



EXPEDIENTE	IMDEEA/2018/51
ACRÓNIMO	MANICOBOT
PROGRAMA	Proyectos de I+D de carácter no económico realizados en cooperación con empresas
TÍTULO DEL PROYECTO	DESARROLLO DE SISTEMAS DE MANIPULACIÓN DE PIEZAS DEFORMABLES DE PIEL EN LAS ETAPAS PREVIAS DE PREPARACIÓN DEL CORTE EN CALZADO MEDIANTE ROBÓTICA COLABORATIVA

Entregable E5.1

PRUEBAS Y RESULTADOS

ÍNDICE

1. Descripción del entregable.....	3
2. Trabajo realizado	3
2.1. Evaluación de Manipuladores.....	3
2.1.1. Manipulador Mecánico	4
2.1.2. Manipulador Mixto.....	6
2.1.3. Manipulador Neumático	7
2.1.4. Manipulador por Electro adhesión.....	9
2.1.5. Resumen de la evaluación de manipuladores.....	10
2.2. Evaluación del Sistema de Visión. Reconocimiento de piezas	11
2.2.1. Evaluación de la calibración	11
2.2.2. Evaluación del proceso de reconocimiento	12
2.3. Evaluación del Gestor de Celda Robótica	12
2.4. Evaluación del Prototipo Desarrollado	13
3. Conclusiones.....	14

1. Descripción del entregable

Este informe incluye la descripción de las diversas pruebas realizadas para la validación del sistema propuesto, tanto en su conjunto como en cada una de sus partes.

2. Trabajo realizado

El sistema consta de una celda robótica compuesta por una bancada con dos zonas, un soporte para cámara, un soporte para robot y el robot propiamente dicho.

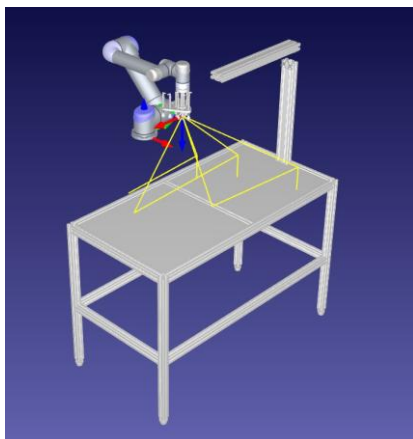


Fig. 1. Celda Robótica

2.1. Evaluación de Manipuladores

Durante el desarrollo del proyecto se han diseñado distintos actuadores atendiendo a diferentes situaciones en la manipulación de piezas.

Para su evaluación, se han definido las operaciones básicas a realizar, estableciendo cuáles de ellas son, a priori, realizables por cada manipulador, procediendo posteriormente a su verificación:

OPERACIÓN		Posible	Verificada
Coger en plano	Piezas separadas	✓	
	Piezas muy próximas	✓	
Apilado		✓	
Desapilado		✓	
Volteo		✓	
Posicionado		✓	

El resultado de la verificación puede ser:

- ✓ -> Correcto
- (✓) -> Correcto con limitaciones
- (X) -> Posible con dificultades
- X -> Imposible

2.1.1. Manipulador Mecánico

Simula el trabajo prensil de los dedos de un operario. Se ha desarrollado partiendo de una pinza colaborativa sobre la que se han testado diversos diseños de dedos, construidos inicialmente mediante impresión 3D por deposición de ABS y PLA.



