



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

*SISTEMA DE ENSAYOS AUTOMATIZADO DE TRACCIÓN Y  
DUREZA MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE UN ROBOT  
INDUSTRIAL*

*Autor: Jorge Carbonell DeLaCámara*

*Director: José Antonio Rodríguez Mondejar*

*Codirector: José Miguel García Iglesias*

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Sistema de ensayos automatizado de tracción y dureza mediante la implantación de un  
robot industrial

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2019/20 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Jorge Carbonell DeLaCámara

Fecha: 21/ 08/ 2020



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: José Antonio Rodríguez Mondejar

Fecha: 21/ 08/ 2020



EL CODIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: José Miguel García Iglesias

Fecha: 21/ 08/ 2020



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

*SISTEMA DE ENSAYOS AUTOMATIZADO DE TRACCIÓN Y  
DUREZA MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE UN ROBOT  
INDUSTRIAL*

*Autor: Jorge Carbonell DeLaCámara*

*Director: José Antonio Rodríguez Mondejar*

*Codirector: José Miguel García Iglesias*

Madrid

# Agradecimientos

Esta sección va dedicada a todas aquellas personas e instituciones que han hecho posible la realización de este proyecto de fin de grado. Sin la aportación de estas personas e instituciones no habría sido posible realizar este proyecto en las condiciones en las que se encuentra.

En primer lugar agradecer tanto a José Antonio Rodríguez Mondejar, director del proyecto, como a José Miguel García Iglesias, contacto con Ibertest y codirector del proyecto, su continúa atención y seguimiento del proyecto. Ambos se han encargado de ir resolviendo todas las dudas que han ido surgiendo durante la realización del proyecto.

En segundo lugar, me gustaría agradecer a mi familia y amigos su apoyo incondicional sin el cuál no habría sido posible llevar a cabo el proyecto.

Por último, agradecer a la escuela técnica superior de ingeniería ICAI por haber aportado los instrumentos necesarios para la realización del proyecto. Desde el software de programación RobotStudio hasta el brazo robótico IRB120.

# **SISTEMA DE ENSAYOS AUTOMATIZADO DE TRACCIÓN Y DUREZA MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE UN ROBOT INDUSTRIAL**

**Autor:** Carbonell DeLaCámara, Jorge.

**Director:** Rodríguez Mondejar, José Antonio.

**Codirector:** García Iglesias, José Miguel.

**Entidad Colaboradora:** Ibertest.

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

Se ha diseñado un sistema de ensayos automatizado de tracción y dureza mediante la implantación de un robot industrial. La herramienta utilizada para obtener este fin es el software RobotStudio, de la empresa ABB. Una vez se ha generado el entorno de trabajo y se ha llevado a cabo la parte programación, se ha realizado una simulación del trabajo del robot con unos resultados satisfactorios.

**Palabras clave:** Brazo, Ensayo, Industrial, Probeta, Programación, Robot, RobotStudio,

### **1. Introducción**

Actualmente, la automatización de procesos industriales es una gran ventaja debido a que supone un elevado ahorro de tiempo y dinero. La base del proyecto reside en la utilización de un brazo robótico para realizar tareas repetitivas y sistemáticas, las cuales antes eran realizadas por personas.

El proyecto se realiza en colaboración con la empresa Ibertest, esto es debido a que la entidad tiene interés en implantar una plataforma automatizada de estas características. La persona de contacto con la empresa ha proporcionado los requisitos y los datos necesarios para la realización del proyecto.

