



EXPEDIENTE	IMDEEA/2017/54 (INESCOP) / IMDEEA/2017/148 (AIDIMME)
ACRÓNIMO	MATRIBOT
PROGRAMA	Proyectos de I+D de carácter no económico realizados en cooperación con empresas
TÍTULO DEL PROYECTO	Robótica colaborativa aplicada a procesos de inyección-extracción de suelas para calzado

Entregable E3.1.
**INFORME DEL PROTOTIPO DE CELDA ROBÓTICA
PROPUESTA**

ÍNDICE

1. Descripción del entregable.....	3
2. Trabajo realizado	3
2.1. Diseño de Celda Robótica	3
2.1.1. Prototipo de celda	10
2.2. Generación de Trayectorias	11
3. Conclusiones.....	14
ANEXO I: ROBOTS COLABORATIVOS.....	15
Ejemplos de COBOTS en el mercado	17

1. Descripción del entregable

Este informe incluye el diseño de la celda robótica y la generación de trayectorias.

2. Trabajo realizado

La arquitectura básica de la celda robótica supone la integración de diversos elementos:

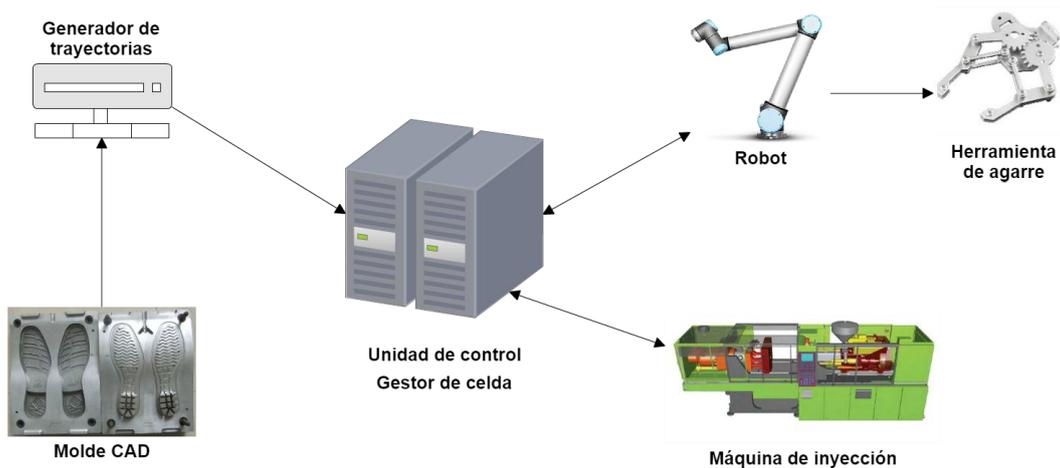


Figura 1: Arquitectura básica de la celda robótica

Dadas las condicionantes especiales encontradas a partir de la caracterización de las operaciones de extracción de los pisos inyectados, se han realizado una serie de pruebas con los distintos robots disponibles, con el objetivo de garantizar que las características eran las más adecuadas a la aplicación de que se trata, definiendo la estructura base de la celda robótica final, adaptada a las condiciones reales de producción.

2.1. Diseño de Celda Robótica

El primer condicionante a tener en cuenta es la disposición del molde cuando se encuentra abierto para realizar la extracción. Ambas partes del molde se encuentran a 90º, generalmente presentado longitudinalmente.



Figura 2: Molde en posición para extracción

En esta situación, dependiendo de las características de los pisos inyectados o, incluso, de los usos en cada fábrica, puede ocurrir que las piezas queden en la

parte inferior (horizontal) del molde o en la parte superior (vertical), estando la mazarota siempre en la posición contraria:



Figura 3: Extracción del piso desde posición horizontal



Figura 4: Extracción del piso desde posición vertical y detalle de la mazarota en la posición horizontal

Con ello, el robot implementado debe poder trabajar en ambos planos, con una disposición:

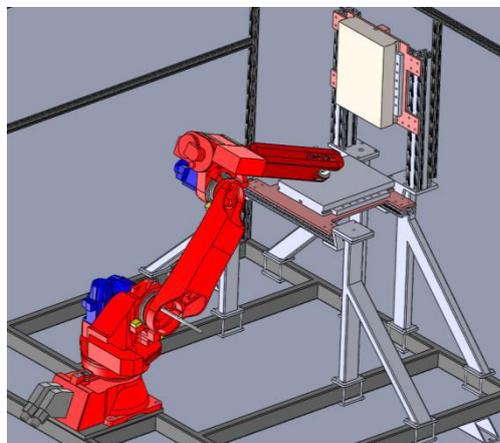


Figura 5: Ejemplo de posible disposición de robot para extracción de pisos

Por otra parte, las máquinas de inyección suelen ser sistemas modulares con varios puestos, generalmente entre dos y cuatro elementos, lo que implica que la posición de trabajo varía entre uno y otro atendiendo a la señal de 'Molde Abierto'

