

ROBINT

ROBOTIZACIÓN INTELIGENTE

ENTREGABLE E5.1

“Sensorización de sistemas robotizados”

CENTROS DE INVESTIGACIÓN:



1 Contenido

2	Introducción	3
3	T 5.1: Sensorización de robots. (INESCOP y AIJU)	3
3.1	Planta piloto del sector del calzado.....	3
3.2	Planta piloto del sector del juguete.	4
4	T 5.2: Desarrollo Software de control. (INESCOP y AIJU)	13
5	T 5.3: Validación de resultados. (INESCOP y AIJU)	16

2 Introducción

En este documento se detalla la implementación de los sistemas de sensorización y herramientas diseñadas en las plantas piloto, tanto del sector del juguete como del sector del calzado. También se hace una descripción de la implementación del Software para el control de ambas plantas. Así como una valoración de los resultados obtenidos.

3 T 5.1: Sensorización de robots. (INESCOP y AIJU)

3.1 Planta piloto del sector del calzado.

Se ha realizado la integración de todos los elementos en la celda del robot, para esto se ha modificado la tool del sistema propuesto para añadir un elemento metálico tipo bloque para poder usar la pinza integrada en el robot. Además, se ha diseñado y fabricado un palet para la horma que integra el zapato tipo bota con suela de goma que se utiliza para la eliminación de la rebaba sobrante de material.

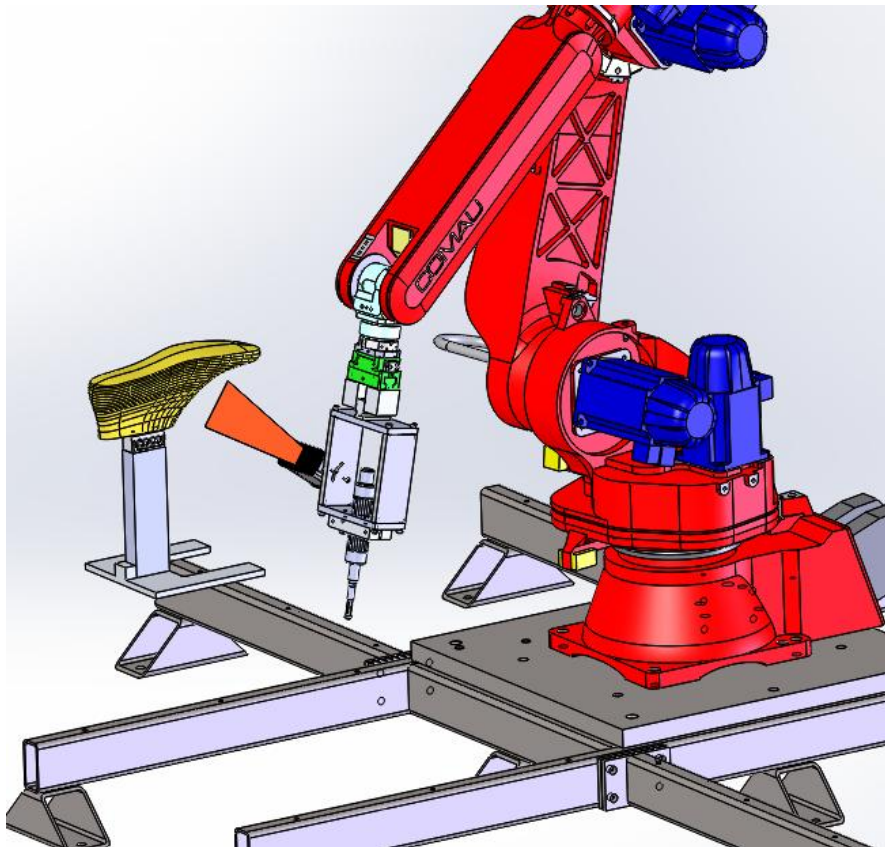


Figura 1: Diseño de integración de elementos.

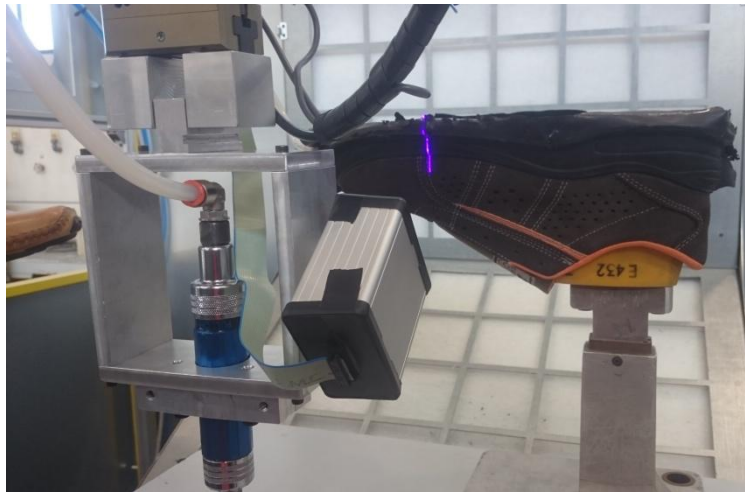


Figura 2: Operación de digitalización.