### **2. Definición del proyecto**

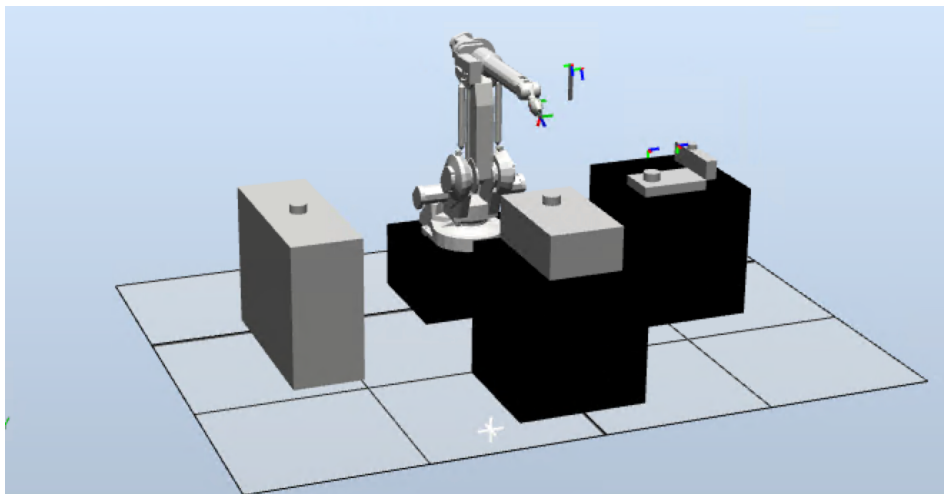
Este proyecto consiste en la implantación de una plataforma de ensayos automatizados de tracción y dureza sobre probetas de distintos materiales metálicos mediante la implantación de un robot industrial. El interés del diseño de una plataforma de estas

características reside en que al ser un brazo robótico el que realiza los movimientos de las probetas por la estación se puede prescindir de una persona destinada a realizar este trabajo. Además de esta ventaja, el brazo robótico permite realizar estas tareas de una manera mucho más rápida y precisa.

### 3. Descripción del sistema

El punto central del proyecto es la programación de los movimientos y trayectorias que ha de seguir el brazo robótico para poder ir desplazando las probetas metálicas por las distintas estaciones de trabajo. Estas estaciones de trabajo se corresponden con cada uno de los ensayos que se realizan sobre la probeta. Por un lado se toman las medidas de ancho y el espesor de la probeta para obtener su sección, acto seguido se mide la rugosidad superficial de la misma. Tras estas dos medidas se procede a la realización de un ensayo de dureza de tipo Vickers a través de un durómetro automático. Por último, el brazo robótico deberá situar la probeta a ensayar en las mordazas de la máquina de ensayos de tracción, el cual, es el ensayo más importante de la plataforma.

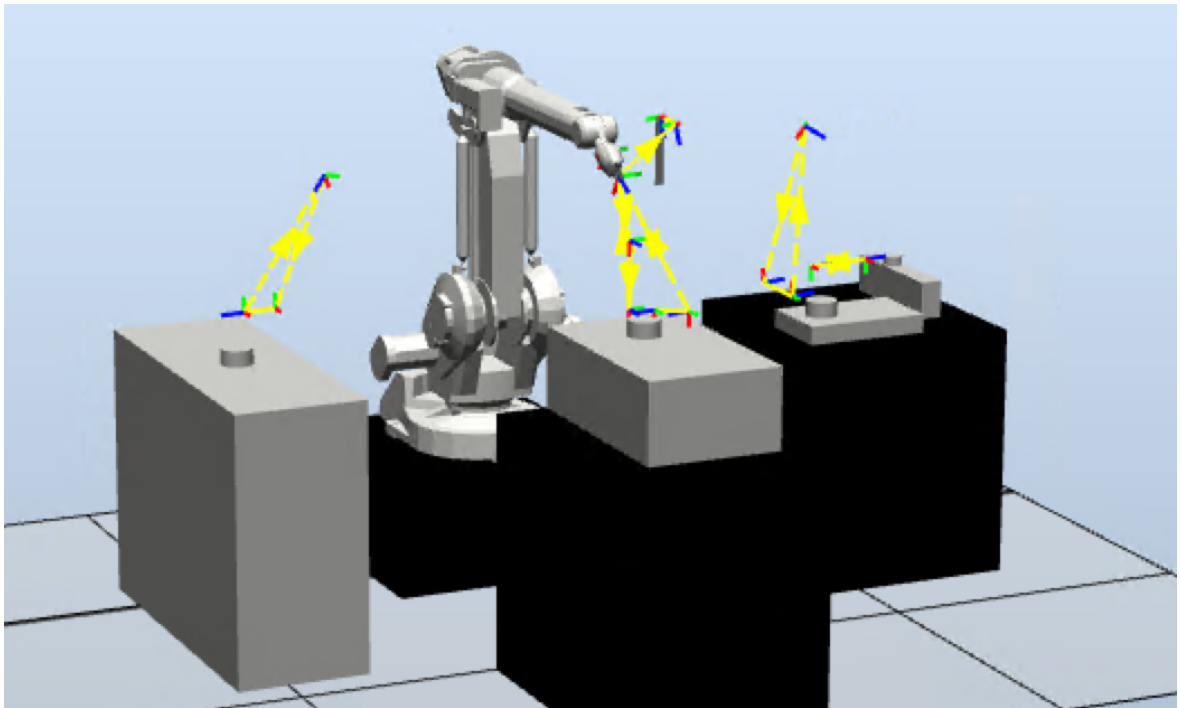
Antes de comenzar con la parte de programación, es necesario diseñar la posición de los elementos en el entorno de trabajo y generar los mismos, además de escoger el brazo robótico más adecuado para la plataforma. El programa utilizado durante la realización del proyecto es el software de programación y simulación RobotStudio. Además de la programación del brazo robótico ha sido necesario programar la pinza que se coloca en la cabeza del mismo.



