

**ROBINT**

**ROBOTIZACIÓN INTELIGENTE**

**ENTREGABLE E4.1**

**“Prototipos de digitalizadores adaptativos y  
herramientas sensorizadas”**

**CENTROS DE INVESTIGACIÓN:**



# 1 Contenido

<b>1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>3</b>
1.1	T4.1: Desarrollo de sistema de digitalización compacto. (INESCOP y AIJU) .....	3
1.2	T4.2: Desarrollo de herramienta sensorizada adaptada al sector calzado. (INESCOP) .....	7
1.3	T4.3: Desarrollo de herramienta sensorizada adaptada al sector del juguete. (AIJU).....	10

# 1 Introducción

Este documento resume el desarrollo de las herramientas hardware y software necesarias para la captura de geometrías en tiempo real y las herramientas hardware que se adapten en tiempo real y que permitan realizar las operaciones de ambos sectores. Estas herramientas se han adaptado a cada uno de los sectores teniendo en cuenta las geometrías y materiales a tratar en cada caso.

## 1.1 T4.1: Desarrollo de sistema de digitalización compacto. (INESCOP y AIJU)

Para la implementación de la celda de eliminación de rebabas en botas de goma, se ha desarrollado un digitalizador compacto para la captura del lateral de la bota, compuesto de un láser y una cámara en blanco y negro, este digitalizador va anclado al robot para poder asociar la posición del robot con respecto al zapato que digitalizamos.



Figura 1: Digitalizador compacto.

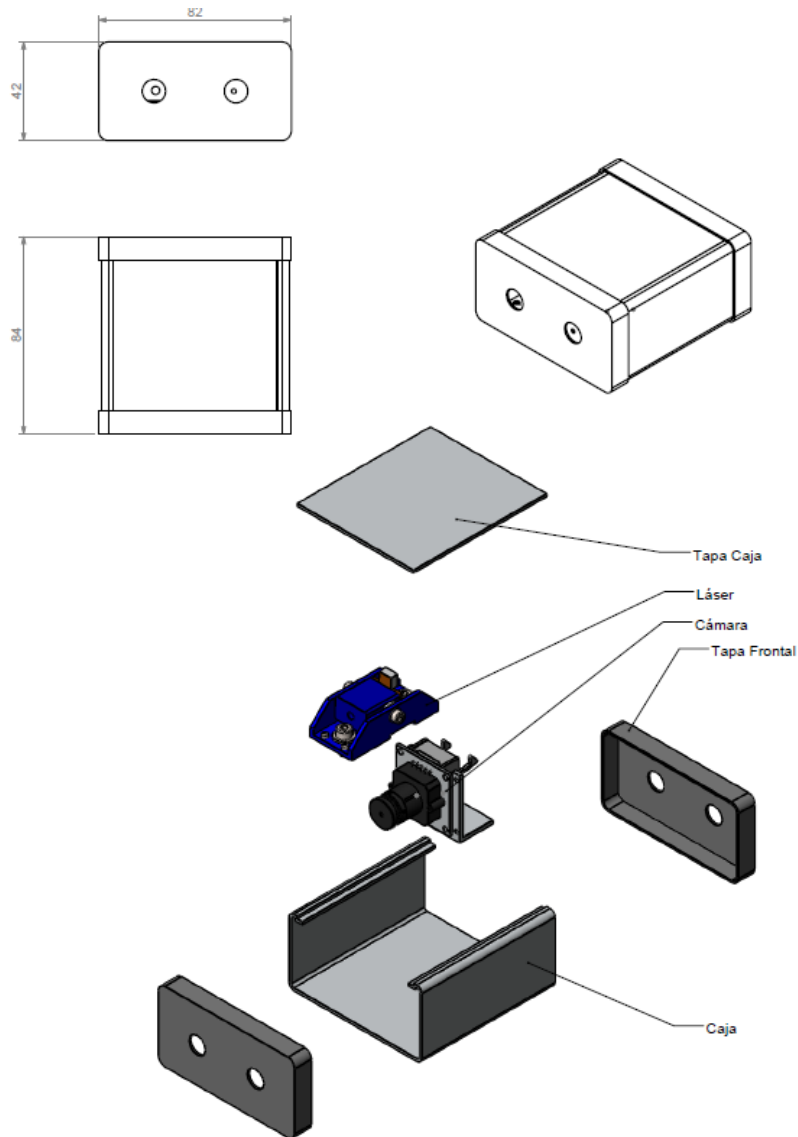


Figura 2: Diseño digitalizador.



**Figura 3: Cilindros diferentes diámetros.**

El digitalizador compacto o perfilómetro captura la incidencia de un láser de 20mW y longitud de onda de 405nm sobre la bota, mediante una cámara de desarrollo propio controlada a bajo nivel. Para el láser se ha trabajado sobre un láser azul puntual, que mediante la incorporación de un cilindro de refracción convertimos en lineal. Para obtener una potencia de láser incidente en la bota suficiente, se han probado cilindros de diferente diámetro, a fin de conseguir una relación óptima entre apertura y potencia.

Para la cámara se han probado lentes de diferentes distancias focales, con el objetivo de obtener la mayor resolución posible del área digitalizada. Las lentes de diferentes distancias focales probadas han sido de 5.2mm, 6mm, 7.5mm, 8mm y 8.85mm.

La lente de 7.5mm es la que presenta mejores resultados, para una digitalización a un promedio de 15 cm del objeto digitalizado.



**Figura 4: Cámara y láser en el interior del perfilómetro.**

Para el proceso de digitalización se hace uso además de dos PCBs de desarrollo propio, una de ellas para la captura y alimentación de la cámara y láser; y otra para las comunicaciones, el tratamiento del video recibido y el envío a la capturadora.

Todo este hardware junto con un hub usb y las fuentes de alimentación necesarias, se instala en una caja de protección sobre el eje 3 del robot.

En el caso del tratamiento de rebabas en piezas procedentes de soplado se ha desarrollado un sistema de digitalización basado en un sensor de triangulación laser

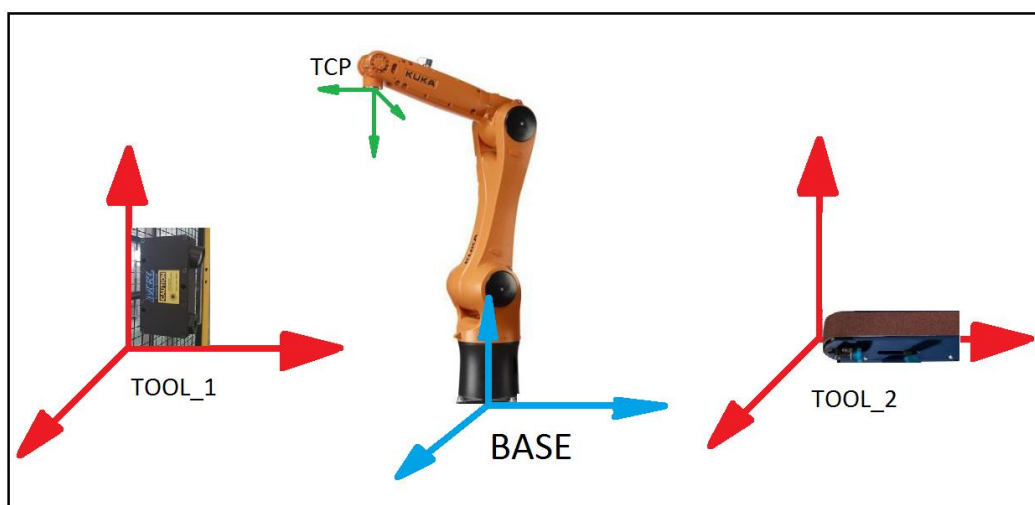
(Figura 5). Este sensor permite tomar medidas sobre la pieza con una resolución de 60  $\mu\text{m}$  que se digitalizan y envían al robot para su procesamiento mediante un módulo de entradas analógicas.