Fig. 2. Diversos dedos fabricados

OPERACIÓN		Posible	Verificada
Coger en plano	Piezas separadas	✓	(✓)
	Piezas muy próximas	✓	(✓)
Apilado		✓	(✓)
Desapilado		✓	(X)
Volteo		✓	(✓)
Posicionado		✓	(X)

Comentarios sobre la evaluación:

1. Por razones de operatividad, se han realizado la mayoría de las pruebas en el robot UR10, aunque los resultados son extrapolables al UR5, ya que ambos disponen del mismo acoplamiento para la herramienta.
2. El sistema es adecuado para cualquier tipo de material y/o espesor, si bien en espesores pequeños se dificulta la entrada de la uña y a veces el material se dobla impidiendo una sujeción correcta
3. Es crítico el ángulo de incidencia de los dedos para garantizar la cogida de la pieza, especialmente cuando se trata de piezas muy próximas entre sí. Por ello, en el diseño final, los dos dedos son diferentes.

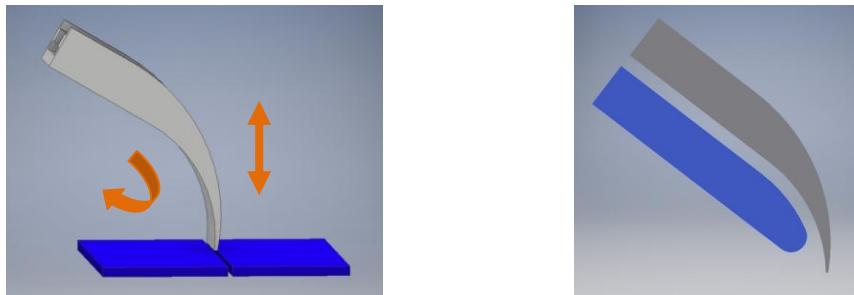


Fig. 3. Detalle de ángulo de incidencia y diseño diferente de dedos

El posicionado del robot debe garantizar la perpendicularidad del dedo mayor en el momento de incidencia, realizando después una rotación que garantice que aquél queda por debajo de la pieza a sujetar.

4. Una vez posicionado el manipulador, la rotación precisa para garantizar que el dedo inferior queda debajo de la pieza produce, a veces, un desplazamiento indeseado de ésta, especialmente en el caso de piezas sueltas. Este efecto se minimiza cuando se trabaja sobre superficies con succión, similares a la salida de máquina de corte
5. Si se trabaja sobre la pantalla de retroiluminación, se dificulta la tarea por tener aquella una superficie rugosa.
6. El uso de la pinza colaborativa garantiza un cierre suave, lo que minimiza la posibilidad de desplazar accidentalmente otras piezas que se encuentran muy próximas al punto de entrada.
7. Como la pieza queda sujeta por un solo punto próximo al borde, tiende a descollarse durante el transporte, lo que podría arrastrar a otras piezas que se encuentren en la trayectoria seguida.

Para minimizar este efecto de descuelgue, garantizando siempre que el robot levanta la pieza suficientemente, se determina cual es el punto óptimo de sujeción en cada caso, lo que formará parte de la información de la base de datos para el reconocimiento de pieza.



Fig. 4. Efecto de descuelgue en pieza sujeta por un solo punto.

8. Precisamente el efecto de descuelgue durante el transporte obliga a realizar un movimiento de barrido cuando se va a dejar la pieza, para garantizar que queda plana, especialmente en materiales muy blandos o con escaso espesor.
9. El conocimiento, a priori, del punto de sujeción, garantiza el correcto posicionado de la pieza en los trabajos de apilado.
10. La necesidad de realizar un movimiento de barrido para dejar la pieza puede provocar movimientos indeseados del conjunto en la tarea de apilado, especialmente para materiales muy finos y blandos.
11. El manipulador propuesto podría utilizarse en tareas de desapilado. Para ello sería necesario un sistema de detección de borde en la pila que sale fuera de los objetivos de este proyecto.
12. Si bien conocer el punto de sujeción de la pieza permite asegurar su orientación, aparecen dificultades en la tarea de posicionado de piezas por la necesidad del movimiento de barrido para dejarlas. Podría resolverse este problema aplicando succión en la zona de

descarga/posicionado de las piezas para evitar desplazamientos indeseados, pero esto excede los objetivos del presente proyecto.