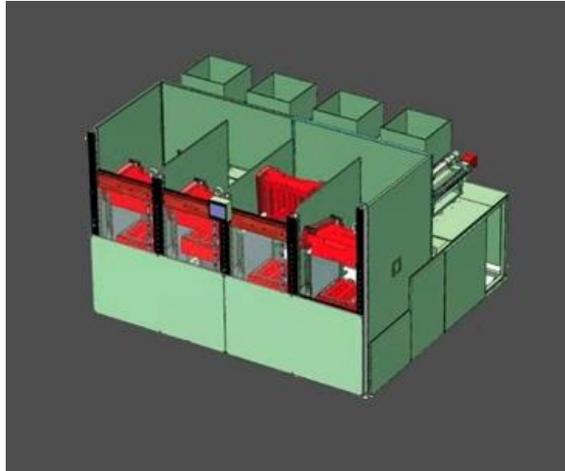


Figura 6: Sistema multipuesto de máquinas de inyección (Serie Jolly, CDG Trading s.r.l.)

Para atender a esta situación, se propone un montaje de robot móvil que pueda acceder a los distintos puestos de trabajo en base a una señal de 'Molde Abierto' asociada con cada uno de los puestos.

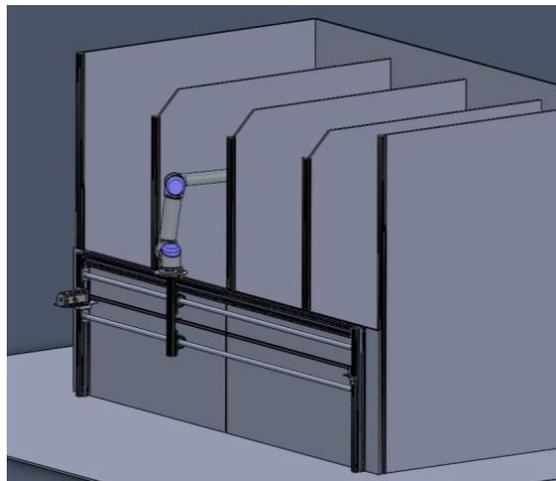


Figura 7: Esquema de montaje con robot móvil

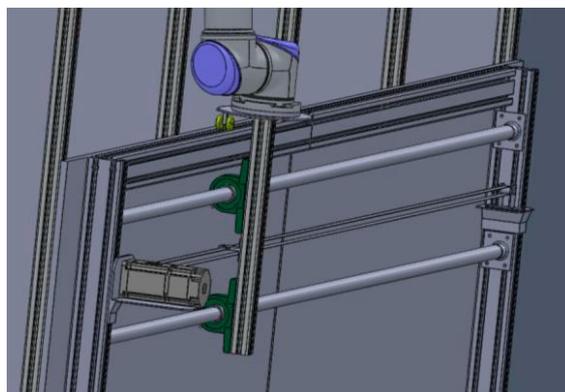


Figura 8: Detalle del sistema de guiado

Una parte esencial para obtener una correcta extracción la constituye la herramienta de agarre, pero aunque existen en el mercado actual multitud de elementos de sujeción de las más diversas características (*ver documento E1.1 Documento de Estado del Arte y Análisis de Operaciones*), es necesario garantizar el acople perfecto de este elemento al tipo de pieza a sujetar, teniendo en cuenta sus especiales características y las restricciones de espacio existentes.

Para asegurar la integridad de la pieza durante la extracción, garantizando que no se producirán marcas o rozaduras en zonas críticas, se aprovechan los nervios de los ahorros en la zona del talón. Esta zona resulta especialmente apta para localizar el esfuerzo ya que se trata de un área de especial robustez, tanto en pisos planos como con tacón; además, en este último caso, resulta la zona más propicia porque es la que presenta más profundidad en el molde y las torsiones producidas al realizar la extracción desde cualquier otro punto, dificultarían aún más la extracción.

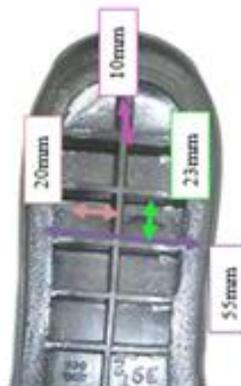


Figura 9: Zona de agarre para la extracción

Por ello, se parte de una pinza comercial, de accionamiento neumático, que garantiza la fuerza y velocidad de trabajo adecuadas, pero se diseña la garra específica para el caso que nos ocupa, así como un dispositivo de extracción (*ver documento E2.1-Documento del diseño de sistemas de agarre y extracción de suelas*).