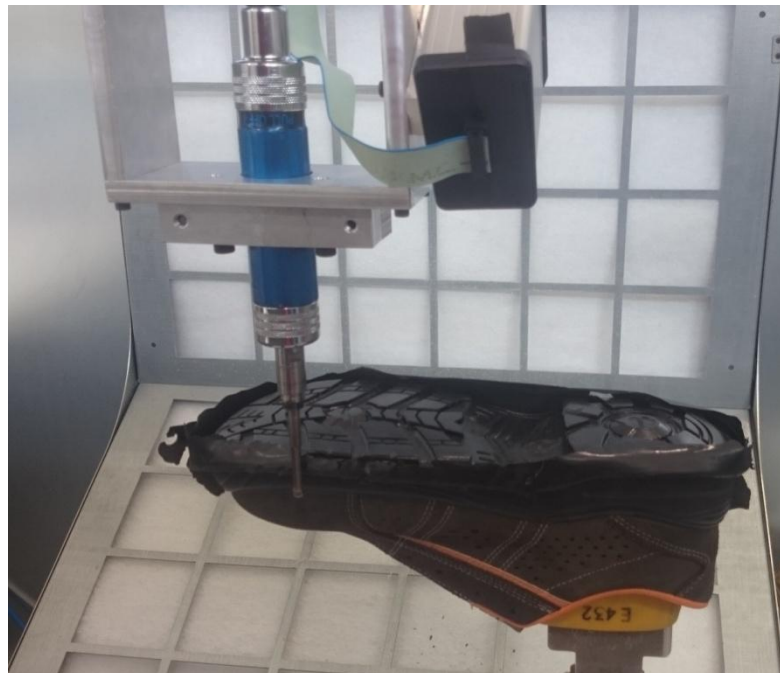


Figura 3: Operación de eliminación.

3.2 Planta piloto del sector del juguete.

La planta piloto desarrollada para el tratamiento de piezas del sector del juguete se ha desarrollado partiendo del robot disponible en las instalaciones de AIJU. Este es un robot industrial modelo Agilus R900 de KUKA, por lo que las herramientas desarrolladas para la manipulación y tratamiento de piezas de desbarbado en el sector del juguete están pensadas para su instalación en este robot.

En este robot se ha integrado el sensor de fuerza que está montado sobre la muñeca del robot y permite medir la fuerza y el par en tres grados de libertad según se muestra en la imagen de la Figura 4.

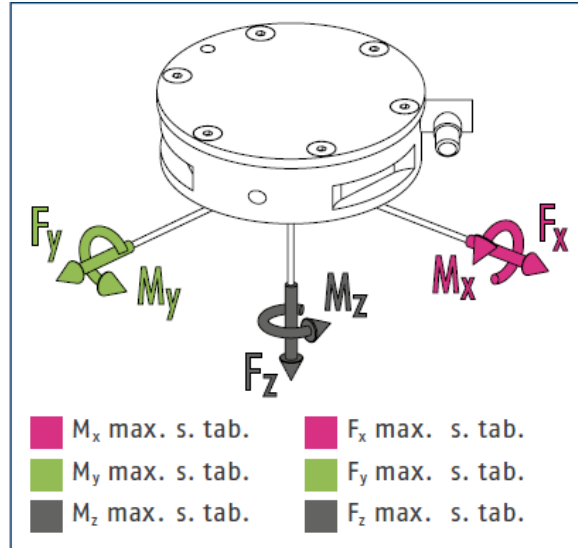


Figura 4: Vectores de medición de Fuerza y par.

Para la lectura del sensor se utiliza un controlador dedicado que convierte las mediciones suministradas por el sensor de fuerza y la pone a disposición del usuario utilizando las siguientes interfaces de comunicación:

- **Salidas Analógicas:** Convierte los valores medidos de forma proporcional a un valor de tensión en el rango de $[+10, -10]$ V.
- **Entradas/Salida digital:** Permite establecer rangos parametrizables e indicar que la fuerza se encuentra dentro o fuera de estos mediante el uso de salidas digitales codificadas.
- **Comunicación RS232:** se envían los datos de lectura a través de un bus de comunicaciones serie.

En la Figura 5 se observa la interfaz del controlador para lectura y adaptación de señales del sensor de fuerza.



Figura 5: Interfaz sensor de fuerza.

Para la comunicación del robot con el controlador del sensor, inicialmente se utilizó la interfaz de Entradas/Salidas digitales ya que el robot también dispone de este tipo de E/S para poder realizar la lectura y escritura de los mismos. En este caso se emplearon cuatro

salidas del robot para establecer los rangos de lectura y cuatro entradas para realizar la lectura de las mediciones suministradas por el sensor.

Tras realizar las primeras pruebas con esta implementación se observó que la actualización de valores en las salidas digitales era demasiado lenta y además no permite realizar el control en tiempo real del robot. Esto provocaba paros en la ejecución de trayectorias del robot, dando lugar a marcas no deseadas en las piezas a tratar, tal y como se observa en la Figura 6.



Figura 6: Defectos en pierna.

Para solventar este problema fue necesaria la implementación de un sistema que permita la lectura de las variables de fuerza en tiempo real y con el suficiente refresco para corregir la trayectoria del robot de forma eficiente.

El bus de comunicaciones RS232 se descartó debido a las limitaciones de velocidad de este tipo de bus y a que en el robot no se dispone de este tipo de comunicaciones. Por ello se decidió implementar un sistema de comunicaciones basado en Ethernet, a través de cual poder enviar los datos suministrados por las salidas analógicas.