**Figura 5: Sensor de triangulación láser.**

Para sincronizar el sistema de digitalización con el robot se han definido de forma estratégica varios sistemas de coordenadas cartesianas dentro del entorno de trabajo (Figura 6). Los sistemas de coordenadas definidos son:

- **BASE:** sistema de coordenadas definido en la base del robot. Permite referenciar la posición de las distintas herramientas dentro del área de trabajo (TOOL\_x) con respecto a la situación del robot.
- **TCP:** este sistema de coordenadas está asociada al extremo del robot y se utiliza para generar la nube de puntos de digitalización de la pieza movida por el robot.
- **TOOL\_1:** está asociado al sensor de triangulación láser y se utiliza para tomar las referencias de medidas con respecto al sistema de coordenadas TCP.
- **TOOL\_2:** está asociado a la zona de desbarbado y permite ejecutar las trayectorias definidas por la nube de puntos, previamente calculado sobre el TCP, en el sistema de coordenadas de la herramienta de desbarbado (TOOL\_2) mediante cálculos de transformación del sistema de coordenadas TOOL\_1 a TOOL\_2.



**Figura 6: Sistema de coordenadas en área de trabajo.**

El origen del sistema de coordenadas TOOL\_1 se define en un punto asociado al sensor de triangulación láser. Esto permite asociar cada una de las medidas tomadas sobre una pieza, movida por el robot, al sistema de coordenadas del TCP y generar una nube de puntos que posteriormente se trasladan al sistema de coordenadas TOOL\_2 donde se realiza el proceso de desbarbado.

Para la implementación de este sistema se debe realizar el cálculo de los sistemas de coordenadas utilizados en el proceso y posteriormente realizar la implementación del software necesario para manipular el robot. También se debe gestionar desde el controlador la lectura del sensor y asociar ésta a la posición del robot durante la generación de la nube de puntos que posteriormente se utilizarán para el cálculo de trayectorias en la zona de desbarbado.

También se ha añadido un sensor de fuerza en la muñeca del robot (Figura 7) que permite controlar la fuerza que ejerce la herramienta de desbarbado sobre la pieza durante las trayectorias de desbarbado. Este sensor, además de permitir controlar la fuerza, permite reajustar desviaciones en la ejecución de trayectorias de desbarbado debidos a errores de precisión en los cálculos producidos por redondeos en los resultados y a desviaciones que se puedan producir en la situación de las piezas y herramientas entorno a los sistemas cartesianos definidos.

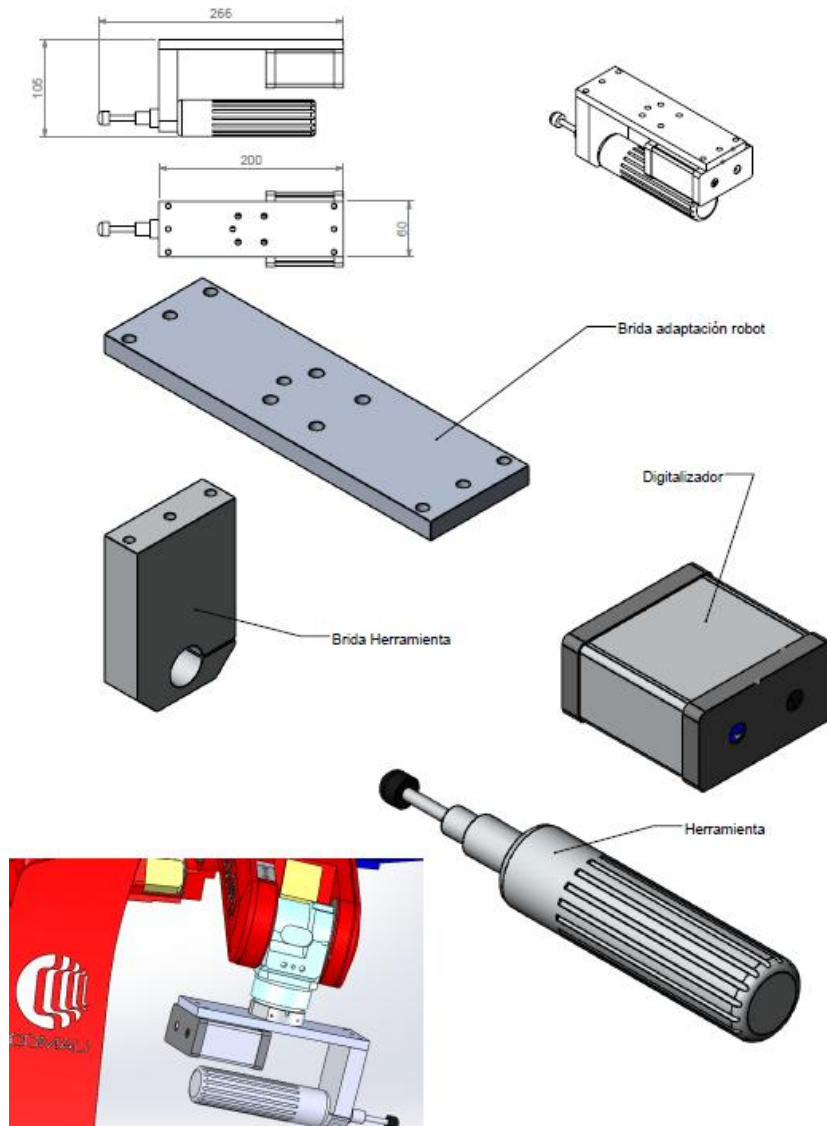


**Figura 7: Sensor de fuerza.**

## **1.2 T4.2: Desarrollo de herramienta sensorizada adaptada al sector calzado. (INESCOP)**

Se han desarrollado varios prototipos para la herramienta que permite realizar la operación de eliminación de rebabas en la operación de calzado. Sobre este prototipo

se realizaron diversas pruebas llegando a la conclusión de que era necesario realizar una serie de modificaciones sobre la misma.