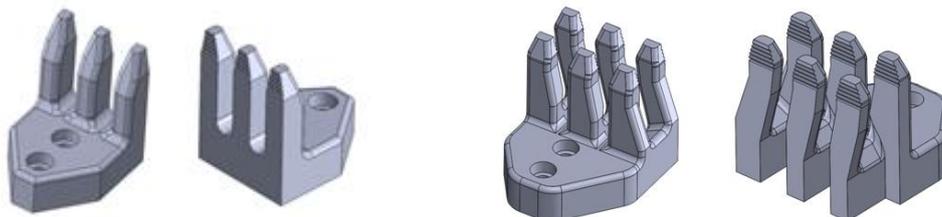


Figura 10: Ejemplos de distintas garras adecuadas a los ahorros del talón

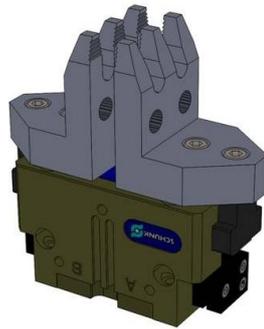


Figura 11: Garra montada sobre pinza SCHUNK

Paralelamente, se desarrollan los diferentes acoplamientos necesarios para evaluar el sistema completo en los diferentes robots disponibles.



Figura 12: Ejemplos de acoplamientos válidos para diferentes robots (ABB, UR, COMAU)

Por último, dada la gran variabilidad en los moldes utilizados debido a la coexistencia de diversos modelos con un rango amplio de tallas, es necesario establecer un sistema de identificación del molde presente en cada puesto, de manera que el robot conozca perfectamente la geometría de la zona de agarre y la trayectoria precisa para realizar la extracción.

Actualmente, los moldes van perfectamente identificados mediante marcas válidas para un operario humano:



Figura 13: Sistema de marcado actual de los moldes

Sin embargo, aunque la tecnología actual permite el reconocimiento de este tipo de marcado (sistemas de visión con OCR, por ejemplo), su posición habitual en la zona lateral externa del molde no es la adecuada para su reconocimiento dentro del puesto de inyección, previo a la tarea de extracción. Así, se evalúa el uso de otros sistemas que permiten la identificación unívoca de elementos de una manera más adecuada:

- Códigos QR:



Figura 14: Ejemplos de códigos QR



Figura 15: Lector de códigos QR

- RFID:



Figura 16: Tags RFID

Con todo, el flujograma básico del proceso sería:

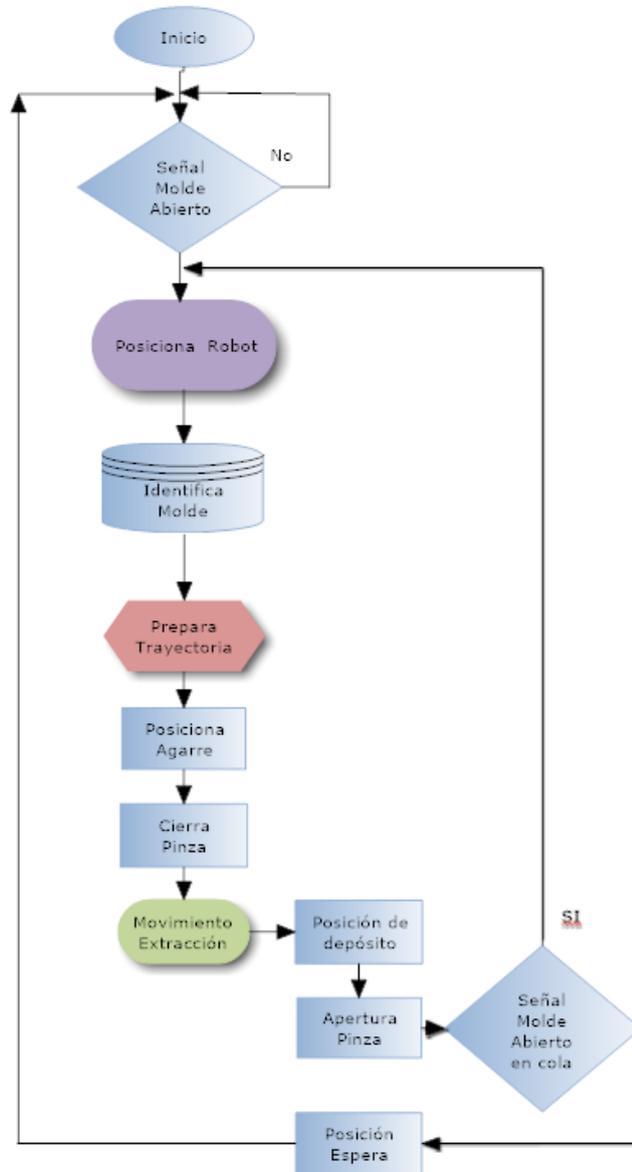


Figura 17: Flujogramas del proceso

En el flujograma anterior hay tres bloques críticos que requieren atención:



El posicionamiento del robot viene determinado por las señales de 'Molde Abierto' generadas por el PLC que controla la máquina de inyección multipuesto. Teniendo en cuenta que puede existir simultaneidad en las señales de fin o estas pueden producirse mientras el robot está ocupado, es necesario desarrollar un Algoritmo Scan, conocido como algoritmo del ascensor, para optimizar los desplazamientos del robot y mantener en cola las solicitudes generadas, incluyendo las restricciones necesarias impuesta por la posible presencia de un operario en alguno de los puestos.



La trayectoria de aproximación del robot al piso está determinada, en primera instancia, por la identificación del mismo y su asociación con el modelo CAD correspondiente (ver epígrafe 2.2 *Generación de Trayectorias*)

El movimiento de extracción puede consistir solo en un desplazamiento perpendicular al molde o combinar este con un cierto ángulo de ataque o, incluso, una rotación.

Un gestor de la celda será el elemento central que pilote todo el proceso:

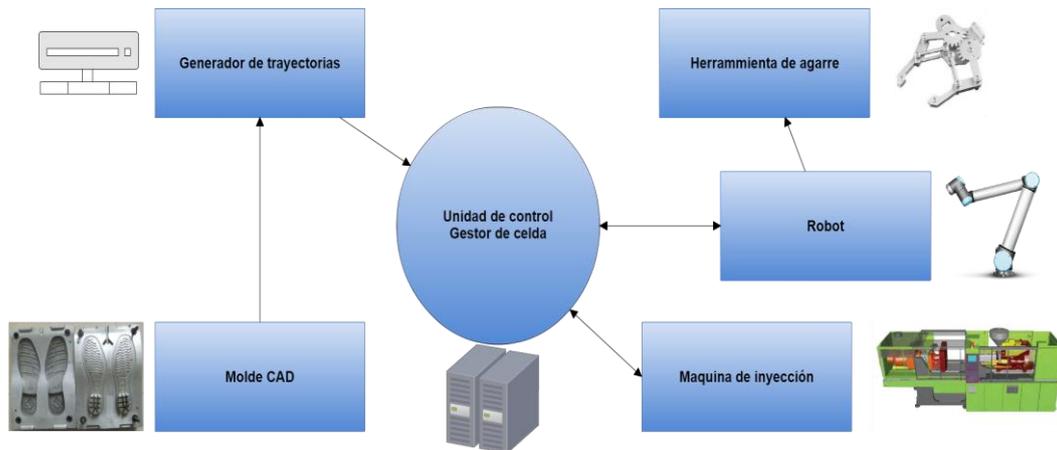


Figura 18: Arquitectura de la celda robótica

2.1.1. Prototipo de celda

Como elemento de verificación/validación inicial, se ha desarrollado un prototipo de celda monopuesto que integra una estructura similar a las de la máquina de inyección convencional para posicionar los moldes, y donde se ha implementado la señal de 'Molde Abierto' mediante un pulsador.

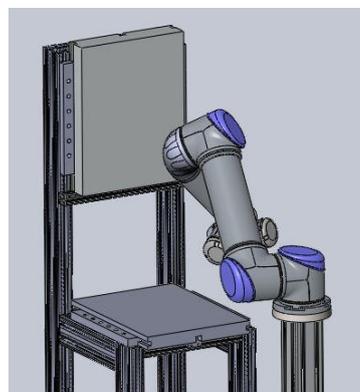
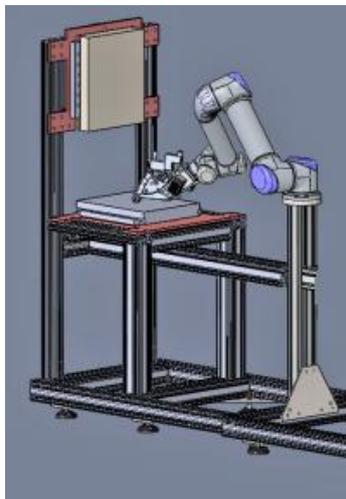


Figura 19: Prototipo de la celda robótica

Este prototipo de celda se ha utilizado para realizar pruebas con los diferentes robots disponibles en Inescop, validar diferentes sistemas de identificación de los moldes, así como probar y validar distintas garras y sistemas de extracción.