2.1.2. Manipulador Mixto

Simula el trabajo prensil de los dedos de un operario mediante la combinación de una barra de uña y un pistón neumático.

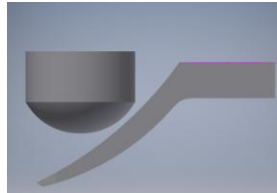


Fig. 5 Diseño base del manipulador mixto

En este caso el manipular se desarrolla directamente para su acoplamiento al robot sin ningún tipo de pinza.



Fig. 6. Conjunto del manipulador mixto y detalle de funcionamiento

OPERACIÓN		Posible	Verificada
Coger en plano	Piezas separadas	√	(√)
	Piezas muy próximas	√	(√)
Apilado		√	(√)
Desapilado		√	(X)
Volteo		√	(√)
Posicionado		√	(X)

Comentarios sobre la evaluación:

En general, los comentarios sobre este manipulador coinciden con los expuestos anteriormente para el manipulador mecánico, salvo el relativo al accionamiento lento de la pinza colaborativa.

Por el contrario, es necesario regular el accionamiento neumático del pistón porque cuando es muy rápido se pueden producir desplazamientos indeseados en piezas adyacentes.

2.1.3. Manipulador Neumático

Se ha diseñado una matriz de ventosas de accionamiento independiente. Durante el proceso, se han construido varios prototipos mediante impresión 3D por deposición de distintos materiales, donde se han ido recogiendo diferentes mejoras para optimizar el resultado.

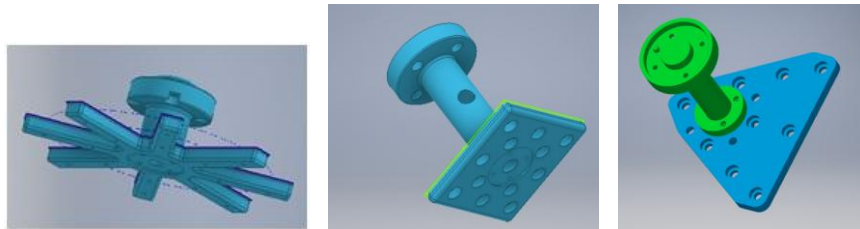


Fig. 7. Diferentes diseños del manipulador neumático

El diseño final incluye dos tipos de ventosas, 4 ovaladas y 8 de fuelle, con sus correspondientes eyectores de accionamiento independiente, y una ventosa ciclónica para garantizar la sujeción de piezas porosas o con agujeros.

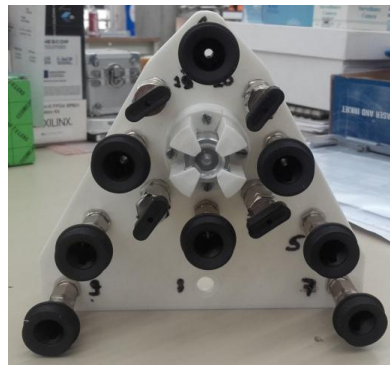


Fig. 8. Distribución de ventosas y ciclónico

OPERACIÓN		Posible	Verificada
Coger en plano	Piezas separadas	✓	✓
	Piezas muy próximas	✓	(✓)
Apilado		✓	✓
Desapilado		✓	(✓)
Volteo		X	X
Posicionado		✓	(✓)

Comentarios sobre la evaluación:

1. Se define el manipulador con el ciclónico en el centro de la herramienta, por lo que actúa en todos los casos. Con ello, el sistema es adecuado para cualquier tipo de material y/o espesor.
2. En materiales muy porosos donde las ventosas pierden toda su eficacia, si la pieza es grande, a veces se desprende porque el ciclónico, por sí solo, no es capaz de sujetarla.
3. La evolución de la forma del actuador hasta la forma final en delta garantiza una sujeción muy correcta de la pieza que queda plana.
4. La correcta orientación del manipulador y la activación de las ventosas adecuadas, a partir del proceso de optimización entre el área de cada pieza reconocida y el número y posición de las ventosas implicadas, garantiza un agarre correcto.