**Figura 8: Diseño de herramienta para operación de calzado.**

Se ha desarrollado otra versión de la herramienta sensorizada, para evitar colisiones y singularidades en el sistema robótico.

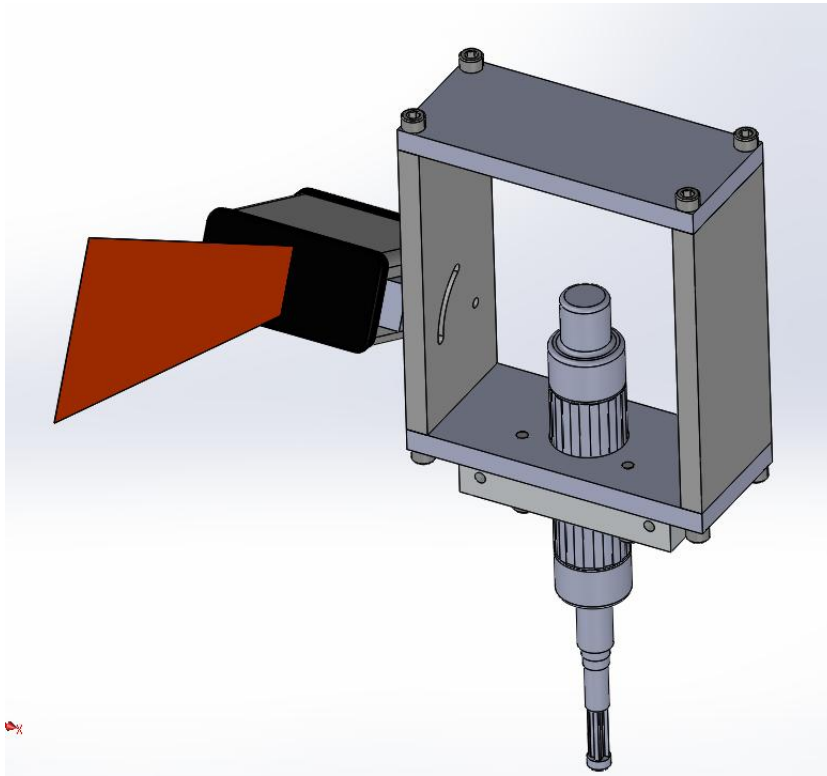


Figura 9: Prototipo final de herramienta para operación de calzado.

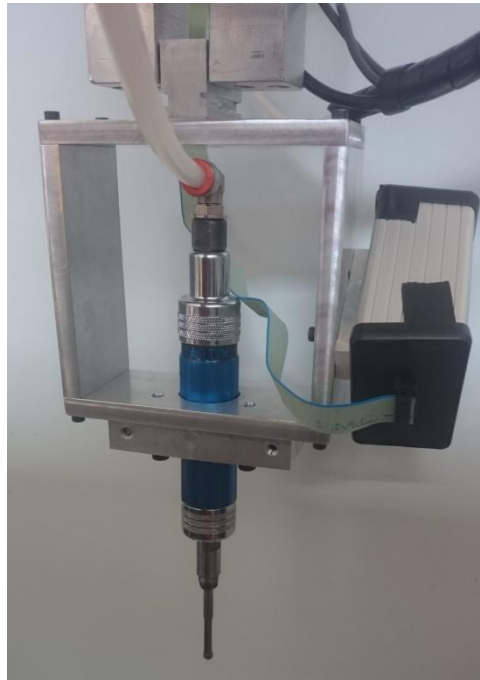


Figura 10: Herramienta para operación de calzado.

### 1.3 T4.3: Desarrollo de herramienta sensorizada adaptada al sector del juguete. (AIJU)

En este paquete de trabajo se han diseñado y desarrollado un conjunto de herramientas específicas que permitan al robot manipular las piezas a tratar y ejecutar los procesos seleccionados. Para el diseño de cada una de las herramientas es imprescindible conocer previamente las limitaciones del robot.

El robot empleado es el KUKA KR 6 R900 sixx. De entre sus especificaciones, hay que hacer especial hincapié en la máxima carga y en la distancia existente entre el extremo del brazo y el centro de gravedad de la herramienta.

La máxima carga que puede desplazar el robot es de 6 kg. En estos 6 kg no solamente se incluyen las herramientas colocadas en el extremo del brazo del robot, sino también el resto de dispositivos sujetos a lo largo del brazo.

Las herramientas deberán ser lo más ligeras posible para maximizar la fuerza restante de la que dispone el robot para ejecutar los movimientos sobre las piezas a tratar.

Los 6 kg pueden ser desplazados siempre que la distancia del extremo del brazo hasta el centro de gravedad de la herramienta ( $L_z$ ) sea igual o inferior a 80mm. Por tanto, las herramientas deben ser lo más compactas posibles para reducir en la medida de lo posible la distancia  $L_z$ .

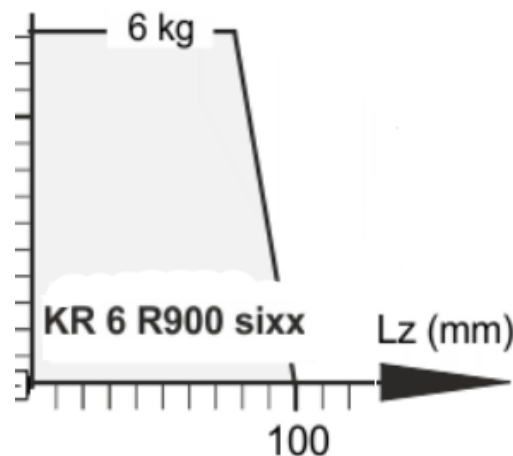
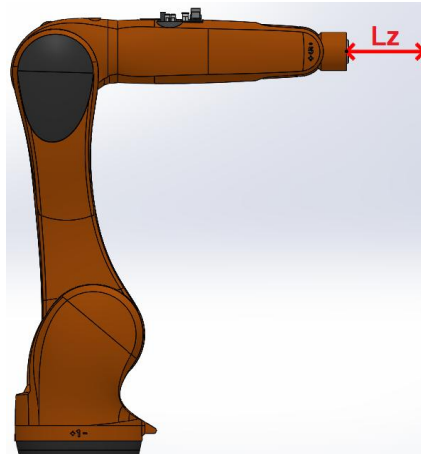


Figura 11. Relación entre el centro de gravedad y la distancia del mismo respecto del extremo del brazo robot.