Figura 20: Prototipo de la celda robótica

2.2. Generación de Trayectorias

Se han generado trayectorias asociadas a cada molde, a partir de la información CAD del mismo, que puede provenir de una digitalización o de un diseño originalmente CAD.

El objetivo de este proceso es poder indicar el punto donde se debe realizar el agarre del piso y configurar la extracción propiamente dicha, mediante movimientos simples (extracción lineal, perpendicular al plano del molde) o complejos (combinación de movimientos de traslación y rotación en distintos planos), con ciertos parámetros como la velocidad de los desplazamientos, o la fuerza/s a aplicar.

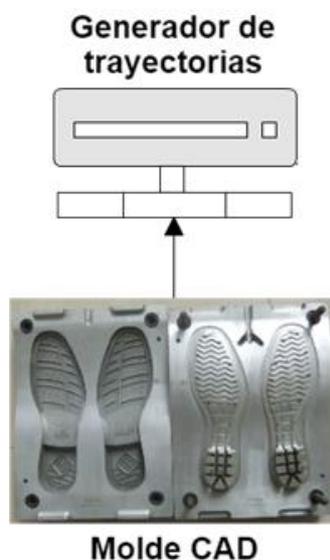


Figura 21: Prototipo de la celda robótica

Las trayectorias generadas se almacenan de forma que el gestor de celda pueda enviarlas al robot para su ejecución.

En términos generales, la trayectoria cuenta con varias fases o posicionamientos:

1. Aproximación a la parte del molde donde se encuentran los pisos. El robot se acerca al molde a alta velocidad.
2. Posición de agarre. Con la pinza abierta, el robot alcanza la posición de agarre a velocidad moderada.
3. Agarre de la suela. Cierre de la pinza.
4. Maniobra de extracción. Dependiendo de la configuración de la trayectoria, el robot realiza la maniobra de extracción de la suela.
5. Posición de descarga. El robot sale de la proximidad del molde a velocidad moderada y se desplaza hasta la posición donde debe hacer la descarga a alta velocidad.
6. Apertura de la pinza para soltar la suela
7. Se repite el proceso desde el punto 1 para la extracción de todas suelas presentes en el molde (generalmente el par completo, aunque a veces caben dos pares en tallas pequeñas)
8. Aproximación a la otra parte del molde posición de agarre del mazarota a alta velocidad.
9. Posición de agarre del mazarota, con la pinza abierta y velocidad moderada.
10. Agarre de la mazarota. Cierre de pinza.
11. Maniobra de extracción del mazarota.
12. Posición de descarga de la mazarota. El robot sale del molde a velocidad moderada y se desplaza, a alta velocidad, hasta la posición de descarga
13. Apertura de la pinza.
14. Posicionamiento final. El robot se mueve hasta una posición segura, y notifica al PLC que puede continuar con otra inyección.

Para las pruebas previas del sistema, se han diseñado diferentes modelos CAD paramétricos de los moldes utilizados por la empresa INMAGO debido a que aparecen algunas diferencias entre ellos.

En todos los casos, el ancho del molde es de 300mm, dimensión necesaria para ajuste en las guías de acoplamiento de la máquina de inyección; sin embargo, hay dos longitudes diferentes, 370 mm y 400 mm, y tres espesores totales diferentes, 100 mm, 120 mm y 140 mm. Como además cada modelo presenta una matriz diferente, se balancea dando 1/3 del grosor a la parte inferior (en nuestro caso, la del mazarota) y 2/3 a la parte superior (la que contendrá los pisos inyectados. En resumen:

- 370 * 300 * 35 (parte inferior) y 370 * 300 * 65 (parte superior)

- 370 * 300 * 40 (parte inferior) y 370 * 300 * 80 (parte superior)
- 370 * 300 * 50 (parte inferior) y 370 * 300 * 90 (parte superior)
- 400 * 300 * 35 (parte inferior) y 400 * 300 * 65 (parte superior)
- 400 * 300 * 40 (parte inferior) y 400 * 300 * 80 (parte superior)
- 400 * 300 * 50 (parte inferior) y 400 * 300 * 90 (parte superior)