El desarrollo del sistema está formado por tres módulos que realizan la lectura de la interfaz analógica del controlador del sensor de fuerza (Figura 7). En estos módulos se reescala estos datos a valores dentro del rango de $[+1, -1]$ V que posteriormente se digitalizan y envían al bus de comunicaciones en formato digital.



Figura 7: Módulos de entradas analógicas.

Para la integración del sistema de visión se ha integrado la cámara en un soporte que permite su colocación en distintos puntos de la planta piloto. Este soporte tiene integrado dos grados de libertad que permiten orientar la cámara de forma adecuada dentro del área de trabajo tal y como se observa en la Figura 8.



Figura 8: Integración cámara visión artificial.

El procesamiento de los datos recogidos por la cámara se realiza mediante un PC y posteriormente se envían al controlador del robot a través de la interfaz de comunicaciones desarrollada para la integración de sensores. Estos datos se envían con formato XML mediante el protocolo de comunicaciones Ethernet UDP.

En cuanto al sistema de visión HRC, se ha integrado en la planta creando un espacio de trabajo común hombre-robot, tal y como se aprecia en la Figura 9. Este sistema crea un pequeño espacio de trabajo en el que un operario de la planta puede realizar tareas en colaboración con el robot de forma segura.

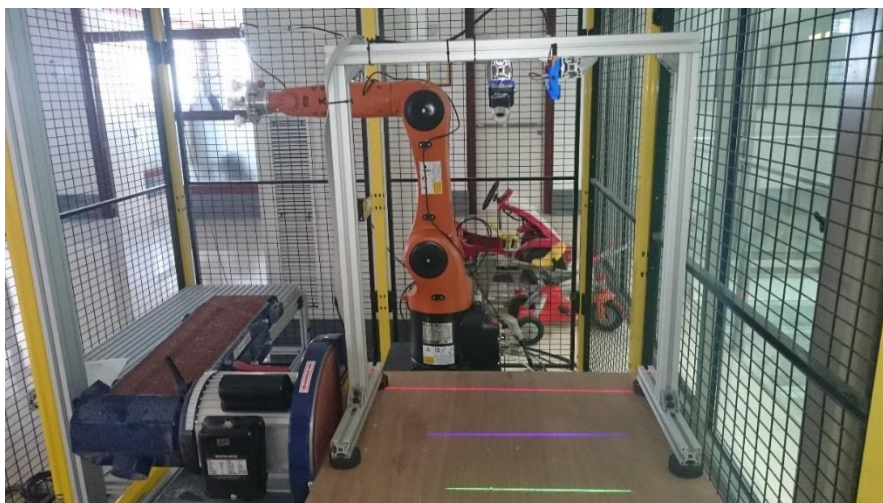


Figura 9: Sistema de visión HRC

El sistema de barreras fotoeléctricas desarrollado se ha implementado en la planta de forma que crea una zona de paso segura entre la zona de trabajo del operario y el robot (Figura 10). En función del modo de configuración este sistema permite introducir y extraer piezas en el área de trabajo del robot, el paso de operarios o manipulación de piezas dentro del área de trabajo de forma segura.



Figura 10: Sistema de barrera fotoeléctrica.

El sistema de barreras está desarrollado sobre un pórtico de barras de aluminio que facilita su integración en la planta piloto. La integración con el sistema de control, se realiza a través de las entradas digitales disponibles en el cuadro de control del robot.

En cuanto a la integración de las herramientas diseñadas en la planta piloto se puede efectuar de dos modos. La primera permite montar la herramienta sobre la muñeca del robot. Para ello se ha montado el soporte de herramientas en el robot tal y como se observa en la imagen de la Figura 11.

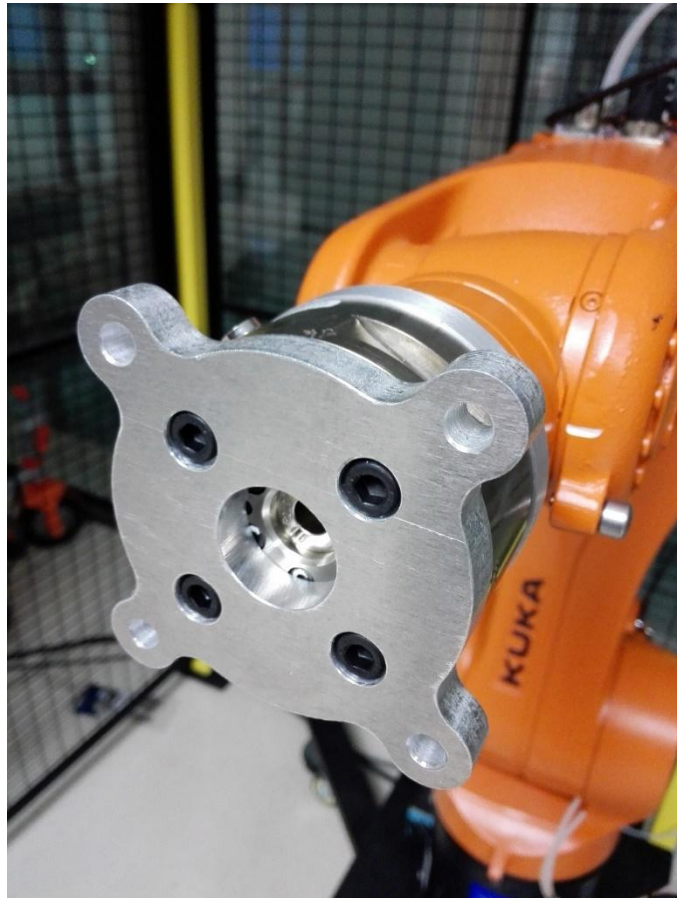


Figura 11: Soporte de herramientas para robot KUKA.