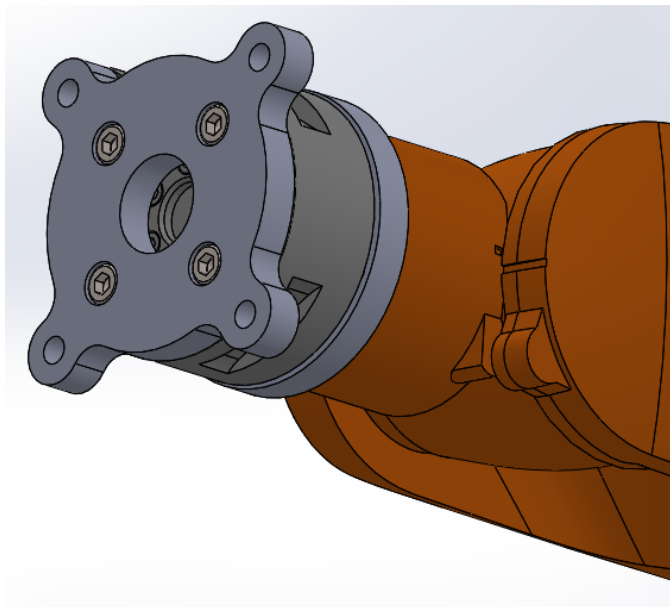


**Figura 12. Representación de la distancia Lz en el brazo robot.**

El cambio de herramienta se realizará manualmente. El motivo de realizar el cambio manualmente reside en que los intercambiadores de herramientas automáticos elevan la masa del conjunto herramienta-intercambiador por encima de los 4 kg. Además de elevar la masa, el propio intercambiador ya excede por sí mismo el valor máximo de distancia Lz.

Para el intercambio de herramientas, el extremo del robot contará con una pieza unida firmemente al sensor de fuerza. A esta pieza se unirán las diversas herramientas simplemente mediante cuatro tornillos y cuatro tuercas autoblocantes de M6.

Por tanto, las herramientas tendrán en común los cuatro orificios mediante los cuales se unirán al brazo robot.



**Figura 13. Brazo robot con el adaptador unido al sensor de fuerza.**

En base a los requisitos anteriormente descritos, se han desarrollado 4 herramientas para realizar operaciones específicas del sector juguete. La función de estas herramientas es eliminar la rebaba existente en la zona de cierre de los moldes; ya sea en máquinas de inyección o soplado.

Por otra parte, se ha desarrollado una bancada donde también se podrán situar las propias herramientas del robot y las piezas a desbarbar. De este modo, se consigue un sistema con multitud de opciones de configuración, para poder adaptarse a cualquier tipo de pieza, en función de su tamaño, masa, o sistema requerido para la eliminación de rebaba.

A continuación, se detallan cada uno de los sistemas desarrollados para la eliminación de rebaba, así como el sistema mecánico de sujeción de herramientas (mesa).

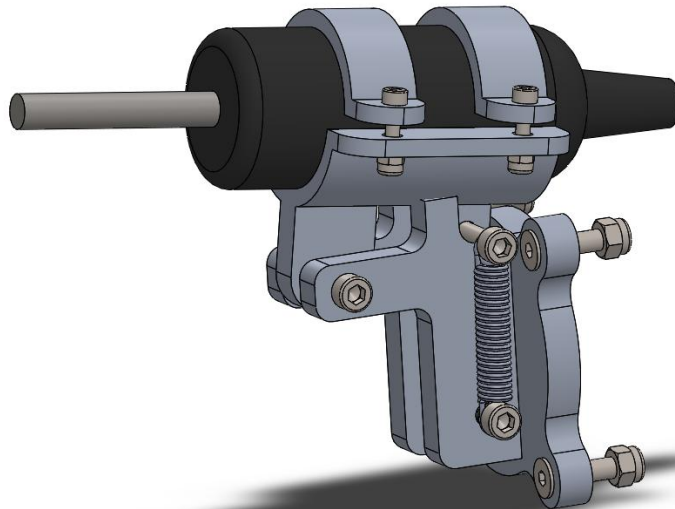
### **Sistema mecánico de desbarbado mediante amoladora neumática.**

Este sistema tiene como objetivo la eliminación de rebaba mediante el uso de una amoladora neumática de pequeño tamaño. La amoladora permite el uso de diversas fresas, que se seleccionarán en función del material a eliminar y del tamaño de la rebaba. El conjunto está compuesto por la propia amoladora y diversas piezas. Todas las piezas son de aluminio con el objetivo de facilitar el mecanizado y sobre todo reducir la masa del sistema.

Con el objetivo de permitir pequeñas desviaciones en la trayectoria seguida por el robot y asegurar que se ejerce siempre la misma fuerza sobre la rebaba, este sistema cuenta con un soporte articulado tensado con un muelle. Mediante el uso de diferentes muelles se puede ajustar la presión que ejercerá la amoladora sobre la rebaba a eliminar y evita cambios bruscos en la presión ejercida por el robot sobre las piezas a desbarbar, por lo que se reduce el ajuste que debe realizar el robot en función de la lectura del sensor de fuerza. Esto se traduce en un sistema más controlable, y por lo tanto se mejoran los resultados obtenidos.

La selección de la fuerza del muelle depende de diversos valores como la altura, anchura y dureza de la rebaba. Por este motivo, el sistema se ha diseñado para realizar fácilmente el cambio de muelle, ya que se dispone de muelles con diversas durezas.

Para sujetar la amoladora, el sistema cuenta con dos piezas que se podrán apretar a la amoladora mediante tornillos situados en sus extremos. Para fijar la herramienta tanto al robot como a la mesa, esta cuenta con cuatro orificios que coinciden con el adaptador fijado previamente al robot.



**Figura 14. Sistema mecánico de desbarbado mediante amoladora neumática.**

Como se ha mencionado anteriormente, cada una de las herramientas debe cumplir dos requisitos básicos. Que el centro de gravedad de la herramienta no supere los 80 mm respecto del extremo del brazo y una masa lo más contenida posible. Y la masa de este sistema es de tan solo 1'3 kg con la amoladora incluida, valor muy inferior al valor máximo de 6 kg establecido por el fabricante.

Por otra parte, el centro de gravedad también se encuentra por debajo del límite establecido por el fabricante de 80 mm. Concretamente se encuentra a tan sólo 66'6 mm.