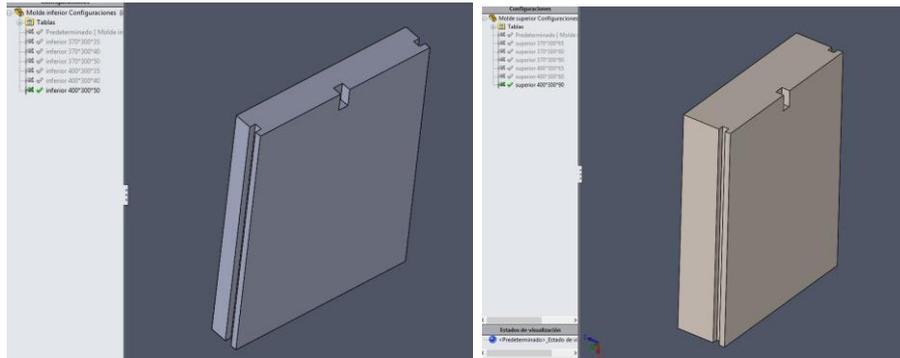


Figura 22: Diseño del molde paramétrico

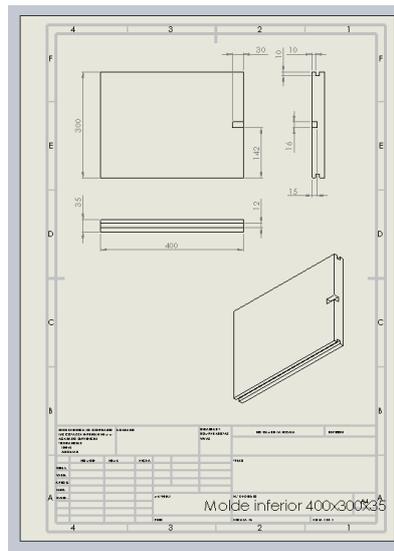


Figura 23: Plano de la parte inferior del molde

3. Conclusiones

La celda robótica diseñada simula la disposición de los moldes en las máquinas de inyección multipuesto de estructura modular, atendiendo a la posición relativa de cada uno de sus elementos y, sobre todo, a las restricciones de espacio que limitan necesariamente los movimientos del robot.

Se han tenido en cuenta pues las cotas dadas por la propia máquina, así como los diferentes tamaños de molde admisibles y la disposición relativa de todos los elementos.

Como actuador, la celda incorpora un robot colaborativo UR5 (Universal Robots) montado en posición vertical sobre un pilar con los requerimientos mecánicos necesarios.

ANEXO I: ROBOTS COLABORATIVOS

El robot colaborativo (COBOT) constituye una nueva generación de robots capaz de integrarse en el entorno de trabajo humano sin necesidad de utilizar vallados de seguridad¹, lo que lo hace ideal para una aplicación como la que nos ocupa, donde los espacios de trabajo son generalmente reducidos.

La actual normativa referente a sistemas de robótica industrial se basa en las normas ISO 10218-1, ISO 10218-2. La irrupción de estos nuevos Robots ha propiciado nuevas legislaciones como la ISO/TS 15066 – Safety of Collaborative Robots donde se definen los Requisitos de seguridad para robots y aplicaciones colaborativas².

Esta capacidad de trabajar ‘codo con codo’ se logra principalmente por el uso de actuadores elásticos, sistemas de detección de fuerza, sensores de proximidad y movimientos relativamente lentos; todo ello unido a diseños basados en formas redondeadas e incluso acolchadas para reducir el impacto de cualquier colisión con el humano. Además, pueden configurarse para adecuarse a las a las necesidades productivas propias de cada puesto de trabajo, definiendo alguno de los denominados modos de trabajo colaborativos³:

- **Parada supervisada de seguridad:** En esencia, se limitan los movimientos del robot, impidiendo su entrada en el espacio compartido (colaborativo) cuando el trabajador está presente, o si el robot ya está dentro de la zona, ralentizando o incluso deteniendo su movimiento antes de que el operario entrante pueda interactuar con él.

Para ello, es necesario que el sistema de seguridad cuente con dispositivos de detección de la presencia del operario, considerando siempre que su localización debe ser coherente con la necesidad de disponer de un tiempo de parada en función de la velocidad de aproximación.

Cuando el operario sale del espacio colaborativo, el robot reanuda el movimiento sin ninguna intervención adicional, y puede funcionar de forma no colaborativa.

SITUACIÓN DE MOVIMIENTO O PARADA DEL ROBOT		ESPACIO DE TRABAJO COLABORATIVO. POSICIÓN DEL OPERARIO.	
		FUERA	DENTRO
ESPACIO DE TRABAJO COLABORATIVO SITUACIÓN DEL ROBOT	FUERA	Continúa	Continúa
	DENTRO Y EN MOVIMIENTO	Continúa	Parada de seguridad
	DENTRO EN PARADA SUPERVISADA DE SEGURIDAD	Continúa	Continúa

Cuadro 1. Relación entre la situación relativa del operario y el robot y el movimiento de este.

