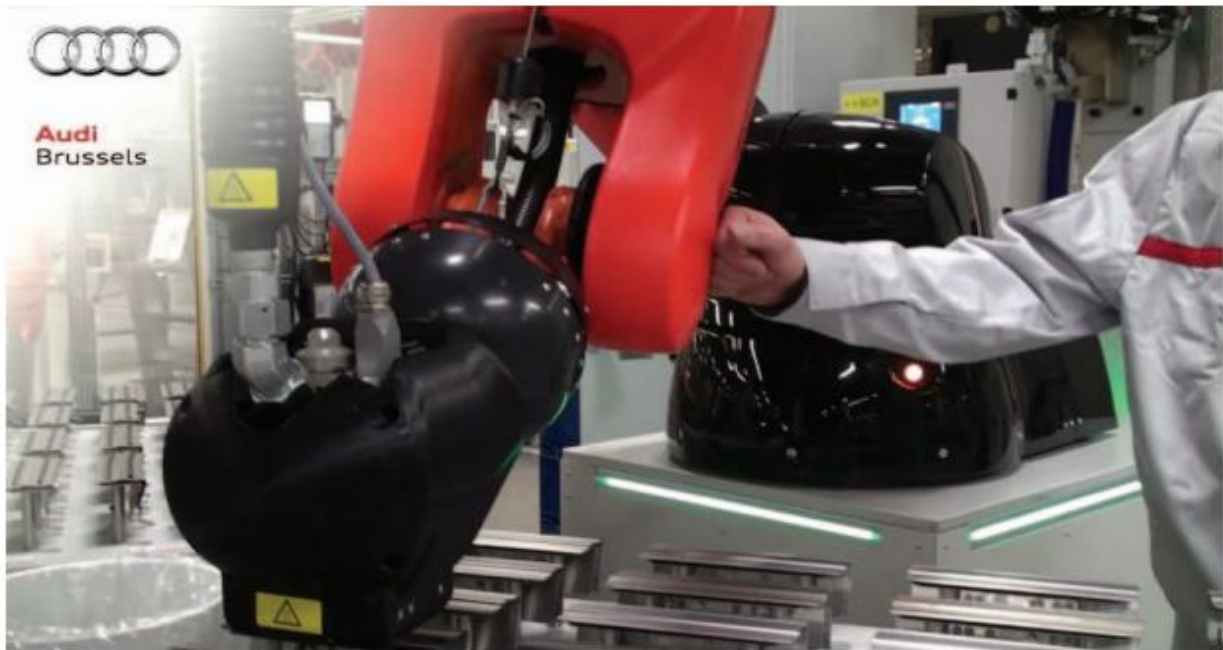


Figura 2. El robot MRK-Systeme durante el proceso de encolado. La piel de seguridad del robot detecta contactos humanos. El fin efector está enmarcado por una caja de plástico. (Foto cortesía del Audi fábrica de Bruselas.)

## Recomendaciones

- Evaluar el entorno de trabajo: Los cobots deben ser evaluados en relación al entorno de trabajo, incluyendo factores como la seguridad, el espacio disponible y las consideraciones ergonómicas.
- Planificar las áreas donde se implementan: La integración de los cobots en un entorno de producción existente requiere planificación cuidadosa y una comprensión detallada de los procesos de producción debido a sus costos de creación.
- Cumplir con los estándares de seguridad: Los cobots deben cumplir con los estándares de seguridad adecuados y se deben implementar medidas de seguridad adicionales, como cercas y sensores de proximidad, para garantizar la seguridad de los trabajadores.