En este caso el robot manipula la herramienta directamente, por lo que si se monta una herramienta de desbarbado la pieza estaría fija en la mesa de trabajo (Figura 12).



Figura 12: Montaje de herramienta de trabajo.

Y en el caso de que se monte una herramienta para manipulación, por ejemplo las ventosas, el robot manipula la pieza y es la herramienta la que se fija al banco de trabajo (Figura 13).



Figura 13: Montaje de herramienta para manipulación de piezas

Como ya se ha comentado, también se ha integrado la mesa de trabajo que permite fijar herramientas de sujeción para piezas, tal como se observa en la Figura 14, o herramientas para realizar el tratamiento de superficies como se puede observar en la Figura 15.



Figura 14: Montaje de ventosas en banco de trabajo.

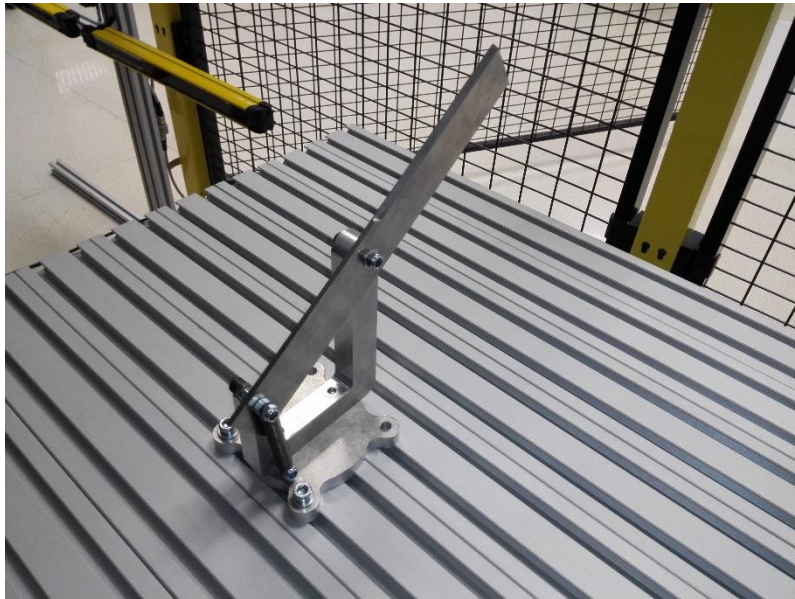


Figura 15: Montaje de herramienta de desbarbado en banco de trabajo.

En esta planta piloto también se ha realizado el montaje de una instalación de aire comprimido para el uso de la herramienta de desbarbado basada en rotolín y para el uso de las ventosas y pinzas neumáticas. Para realizar esta instalación se ha instalado un circuito neumático en la planta piloto ya que no se disponía de punto de conexión en esta zona. En la línea se ha instalado sistemas de protección para evitar averías en los sistemas neumáticos. Los sistemas de protección están compuestos de filtros para evitar que se introduzcan impurezas en a la instalación, lubricado para mantener en buen estado de funcionamiento el rotolín, llave de paso para el corte de suministro, y dos reguladores de presión para ajustar la presión de suministro en el rotolín, el sistema de ventosas y pinzas neumáticas. En la Figura 16 se observa el montaje de los sistemas descritos.



Figura 16: Instalación de sistema neumático.

El montaje final de la planta piloto del sector del juguete se puede observar en la imagen de la Figura 17