¹ <http://www.plastico.com/TEMAS/LOS-COBOTS-ESTAN-DISPUESTOS-A-TRABAJAR-CONTIGO+108382>

² <http://www.infopl.net/BLOGS-AUTOMATIZACION/ITEM/102143-ROBOTS-COLABORATIVOS>

³ <http://www.seguritecna.es/seguridad-aplicada/industria/robots-colaborativos-y-seguridad>

- **Guiado manual.** El operario utiliza un dispositivo manual para transmitir las órdenes de movimiento al robot, controlando de este modo el proceso de trabajo.

Es habitual el uso de este modo combinado con la parada supervisada de seguridad, desde el momento en que el operario entra en la zona de trabajo colaborativo hasta que toma el control con el mando manual y, por el contrario, desde que lo deja hasta que sale de la zona, evitando así riesgos en las transiciones entre modos de trabajo.

También se suele usar en coordinación con el control monitorizado de la velocidad y eventualmente definiendo zonas en las que el movimiento del robot no está permitido.

- **Control monitorizado de la velocidad y la distancia de seguridad:** En este modo de trabajo, operario y robot comparten el mismo espacio colaborativo, basando la seguridad del trabajador en el mantenimiento de una cierta distancia de seguridad determinada en la evaluación de riesgos.

En este caso, el robot debe ir monitorizando continuamente la posición del trabajador, generalmente mediante sistemas de visión más o menos sofisticados o sistemas de barreras secuenciales de forma que si el trabajador se acerca al robot más de lo debido, éste se para, reiniciando el movimiento cuando vuelve a alejarse.

En este tipo de control, a veces están interrelacionadas las distancias de seguridad con la velocidad que lleva el robot en cada instante, de modo que a menor velocidad, menor es la distancia de seguridad siempre, por supuesto, atendiendo a la evaluación de riesgos.

Así, se pueden mantener distancias de seguridad constantes o variables función de la velocidad. La especificación técnica ISO/TS 15066:2016 facilita criterios técnicos para calcular estas velocidades y distancias.

- **Limitación de la fuerza y la energía:** Aunque como se ha visto no es el único, éste es el modo de trabajo que viene a la mente cuando se habla de robots colaborativos. Esto es así porque en este modo de trabajo no se pretende evitar el contacto entre el trabajador y el robot, sino que se basa el control del riesgo en la reducción de la fuerza y energía en juego, por debajo de unos valores límite, de modo que no sean peligrosas para el trabajador.

Para controlar estas fuerzas y presiones se recurre, por una parte, a introducir modificaciones de diseño, aumentando las superficies de contacto, redondeándolas y eliminando aristas vivas, y reduciendo las fuerzas de impacto con la incorporación de acolchados y partes deformables y, por otra, a limitar las masas en movimiento y su velocidad, reduciendo inercia.

En estas condiciones, el contacto entre el robot y el trabajador puede ser necesario o simplemente posible, sin que se considere peligroso. Los valores límite se establecen en base a las fuerzas y presiones que puede soportar el cuerpo humano sin sufrir daños relevantes, para lo que una vez más la especificación

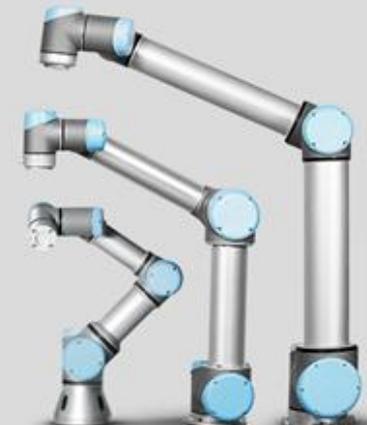
técnica ISO/TS 15066:2016 facilita en su anexo A criterios técnicos basados en estudios empíricos⁴.

Como contrapartida, los COBOTS tienen ciertas limitaciones de trabajo en cuanto a posibilidad de manipulación de cargas o velocidades y en ocasiones se parecen más a juguetes infantiles, por su tamaño, formas suaves y redondeadas y movimientos lentos, que a la idea extendida sobre un robot de uso industrial.

Ejemplos de COBOTS en el mercado

Todos los modelos de Universal Robots son brazos robóticos de seis ejes ligeros y altamente flexibles, diseñados para destacar en una amplia gama de aplicaciones. Los robots colaborativos, o cobots, se clasifican según sus límites de carga útil. Los diferentes modelos tienen también diferente alcance, peso y huella.