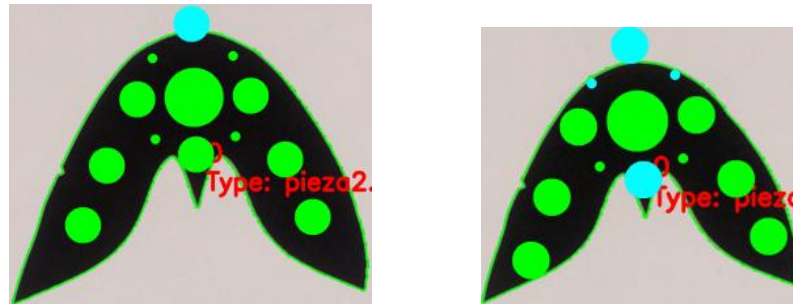


Fig. 9. Muestra de diferente activación de ventosas para un mismo tipo de pieza en distinta talla (36 y 45).

5. La no activación de ventosas exteriores a cada pieza garantiza que no se producen desplazamientos indeseados en piezas adyacentes, tanto en las tareas de cogida como dejada de la pieza.
6. Surgen problemas en tiras estrechas y largas, donde solo se activa el ciclónico y alguna/s ventosa ovalada, porque aparece un efecto indeseado de descuelgue en los extremos.
7. El transporte en plano de las piezas garantiza su correcto apilado (salvo en tiras estrechas y largas).
8. La activación de las ventosas precisas y el transporte en plano garantiza un correcto posicionamiento de piezas sin interferir en las adyacentes.
9. Aparecen algunos problemas en el desapilado de piezas porosas, porque puede coger más de una cada vez.
10. En el desapilado de piezas no se dispone del recurso de optimización entre el área de la pieza y las ventosas a activar, por lo que pueden aparecer interferencias indeseadas cuando la pieza superior es de menor tamaño que la siguiente. Este problema si resuelve si es conocido, a priori, el tipo de pieza de la pila.
11. No es posible realizar el volteo de piezas.

2.1.4. Manipulador por Electro adhesión

El manipulador por Electro adhesión ha sido, con diferencia, el que ha requerido un trabajo de evaluación a más bajo nivel, ante la imposibilidad de conseguir un dispositivo comercial adecuado.

Una vez diseñado el actuador base a partir de la aplicación del fundamento teórico del fenómeno de electro adhesión y la realización de diferentes ensayos de test y validación, se diseña la fuente de alimentación adecuada (ver *E2.1 Manipuladores Desarrollados*, epígrafe 2.3 y Anexo I) Finalmente, se construye el manipulador propiamente dicho con el acoplamiento correspondiente para el robot.

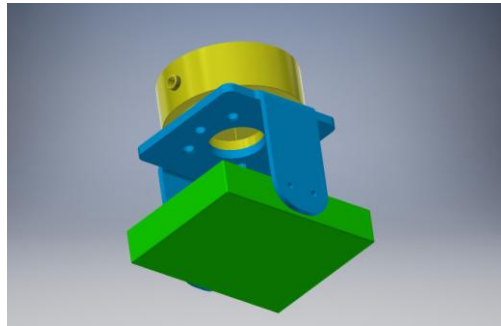


Fig. 10. Acoplamiento para manipulador de Electro adhesión



Fig. 11. Actuador de electro adhesión

OPERACIÓN		Posible	Verificada
Coger en plano	Piezas separadas	✓	(✓)
	Piezas muy próximas	✓	(X)
Apilado		✓	✓
Desapilado		✓	(✓)
Volteo		X	X
Posicionado		✓	(X)



Comentarios sobre la evaluación:

1. El manipulador ha trabajado correctamente con todos los tipos de materiales ensayados, salvo con serraje.
2. La forma rectangular del actuador supone una limitación importante en el tamaño y forma de las piezas a manipular.
3. La activación todo/nada del actuador y su forma dificultan el trabajo con piezas próximas entre sí.
4. Para garantizar la sujeción de la pieza, es preciso ralentizar el movimiento de subida del robot tras la activación del dispositivo.
5. En piezas grandes, puede producirse descuelgue de las partes no cubiertas por el actuador.
6. En piezas grandes con zonas descolgadas, puede desprenderse la pieza.
7. La tarea de apilado se realiza correctamente, aunque en piezas con zonas descolgadas es necesario realizar un movimiento de barrido adecuado.
8. La tarea de desapilado presenta las limitaciones impuestas por el tamaño del actuador.
9. En el desapilado de piezas de muy bajo espesor, en ocasiones se cogen dos piezas a la vez.
10. Puede realizar tareas de posicionado con las limitaciones impuestas por el tamaño del actuador.
11. No puede realizar la tarea de volteo de piezas

2.1.5. Resumen de la evaluación de manipuladores

OPERACIÓN		Mecánico	Mixto	Neumático	Electroadh
Coger en plano	Piezas separadas	(√)	(√)	√	(√)
	Piezas muy próximas	(√)	(√)	(√)	(X)
Apilado		(√)	(√)	√	√
Desapilado		(X)	(X)	(√)	(√)
Volteo		(√)	(√)	X	X
Posicionado		(X)	(X)	(√)	(X)

- √ -> Correcto
- (√) -> Correcto con limitaciones
- (X) -> Posible con dificultades
- X -> Imposible

2.2. Evaluación del Sistema de Visión. Reconocimiento de piezas

El sistema de visión definitivo consta de una base retroiluminada y una cámara RaspBerry V2 (ver E3.1. Sistema de Visión Desarrollado)

Para su evaluación, se parte de una base de datos compuesta por 13 piezas:

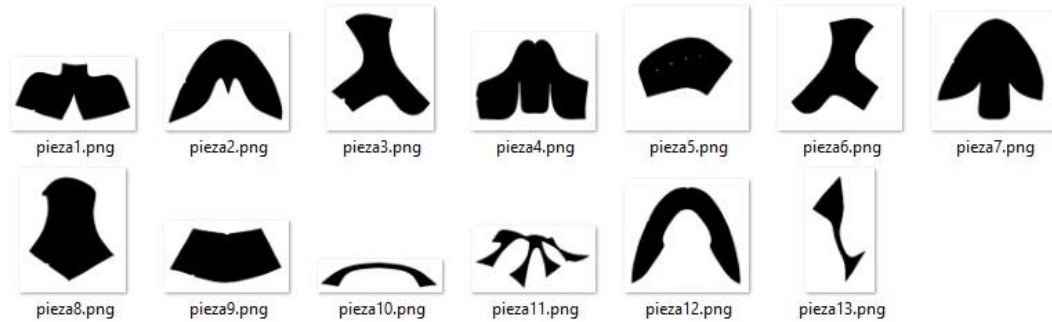


Fig. 12. Conjunto de piezas en la base de datos de evaluación.

El objetivo es garantizar la identificación de las piezas y determinar la talla real en cada caso. Para ello, las piezas en la base de datos se corresponden con la talla de muestra (37 para calzado de señora, 40 para caballero)

2.2.1. Evaluación de la calibración

Como paso previo, se evalúa la calidad de la calibración del sistema, ya que solo una correcta determinación de parámetros intrínsecos de la cámara eliminará la distorsión de la imagen, garantizando el reconocimiento de la forma, y la adecuada obtención de parámetros extrínsecos dará la información correcta sobre el tamaño y la posición de cada pieza.