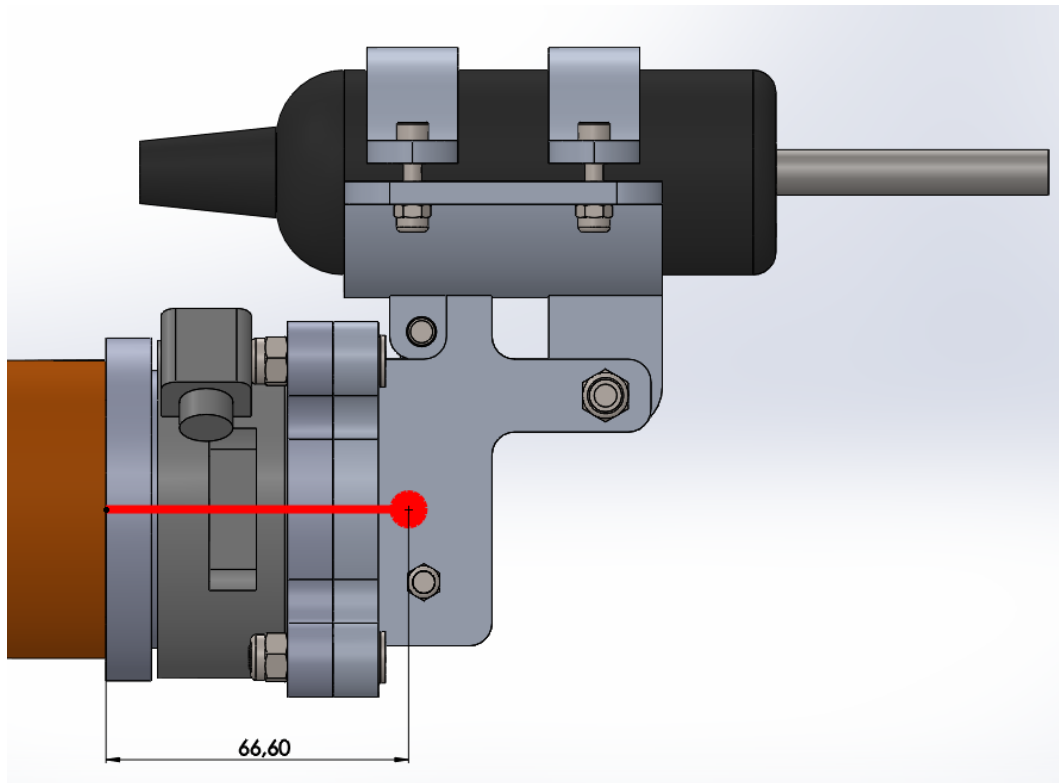


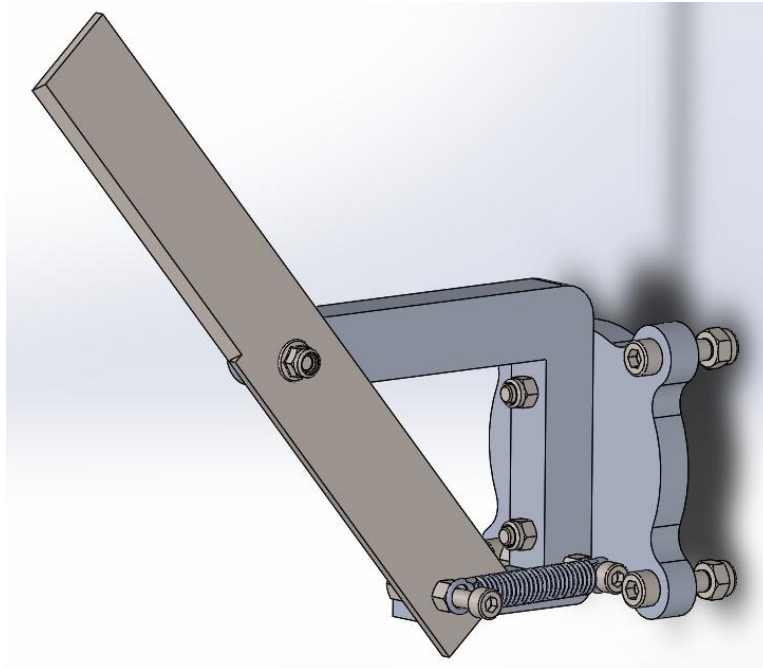
Figura 15. Centro de gravedad del sistema de desbarbado mediante amoladora.

### Sistema mecánico de desbarbado mediante el uso de cuchillas.

Este sistema tiene como objetivo la eliminación de rebaba mediante el uso de cuchillas de acero templado. El uso de cuchillas se centra básicamente en la retirada de rebabas de pequeño tamaño y sección, al contrario que el sistema de desbarbado mediante amoladora, con el que se pueden eliminar rebabas de mayor tamaño.

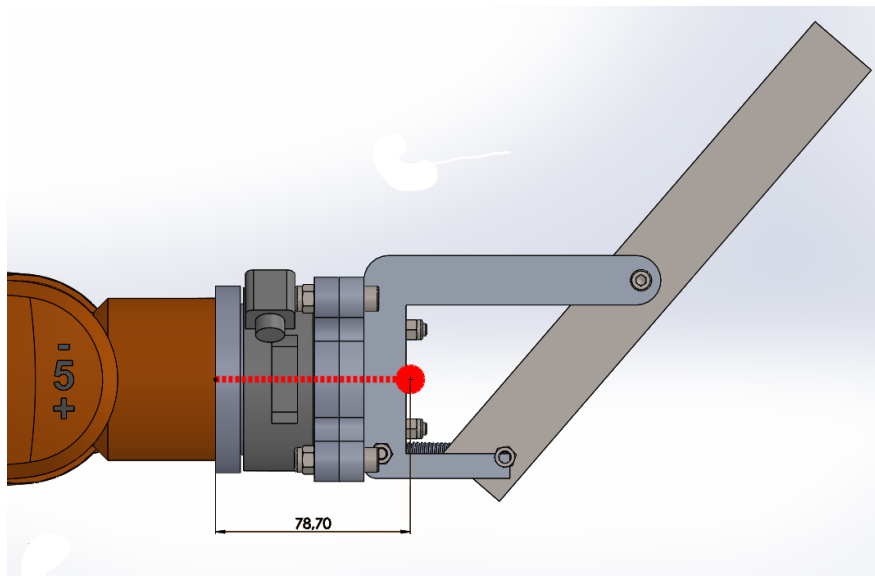
Se han desarrollado dos sistemas de desbarbado mediante cuchillas. Uno de ellos funciona mediante el desplazamiento de la cuchilla perpendicular a la superficie de la pieza y el otro mediante el desplazamiento de la cuchilla con un ángulo de  $30^\circ$  respecto a la superficie de la pieza.

Al igual que en el sistema de desbarbado mediante amoladora, en las dos herramientas las cuchillas están articuladas y permiten regular la fuerza ejercida mediante el empleo de un muelle, para compensar pequeñas desviaciones en la trayectoria seguida por el robot y asegurar que se ejerce siempre la misma fuerza sobre la rebaba.



**Figura 16. Sistema de desbarbado mediante cuchilla que trabaja a 30° respecto de la pieza.**

Este sistema cumple con los requisitos de masa y centro de gravedad, ya que tiene una masa de tan solo 629 gramos y su centro de gravedad se encuentra a 78,7 mm del extremo del brazo robot.