	Brazo robótico UR3	Brazo robótico UR5	Brazo robótico UR10
Radio de acción	500 mm/19,7 pulg	850 mm/33,5 pulg	1300 mm/51,2 pulg
Carga útil	3 kg/6,6 libras	5 kg/11 libras	10 kg/22 libras
Peso	11 kg/24,3 libras	18,4 kg/40,6 libras	28,9 kg/63,7 libras
Huella	128 mm/4,6 pulg	149 mm/5,9 pulg	190 mm/7,5 pulg



<https://www.universal-robots.com/es/productos/ay%C3%BAdame-a-elegir/>

Robots colaborativos



FANUC Robot CR-4iA - short arm, compact model with a 4kg payload

Collaborative robot

- Payload: 4 kg
- Reach: 550 mm



Robot colaborativo CR-7iAL

Robot colaborativo

- Capacidad de carga: 7 kg
- Alcance: 911 mm



Robot colaborativo CR-35iA

Robot colaborativo de 6 ejes

- Ejes: 6
- Carga útil: 35 kg

<http://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%C3%A1gina-filtro-robots/%D1%80obots-colaborativos>

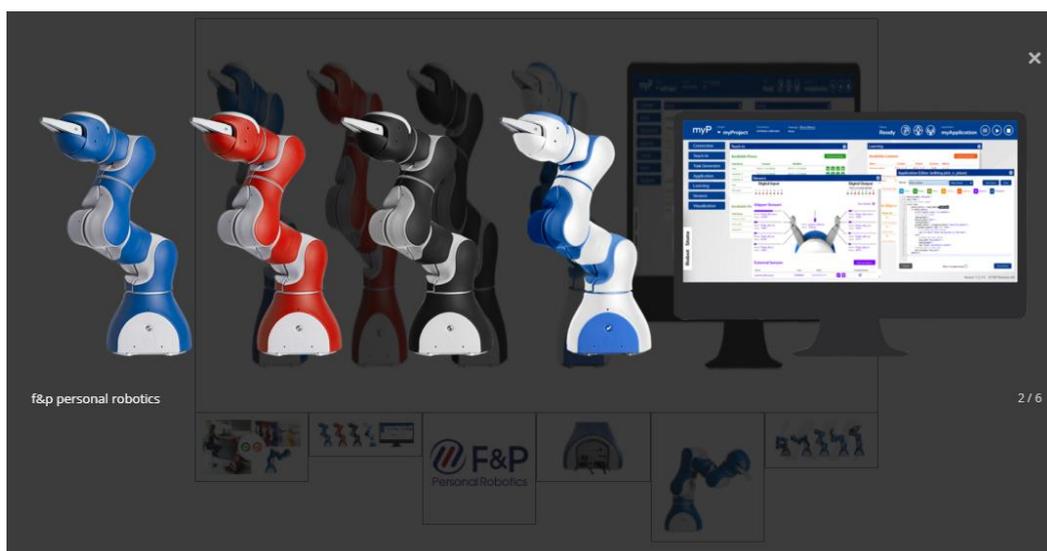
⁴ <http://www.infopl.net/DOCUMENTACION/22-ROBOTICA/2167-ROBOT-COLABORATIVO-NORMATIVA-SEGURIDAD>
E3.1. INFORME DEL PROTOTIPO DE CELDA ROBÓTICA PROPUESTA



Technical specifications

Number of axes	6
Maximum wrist payload (Kg)	3
Additional load on forearm (Kg)	2
Maximum horizontal reach (mm)	630
Torque on axis 4 (Nm)	7.36
Torque on axis 5 (Nm)	7.36
Torque on axis 6 (Nm)	4.41
Stroke (Speed) on Axis 1	+/- 170° (430 °/s)
Stroke (Speed) on Axis 2	-95°/+135° (450 °/s)
Stroke (Speed) on Axis 3	-155°/+90° (500 °/s)
Stroke (Speed) on Axis 4	+/- 200° (600 °/s)
Stroke (Speed) on Axis 5	+/- 125° (600 °/s)
Stroke (Speed) on Axis 6	+/- 2700° (900° /s)
Repeatability (mm)	0.02
Tool coupling flange	ISO 9409 - 1 - A 40
Robot weight (Kg)	30
Protection class	IP54
Mounting position	Floor / Ceiling / Sloping / Wall
Operating Areas A (mm)	1081
Operating Areas B (mm)	630
Operating Areas C (mm)	37
Operating Areas D (mm)	530
Operating Areas E (mm)	136

<http://www.comau.com/EN/our-competences/robotics/robot-team/racer-3>



<http://www.fp-robotics.com/en/industrial-automation/>



<https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/robot-industrial/lbr-iiwa>



TX2-90 6-axis industrial robot

TX2 robots: the next generation of fast and precise 6-axis robots. This new robot range is redefining performance with the optimum balance of speed, rigidity, size and envelope. Those pioneer robots can be used in all areas, including sensitive and restrictive environments thanks to their unique features.

<https://www.staubli.com/en/robotics/6-axis-scara-industrial-robot/medium-payload-6-axis-robot/6-axis-industrial-robot-tx2-90/>