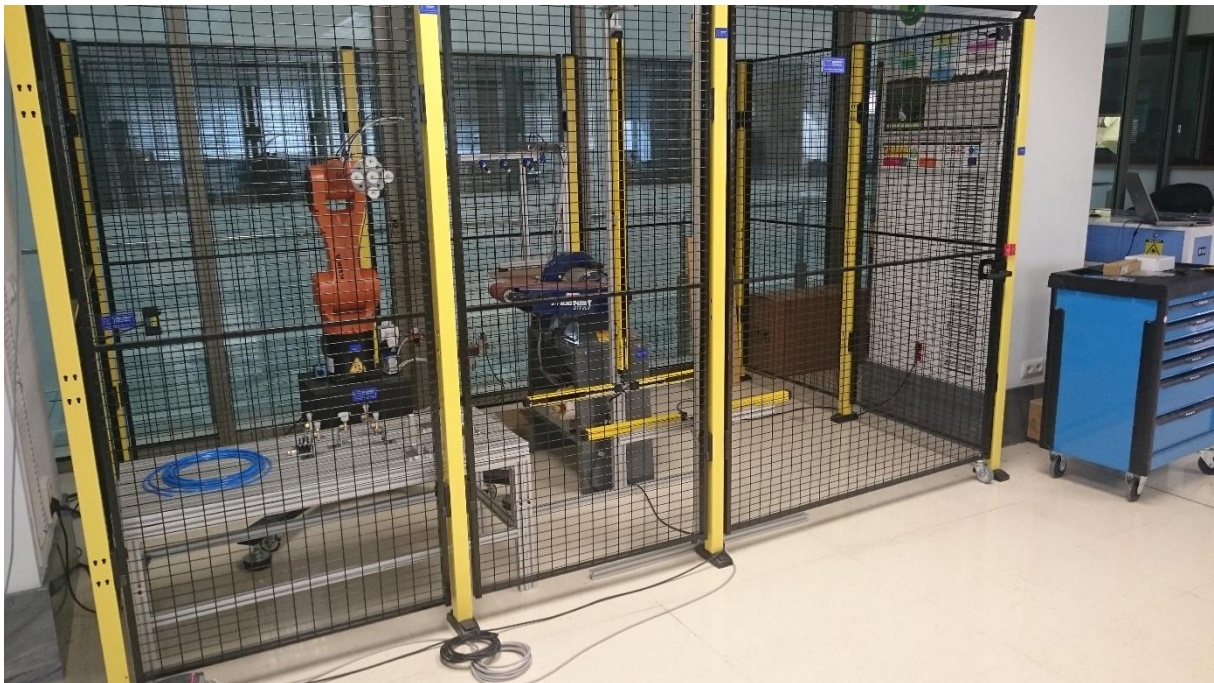


Figura 17: Planta piloto del sector del juguete.

4 T 5.2: Desarrollo Software de control. (INESCOP y AIJU)

Sobre el software desarrollado en INESCOP para robots de COMAU se ha añadido la parte de gestión del digitalizador específico para la operación generando el fichero XML con la información de la digitalización y la posición del robot.

Este software nos permite automatizar parte del proceso de la operación, permitiendo controlar individualmente las opciones básicas del robot como la carga de programas y la ejecución de rutinas que nos permiten actuar sobre los movimientos del robot, así como de los elementos de la tool, en este caso el digitalizador y la herramienta neumática de eliminación de rebabas.

Comunicación principal con el robot y el resto de elementos de la celda, además de mostrar información del estado del robot podemos controlar el robot de forma manual mediante movimientos de ejes individuales así como la velocidad de los mismos.

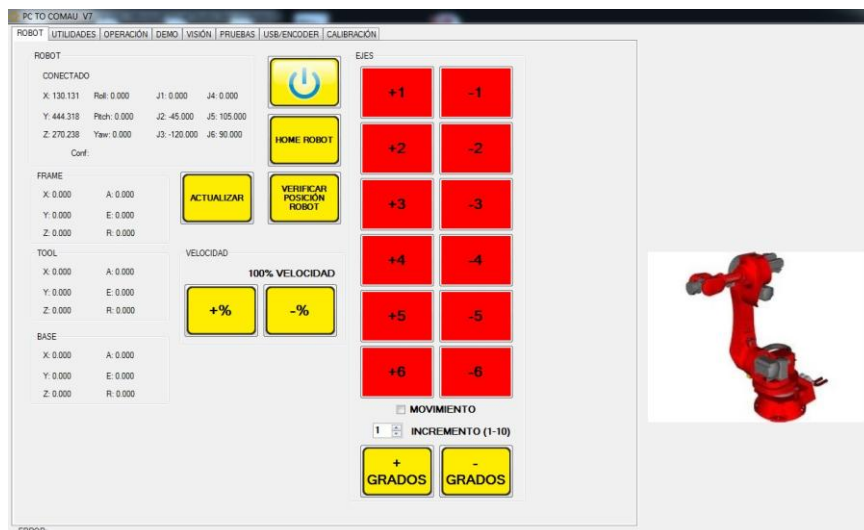


Figura 18: Control principal software de gestión.

Comunicación con el sistema de visión donde se controlan los diferentes parámetros de la cámara, láser y calibración del sistema.

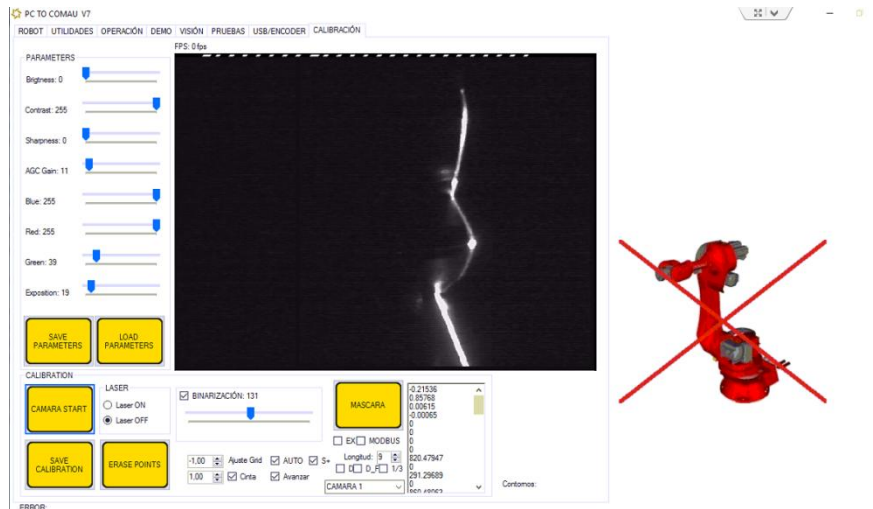


Figura 19: Control de calibración perfilómetro.