## REFERENCIAS

- [1] F. Sherwani, M. M. Asad and B. S. K. K. Ibrahim, "Collaborative Robots and Industrial Revolution 4.0 (IR 4.0)," 2020 International Conference on Emerging Trends in Smart Technologies (ICETST), Karachi, Pakistan, 2020, pp. 1-5, doi:10.1109/ICETST49965.2020.9080724.
- [2] Lazarte, María, (2016), "Los robots y los humanos pueden trabajar juntos con la nueva guía ISO", ISO Noticias [sitio web]. Disponible en <https://www.iso.org/news/2016/03/Ref2057.html>
- [3] International Federation of Robotics, (2018), "Demystifying Collaborative Industrial Robots". Frankfurt: International Federation of Robotics, Disponible en [https://ifr.org/downloads/papers/IFR\\_Demystifying\\_Collaborative\\_Robots.pdf](https://ifr.org/downloads/papers/IFR_Demystifying_Collaborative_Robots.pdf)
- [4] Munoz, L. M.: Ergonomics in the Industry 4.0: collaborative robots. J. Ergon. 07, 7556 (2017).
- [5] Hägele, M., Schaaf, W., & Helms, E. (2002, October). Robot assistants at manual workplaces: Effective co-operation and safety aspects. In Proceedings of the 33rd ISR (international symposium on robotics) (Vol. 7, p. 97).
- [6] Bélanger-Barrette, Mathieu, (2016). "Which ISO Standards Are Made for Collaborative Robots", Robotiq [sitio web]. Disponible en: <https://blog.robotiq.com/which-iso-standards-are-made-for-collaborative-robots>.
- [7] Siciliano, B. & Khatib, O., 2008. Springer handbook of robotics. Berlin: Springer.
- [8] Aguirre, J., García, F., Ramírez, C., Floreano, S., Guarda, T., Sanchez, I., ... & Sanchez, C. (2021). Aplicación de la Inteligencia Artificial en la Industria Automotriz. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, (E42), 149-158.
- [9] Editorial. (2022, February 2). Cobots definen innovación en la industria automotriz - Canales TI 2023. Canales TI. <https://itcomunicacion.com.mx/cobots-definen-innovacion-en-la-industria-automotriz/>
- [10] Sherwani, F., Asad, M. M., & Ibrahim, B. S. K. K. (2020). Collaborative Robots and Industrial Revolution 4.0 (IR 4.0). 2020 International Conference on Emerging Trends in Smart Technologies (ICETST). doi:10.1109/icetst49965.2020.9080724
- [11] El Makrini, I., Elprama, S. A., Van den Bergh, J., Vanderborght, B., Knevels, A.-J., Jewell, C. I. C., ... Jacobs, A. (2018). Working with Walt: How a Cobot Was Developed and Inserted on an Auto Assembly Line. IEEE Robotics & Automation Magazine, 25(2), 51–58. doi:10.1109/mra.2018.2815947

[12] Imec. (2017). "Arbeiders Audi Brussel gebruiken gebaren om met nieuwste generatie robots te communiceren." ("VDL trekt miljoenen uit voor gieterijen VDL Castings - LINK") [Online]. Available: <https://vimeo.com/210892103>

[12] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection," in Proc. 2005 IEEE Computer Society Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, June 2005, vol. 1, pp. 886–893.

[13] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep residual learning for image recognition," in Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 2016, pp. 770–778.

[14] Robots and Robotic Devices: Safety Requirements for Industrial Robots—Part 1: Robots. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, ISO Standard 10218-1, 2011

*¿Cuál es la diferencia entre un robot y una máquina? - QA Stack*, <https://qastack.mx/robotics/1654/what-is-the-difference-between-a-robot-and-a-machine>.

*Cobots: Definen el mañana en innovación en la industria automotriz*, <https://www.jornada.com.mx/notas/2022/01/26/autos/cobots-definen-el-manana-en-innovacion-en-la-industria-automotriz/>.

*Cobots definen innovación en la industria automotriz*, <https://itcomunicacion.com.mx/cobots-definen-innovacion-en-la-industria-automotriz/>.

*2020 International Conference on Emerging Trends in Smart Technologies ...*, <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9068604/proceeding>.