Para ello, se realizan diferentes calibraciones y se evalúan los resultados obtenidos:

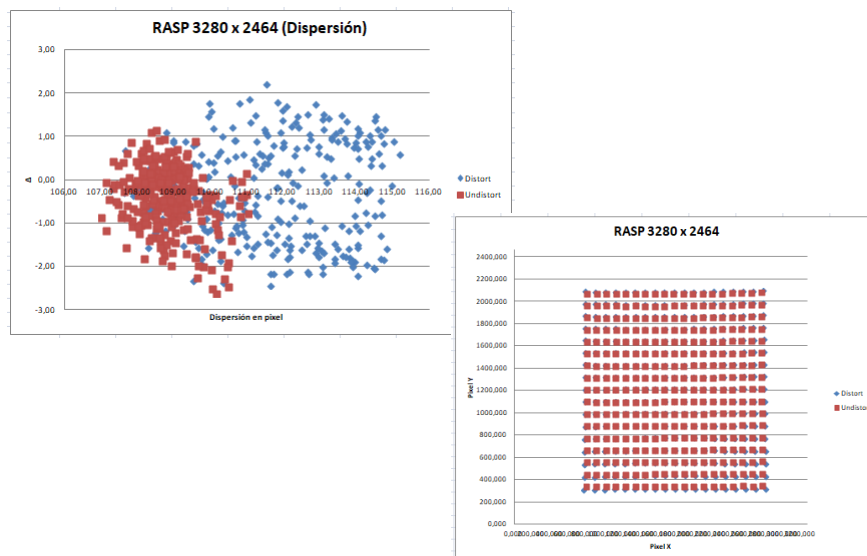


Fig. 13. Análisis de resultados de calibración

2.2.2. Evaluación del proceso de reconocimiento

Una vez obtenida la calibración adecuada, se realiza el test de reconocimiento de las diversas piezas que integran la base de datos.



Fig. 14. Ejemplo de identificación de piezas. Imagen original (dch) y piezas identificadas y localizadas (izq)

El procedimiento consiste en la disposición aleatoria de distintos grupos de piezas pertenecientes a la base de datos, verificando su reconocimiento correcto en cualquier posición y orientación dentro del área de visión.

2.3. Evaluación del Gestor de Celda Robótica

El procedimiento de reconocimiento y localización de piezas se integra en el gestor de la celda robótica.

En el caso de los manipuladores prensiles (mecánico y mixto) el punto de sujeción viene dado en la información de la base de datos de piezas. Para poder trasladar esta posición al mundo 3D real, es necesario obtener el centroide de la pieza en cuestión, y calcular el ángulo entre su orientación actual y la de la base de datos. Con este ángulo obtenemos la posición de sujeción para el sistema de visión, por lo que resta verificar la correcta sincronización entre esta y el robot.

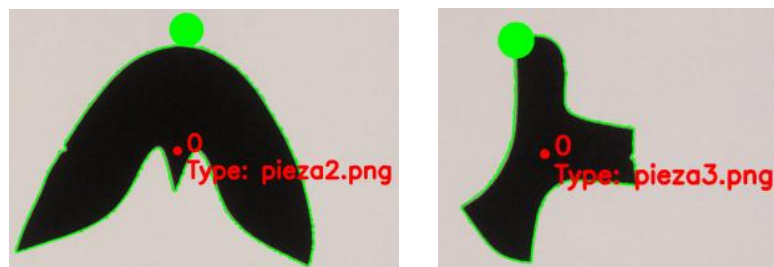


Fig. 15. Ejemplo de identificación de piezas con punto de entrada para manipulador prensil

Para el caso del manipulador neumático, se ha implementado un algoritmo de maximización entre la pieza detectada y las ventosas implicadas en su sujeción (ver E4.1 Prototipo):

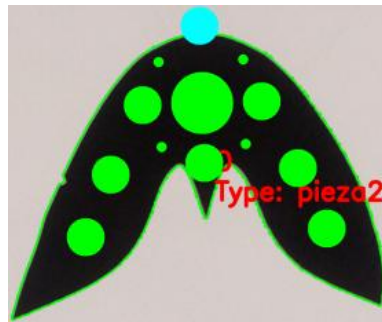


Fig. 16. Resultado de maximización de la matriz de ventosas

Un caso similar se presenta para el manipulador por Electro adhesión donde, debido a su formato rectangular, se realiza una maximización de área de contacto que determinará, en su caso, la orientación del actuador.