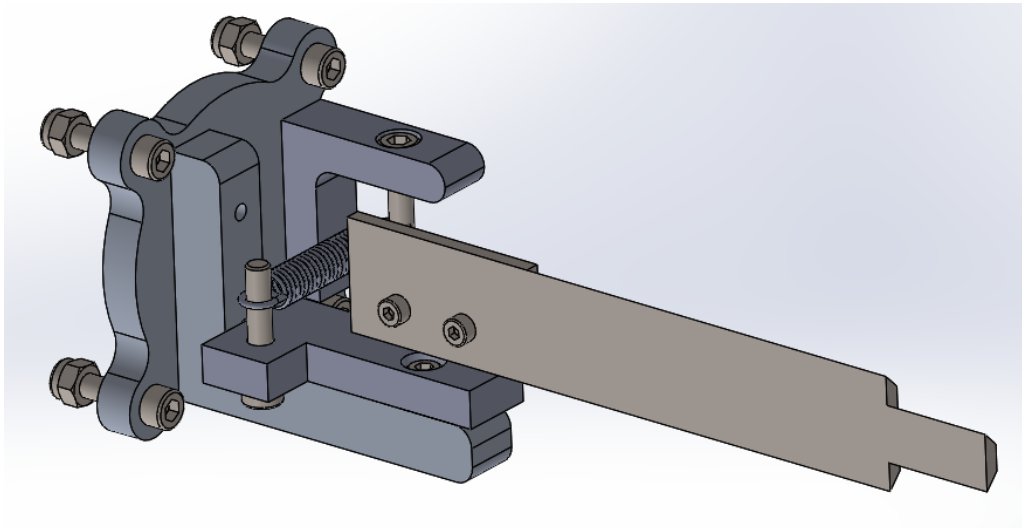


**Figura 17. Centro de gravedad del sistema de desbarbado mediante cuchilla.**

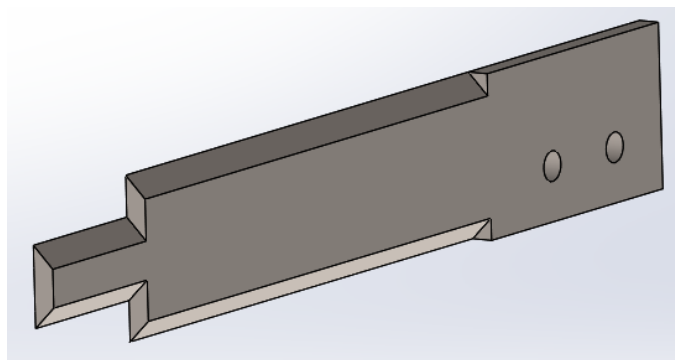
El segundo sistema de desbarbado mediante cuchilla, el cual debe desplazarse perpendicular a la superficie de la pieza para retirar la rebaba, también dispone de un muelle intercambiable para limitar la fuerza ejercida sobre la pieza y que esta sea lo

más constante posible. Al contrario que el sistema anterior, la cuchilla no está directamente articulada, sino que esta se encuentra fijada a un soporte rotatorio.

Además, la cuchilla está afilada en todas sus aristas y posee una zona más estrecha en el extremo. De este modo, este sistema podrá ser empleado en piezas con geometrías más complejas, puesto que la cantidad y tamaño de los filos permiten situar la herramienta en posiciones más complejas y espacios más pequeños.

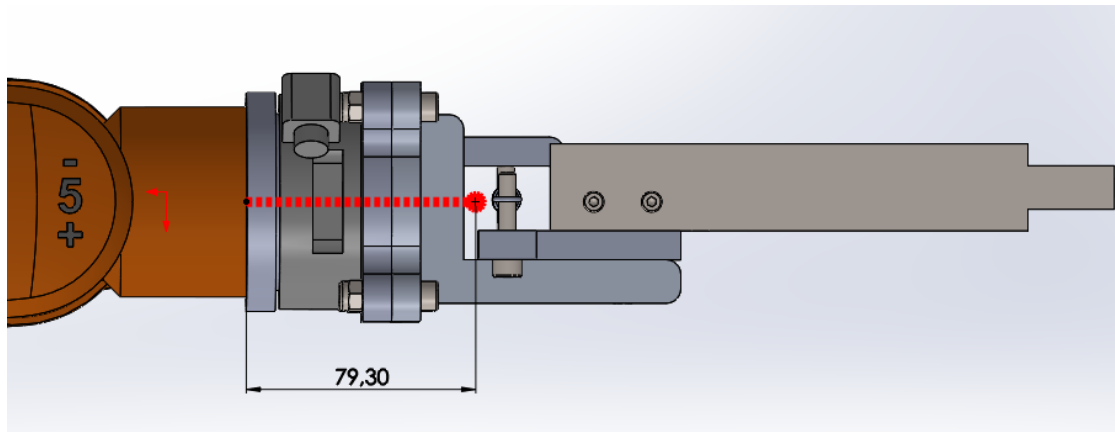


**Figura 18. Sistema de desbarbado mediante cuchilla que trabaja perpendicular a la pieza.**



**Figura 19. Detalle de la cuchilla para el sistema que elimina rebaba perpendicularmente a la pieza.**

Para el desarrollo de este sistema se han realizado diversos diseños para conseguir que el centro de gravedad no exceda el valor límite de 80 mm, consiguiendo finalmente que este se encuentre a 79,3 mm del extremo del brazo robot. Por otra parte, la masa no ha supuesto un problema, ya que esta es de tan solo 681 gramos.



**Figura 20. Centro de gravedad del sistema de desbarbado mediante cuchilla.**

### **Sistema auxiliar de sujeción de piezas plásticas mediante succión.**

Con el objetivo de situar las herramientas anteriormente descritas sobre la mesa en lugar de en el robot y manipular las piezas mediante el robot en lugar de situarlas en la mesa, se ha diseñado un sistema auxiliar de sujeción de piezas plásticas mediante succión.

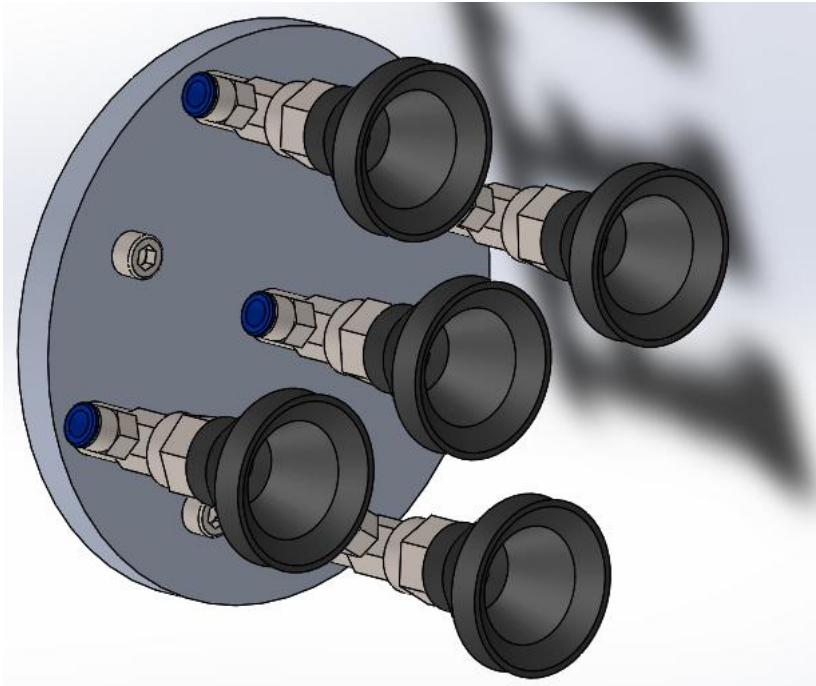
Este sistema se caracteriza por una gran polivalencia, ya que la herramienta puede sujetar cualquier tipo de pieza con una superficie relativamente plana. Lo que supone una gran ventaja ante sistemas de sujeción especialmente diseñados para un objeto concreto. Está compuesto únicamente por una pieza de aluminio y los sistemas de succión mediante ventosas.