Sobre una trayectoria base realizamos la captura del digitalizar añadiendo la información de posición del robot, generando el fichero XML que se importará sobre el software de CAD de forma automática. A partir de aquí necesitamos que el usuario cree la curva sobre la superficie generada obteniendo el fichero de la trayectoria que se ejecuta de forma automática en el robot.

En la planta piloto del sector del juguete el control se centraliza en la cabina de control del robot ya que ésta integra un sistema de control basado en PC y con capacidades de funcionamiento en tiempo real, mediante un procesador que está controlado por un sistema operativo de tiempo real VxWorks. Como ya se ha comentado los sensores están integrados con la cabina de control del robot a través de los distintos módulos de comunicaciones integrados en el control y que son los siguientes:

- **Bus de campo de entradas/salidas digitales y analógicos:** este es un bus de tipo ETHERCAT que permite la conexión de sensores y actuadores analógicos y digitales. Los datos suministrados por los sensores pueden leerse a través de los módulos conectados al bus y enviarse al controlador mediante tramas de tipo Ethernet en tiempo real. Los actuadores también pueden controlarse desde este bus a través de los módulos de salida.
- **Interfaz de comunicación Ethernet:** esta interfaz está integrada en la cabina de control y permite conectar dispositivos externos que integren comunicaciones Ethernet. A través de este bus se realiza la conexión con los sistemas de visión para la implementación del entorno colaborativo. Las comunicaciones a través de este bus se realizan bajo el protocolo de comunicaciones Ethernet UDP mediante envío de datos en formato XML.

Los datos recibidos y enviados a través de los buses son gestionados por el software de control implementado. Dicho software está desarrollado utilizando el entorno de programación WorkVisual y librerías de control orientadas a objetos que permiten realizar corrección de trayectorias en tiempo real en función de los datos de sensor recibidos. Este entorno, además permite realizar la configuración y mapeado de las entradas analógicas y digitales que se gestionan desde el bus de campo, tal y como se observa en la Figura 20.

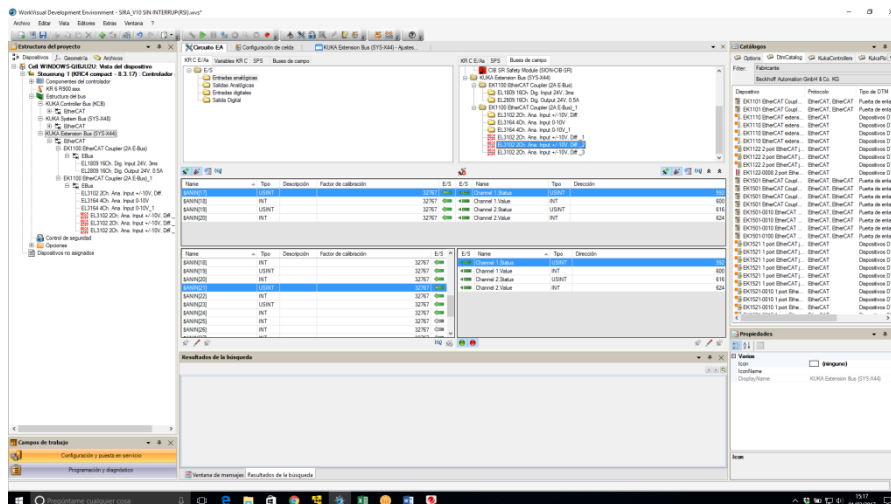


Figura 20: Configuración de E/S.

La configuración del bus Ethernet se realiza desde el propio controlador accediendo desde el sistema operativo a las opciones de configuración de la interfaz integrada en el controlador. En este caso se configuran las opciones del protocolo implementado (Ethernet UDP) y la dirección de red del controlador. Se ha configurado una red para la conexión del sistema de visión y el sistema HRC con la dirección IP: 192.168.1.2. y máscara de red 255.255.255.0.

Tras establecer la configuración de comunicaciones con los sensores se ha desarrollado el software de control. Este se ha estructurado en distintas funciones que permiten controlar cada una de las tareas ejecutadas por el robot. A continuación, se enumeran las funciones más relevantes:

- **Digitalización de piezas:** esta función permite sincronizar las lecturas del sensor de triangulación laser con la posición del robot y crear la nube de puntos que se utiliza para el tratamiento de piezas.
- **Desbarbado de piezas:** desde esta función se realizan los cálculos y ejecución de trayectorias necesarias para realizar el tratamiento de desbarbado de la pieza. Esta función además se encarga de activar el control de fuerza para realizar las correcciones de trayectorias durante el proceso de desbarbado.
- **Control de velocidad:** se encarga de gestionar la velocidad del robot en función de los datos recibidos de los sistemas de visión para crear el entorno colaborativo.
- **Manejo de tools:** se han implementado varias funciones para el manejo de las distintas herramientas (garra neumática, ventosas, lijadora, rotolin, etc.).
- **Control de fuerza:** realiza el cálculo de corrección de trayectorias en tiempo real a partir de los datos recibidos del sensor de fuerza.

La gestión de las distintas funciones se realiza desde el programa principal, mediante llamadas a las mismas.

Se ha desarrollado un algoritmo que permite que el software desarrollado en INESCOP (BasicCAM) pueda importar XML con la información del digitalizador y la posición del robot.