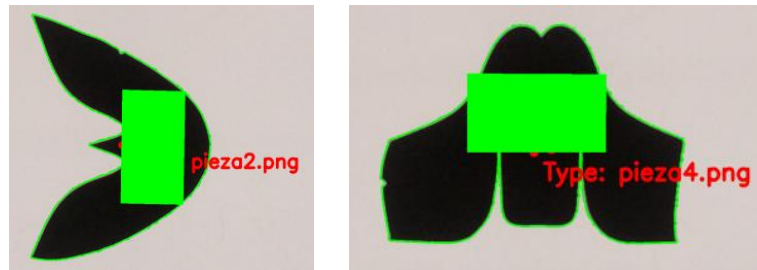


Fig. 17. Resultado del posicionado del actuador por electroadhesión

En estos casos no es necesario obtener información de la base de datos, pero el reconocimiento se sigue realizando para identificar aquellas piezas que sean iguales, y poder clasificarlas por tipo. Además, se recogen primero las piezas de mayor área, por lo que es posible clasificar las piezas dentro de cada tipo según su talla.

En todos los casos la piezas han sido correctamente reconocidas y el manipulador posicionado y orientado de forma adecuada.

2.4. Evaluación del Prototipo Desarrollado

La evaluación realizada a cada una de las partes del sistema ha tenido un carácter acumulativo, por lo que implícitamente conlleva la evaluación del prototipo.

En principio se han creado programas independientes en los robots para la evaluación de cada uno de los manipuladores, lo que ha permitido aislar y acometer los problemas surgidos con cada uno de ellos, sentando además las bases necesarias para el desarrollo del gestor de la celda robótica.

Posteriormente, se ha incorporado el sistema de visión para la identificación y localización de las piezas, incluyendo en el gestor de la celda las herramientas necesarias para optimizar el posicionamiento de cada actuador respecto a cada modelo de pieza.

Llegados a este punto, el prototipo se presenta totalmente operativo para las funcionalidades previstas, habiendo sufrido solo una reubicación del sistema del



robot y el sistema de visión, para garantizar el acceso a las dos áreas de trabajo previstas, minimizando la posibilidad de colisiones.



Fig. 18. Celda Robótica

3. Conclusiones

Durante las pruebas de validación, los distintos elementos que componen el sistema han ido evolucionando para mejorar su comportamiento, tanto independiente como de conjunto.

Los cuatro tipos de manipuladores desarrollados se han mostrado adecuados para las funcionalidades previstas para cada uno de ellos, y el acoplamiento con el robot y su pilotaje a partir de la información aportada por el sistema de visión han cubierto los objetivos previstos.

Han aparecido algunas limitaciones en el uso de los manipuladores mecánico y mixto por desplazamiento indeseado de las piezas, lo que apunta a la necesidad de disponer de un sistema de fijación, tipo vacío, en el área de trabajo, aunque entra en conflicto con la retroiluminación del sistema de visión.

En cualquier caso, estos manipuladores se han desarrollado pensando en la aplicación concreta de sacado de piezas de la máquina de corte, donde la propia máquina ofrece ya el sistema de aspiración necesario, pero donde no es aplicable el sistema de visión desarrollado (ver entregable E3.1. Sistema de Visión Desarrollado), si no que sería necesario conectar con la propia máquina para obtener de ella la información sobre cada pieza cortada y su posición, lo que excede el ámbito del presente proyecto.