El sistema de succión cuenta con 5 ventosas. Estas disponen de compensadores angulares y compensadores de altura para adaptarse a superficies que no sean totalmente planas. Además, las ventosas también se podrán situar sobre la bancada que se detallará a continuación.

En función de la masa de la pieza a sujetar, se pueden emplear ventosas de 20 mm de diámetro o de 40 mm. Para realizar el cambio, tan solo se debe sustituir la ventosa en sí misma, no siendo necesario ni cambiar el soporte ni los compensadores, reduciendo así el tiempo de intercambio de ventosas.

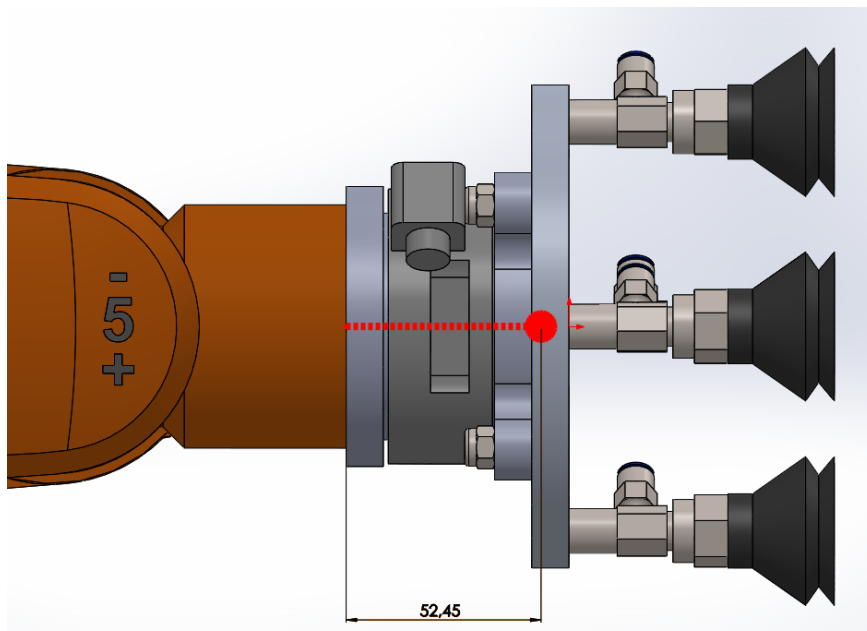
En cuanto al material de las mismas, estas son de NBR. Elastómero ampliamente utilizado para los sistemas de manipulación de objetos plásticos mediante succión.

Con el objetivo de acercar el centro de gravedad al extremo del robot, el racor rápido a través del cual se realizará el vacío se encuentra en el lateral del soporte de la ventosa en lugar de la parte posterior; obteniendo así un conjunto muy compacto.



**Figura 21. Sistema auxiliar de sujeción de piezas plásticas mediante succión.**

Al igual que los sistemas anteriores, este sistema posee una masa muy contenida, concretamente 742 gramos. En cuanto a la distancia del centro de gravedad al extremo del brazo robot, esta es de tan solo 52,45 mm.



**Figura 22. Centro de gravedad del sistema de sujeción mediante succión.**

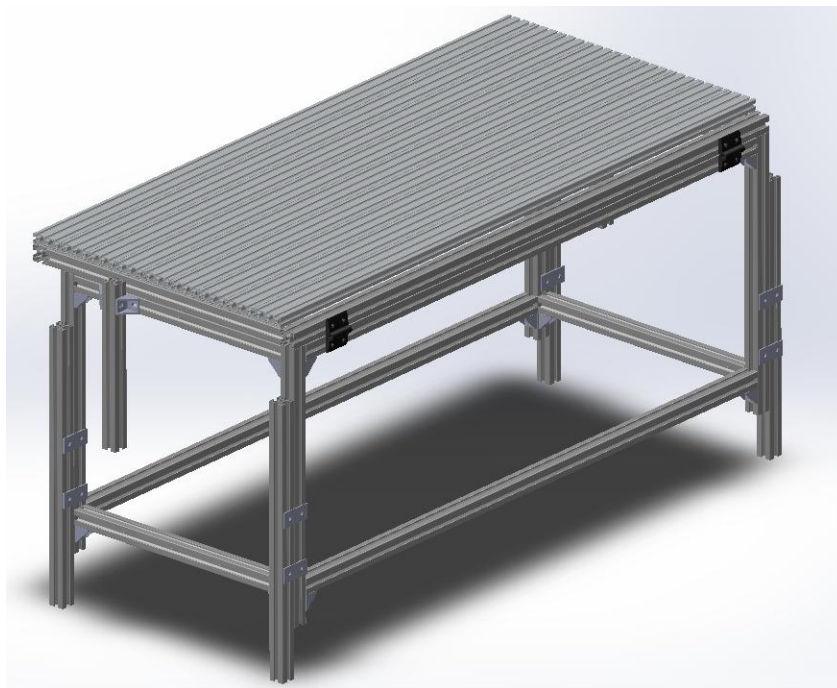
**Sistema mecánico de sujeción de herramientas y piezas.**

Como se ha mencionado anteriormente, las herramientas no solamente se pueden situar sobre el robot, sino que también se pueden colocar sobre una mesa especialmente diseñada para ello. Además, se podrán ubicar sobre la mesa todo tipo de piezas plásticas procedentes del sector juguete u otros sectores. Principalmente aquellas piezas de gran tamaño y/o masa que el robot no sea capaz de manipular.