Una vez importado el fichero se genera la geometría y se crea la trayectoria de forma manual sobre la superficie generándose la trayectoria para el robot que después se ejecuta sobre la herramienta de eliminación de rebaba integrada en la tool.

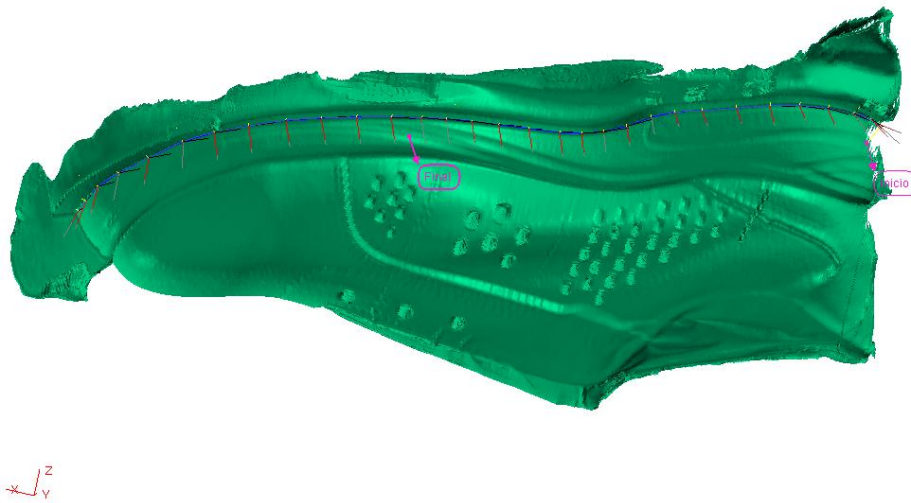


Figura 21: Digitalización y trayectoria de operación.

Además, se han realizado modificaciones específicas para la importación de geometrías del sector del juguete, cuyas dimensiones son mucho más grandes que en el sector calzado, así como un post-procesador específico para robots de la marca KUKA para poder obtener trayectorias para la operación de eliminación de rebabas del sector juguete.

5 T 5.3: Validación de resultados. (INESCOP y AIJU)

Tras la Incorporación de prototipos de herramientas y sensores en las plantas piloto, se procedió a la validación de los mismos para los procesos de desbarbado de ambos sectores, estableciendo un protocolo de control de calidad de productos resultantes.

En el sector del calzado se ha realizado la verificación de cada una de las sub-tareas para la realización de la operación de la eliminación de la rebaba de la bota de goma.

La operación se resume en tres fases que son las siguientes:

- Digitalización de la geometría.
- Generación de geometría y curva de la trayectoria.
- Ejecución de la trayectoria con el robot con la herramienta de eliminación de rebaba sobre la bota de goma.

Para cada una de estas fases se ha realizado la verificación de que cada sub-tarea cumple su función dentro de los rangos de trabajo de +-1 milímetro.

En el caso de la digitalización se ha realizado una digitalización de una geometría conocida y se ha comparado la digitalización realizada con otro digitalizador de más precisión, obteniendo un resultado correcto dentro del rango de trabajo.

Para la verificación de la generación de la geometría y la curva de la trayectoria se ha obtenido la trayectoria de la operación y se ha ejecutado con el robot y una tool de precisión comprobando que el robot sigue la trayectoria correcta sobre la bota de goma.

Por último, se ha ejecutado esa misma trayectoria sobre la tool de eliminación de rebaba de la bota de goma, donde hemos tenido problemas con la herramienta y el material de goma.

Por lo tanto, habrá que realizar mejoras con respecto a la tool de eliminación de rebabas.

En el sector del juguete se procedió a la validación en distintas piezas, realizando pruebas sobre la pierna de maniquí partiendo de los resultados obtenidos en trabajos anteriores en los que no se había logrado un resultado del todo satisfactorio. También se realizaron pruebas en piezas de mobiliario de hospital. En este caso se seleccionaron los laterales de una cama.

Con respecto a la pierna del maniquí, se partía de un punto en el que se habían conseguido generar trayectorias de desbarbado para realizar el tratamiento superficial sobre una lijadora de banda industrial. Tras el tratamiento realizado en la pierna los resultados no eran óptimos debido a que se generaban marcas en la zona del tratamiento (ver Figura 22) debido a que el sensor de fuerza no estaba integrado en tiempo real.



Figura 22: Pierna maniquí con defectos.

Tras realizar las adaptaciones necesarias para implementar el sensor de fuerza en tiempo real y adaptar el sistema para el uso de la herramienta basada en rotolín (ver Figura 23), se realizaron distintas pruebas, cambiando las fresas utilizadas para el tratamiento y ajustes de velocidad para optimizar el proceso.

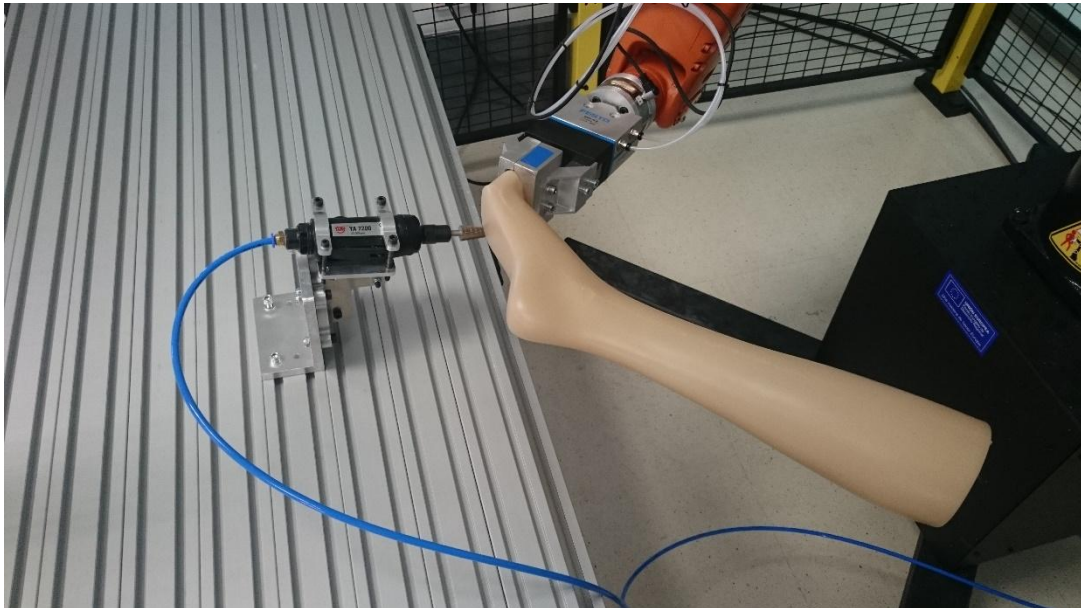


Figura 23: Desbarbado de pierna con rotolín.

Finalmente se consiguió obtener buenos resultados en el desbarbado de esta pieza tal y como se observa en la Figura 24.



Figura 24: Resultados en pierna de maniquí.

Los resultados obtenidos en la pierna se han dado por buenos, por lo que el proceso de desbarbado en este tipo de piezas podría llevarse al sector industrial con las adaptaciones necesarias para implementar un sistema a escala industrial.

En cuanto a los laterales para camas de hospital, se realizaron varias pruebas en las que se trató de eliminar mediante corte el sobrante de material tras la salida de la máquina de

soplado. Para realizar el proceso se utilizaron las herramientas basadas en cuchilla montadas sobre el robot, y las ventosas para sujetar la pieza al banco de trabajo tal y como se observa en la Figura 25.



Figura 25: Corte de rebabas de gran tamaño con cuchilla.

En este caso los resultados no fueron los deseados debido a que las cuchillas diseñadas no están lo suficientemente afiladas para realizar el corte de forma correcta. Además, la sujeción en el banco de trabajo no es lo suficientemente estable para fijar la pieza con firmeza. En este caso se debe seguir trabajando en el rediseño de las cuchillas y en obtener un banco de trabajo más robusto que permita al robot ejercer más fuerza sobre la pieza sin que ésta se mueva.

Finalmente se realizaron pruebas sobre la misma pieza para la eliminación de pequeñas rebabas que permanecen en la pieza tras el recorte del sobrante de material. En este caso se preparó la planta piloto para poder anclar la pieza al banco de trabajo con las ventosas. La herramienta utilizada en este caso fue el rotolín que se acoplo a la muñeca de robot. En la Figura 26 se puede observar el montaje.



Figura 26: Montaje de sistema para desbarbado de piezas laterales de cama.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, tal y como se preveía tras el uso del rotolín con la pierna de maniquí. En la Figura 27 se puede observar la diferencia entre la pieza antes de realizar el proceso de desbarbado (foto de la izquierda) y después del proceso (foto de la derecha).

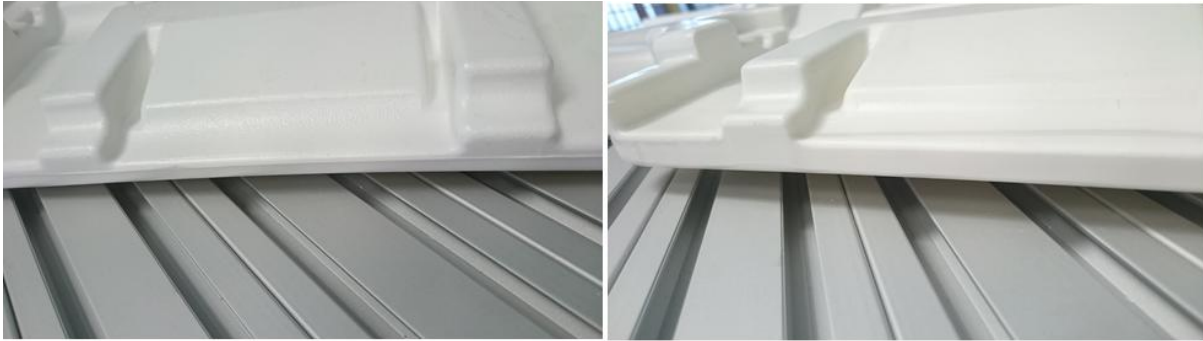


Figura 27: Resultados de desbarbado con rotolín en lateral de cama.

Las conclusiones extraídas de las pruebas de validación de la planta piloto montada en el sector del juguete han sido satisfactorias, aunque el sistema necesita mejoras para la realización de corte de material sobrante de grandes dimensiones. En cuanto a la eliminación de rebabas de pequeño tamaño, se han obtenido buenos resultados con la herramienta basada en rotolín por lo que sería viable implementar aplicaciones para realizar estos procesos.