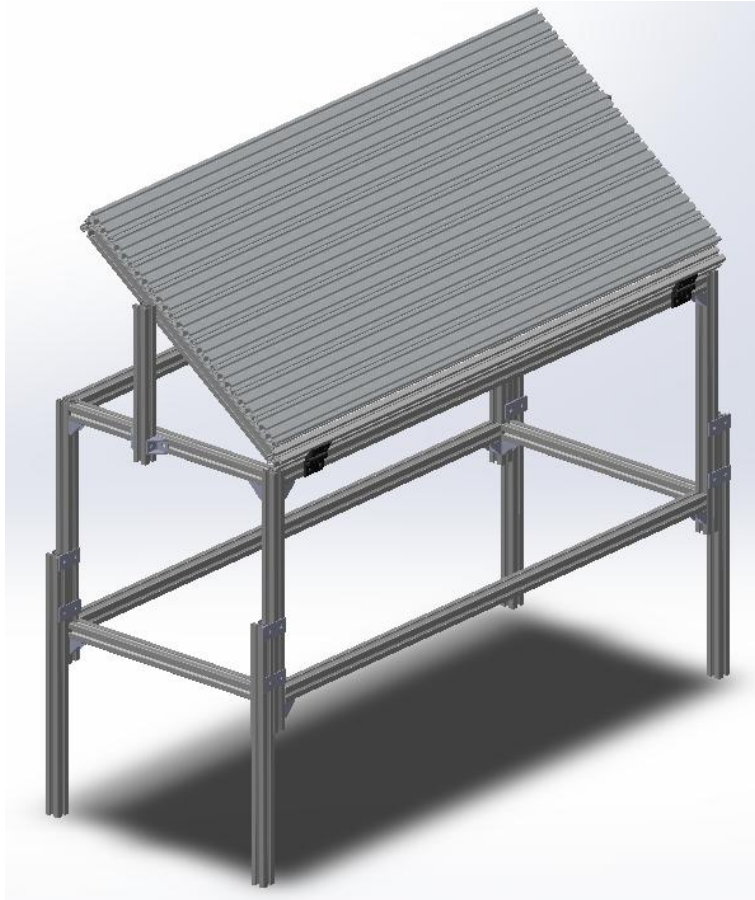
Para adaptarse a cualquier tipo de pieza, la mesa puede regularse tanto en altura como en inclinación. La mesa de trabajo está compuesta en su totalidad por perfiles de aluminio extruido de 30\*30 mm y 30\*60 mm, consiguiendo así un conjunto completamente configurable y adaptable a distintos procesos.

Mediante unas patas extensibles, se podrá modificar la altura de la mesa en función del tamaño de las piezas para conseguir que el robot trabaje en la zona de mayor alcance. También dispone de una bancada inclinable, que facilita la eliminación de rebabas en piezas de gran tamaño, ya que permite colocar la pieza casi verticalmente con el objetivo de que la pieza esté dentro del área de trabajo del robot.

La inclinación de la misma se puede modificar mediante dos soportes articulados situados en ambos lados de la bancada y dos bisagras que permiten articularla.



**Figura 23. Mesa con las patas ligeramente extendidas y la bancada en posición horizontal.**

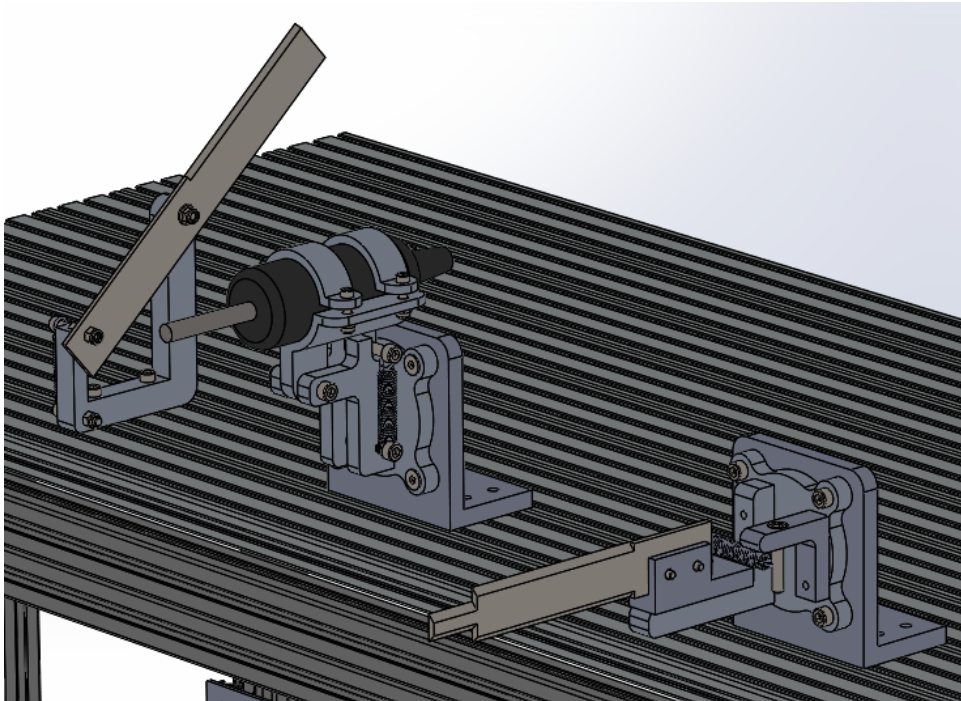


**Figura 24. Mesa con la bancada inclinada y las patas completamente extendidas.**

Como se puede observar en las imágenes de la bancada, la base inclinable está cubierta en toda su superficie por perfiles ranurados. De este modo, la base permite situar las herramientas anteriores para facilitar la tarea del robot y colocar la pieza de forma óptima para el procesamiento de la misma.

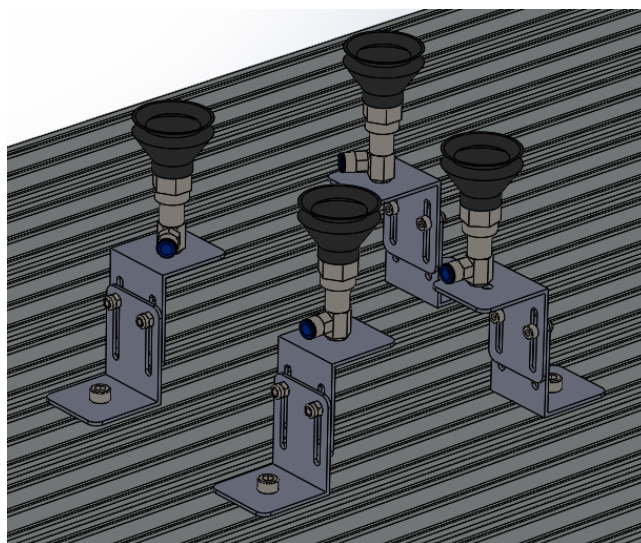
Para situar sobre la bancada el sistema de desbarbado mediante amoladora y que la herramienta quede paralela a la bancada, se ha diseñado un sencillo soporte de aluminio para dicho fin. Este soporte también puede ser empleado para situar sobre la bancada el sistema de desbarbado mediante cuchilla que trabaja perpendicular a la pieza.

Para situar sobre la bancada el otro sistema de desbarbado mediante cuchilla no es necesario el uso de soportes, ya que este se puede colocar directamente sobre la bancada mediante dos tornillos.



**Figura 25. Sistemas de desbarbado colocados sobre la bancada.**

Para fijar las piezas a la bancada, se dispondrán sobre esta las ventosas anteriormente descritas. La colocación de dichas ventosas permitirá realizar ajustes para compensar cambios de altura en la cara de la pieza a sujetar mediante succión. Se colocarán sobre la bancada soportes para cada una de las ventosas. Dichos soportes están formados por dos escuadras de acero unidas mediante tornillos a través de dos ranuras, permitiendo así deslizar una escuadra sobre otra para realizar los ajustes de altura.



**Figura 26. Ventosas y soportes regulables montados en la bancada.**