*Ilustración 1. Entorno de trabajo*

#### 4. Resultados

Tras haber llevado a cabo toda la parte de diseño y de programación se realizó una simulación del trabajo del brazo robótico en el entorno de trabajo. El brazo es capaz realizar sus movimientos por las trayectorias deseadas de forma satisfactoria, siendo capaz de dejar la probeta en los distintos instrumentos de medida que se encuentran en la estación y en el tiempo más bajo posible.



*Ilustración 2. Entorno de trabajo con trayectorias*

#### 5. Conclusiones

Como conclusión final del proyecto se puede afirmar que la programación de las trayectorias que ha de seguir el robot resulta muy satisfactoria. Sin embargo, hay ciertas partes del proyecto en las que no se ha entrado muy a fondo, por lo que, podrían formar parte de un futuro proyecto. Estas partes que no se han desarrollado en exceso son la creación del almacén de probetas y el diseño detallado de los elementos de la plataforma automatizada.

## 6. Referencias

[1] <https://new.abb.com/products/robotics/es/robotstudio>

[2] Khamis, A.. “AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL – II”. Lenguaje RAPID. Mayo de 2006.

[En línea]

<http://personal.biada.org/~jhorrillo/INTRODUCCIO%20RAPID.pdf>

[3] Rafael Íñigo Madrigal, “Robots Industriales Manipuladores”, Noviembre de 2002. [En línea].

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=zhG5Qhf2\\_LMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=robot+industrial&ots=i38LpXRyCI&sig=wcbg\\_Cfdw5XYkZ40ZBPeA6Ny2Xg&redir\\_esc=y#v=onepage&q=robot%20industrial&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=zhG5Qhf2_LMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=robot+industrial&ots=i38LpXRyCI&sig=wcbg_Cfdw5XYkZ40ZBPeA6Ny2Xg&redir_esc=y#v=onepage&q=robot%20industrial&f=false)

# **AUTOMATED TRACTION AND HARDNESS TESTING SYSTEM THROUGH THE IMPLEMENTATION OF AN INDUSTRIAL ROBOT**

**Author: Carbonell DeLaCámara, Jorge.**

Supervisor: Rodríguez Mondejar, José Antonio.

Cosupervisor: García Iglesias, José Miguel.

Collaborating Entity: Ibertest.

## **ABSTRACT**

An automated tensile and hardness testing system has been designed by implementing an industrial robot. The tool used to achieve this is the RobotStudio software, from ABB. Once the work environment has been generated and the programming part has been carried out, a simulation of the robot's work has been performed with satisfactory results.

**Keywords:** Arm, Industrial, Programming, Robot, RobotStudio, Specimen, Test

### **1. Introduction**

Currently, the automation of industrial processes is a great advantage because it represents a high saving of time and money. The basis of the project lies in the use of a robotic arm to carry out repetitive and systematic tasks, which were previously carried out by people.

The project is performed in collaboration with the Ibertest company, this is due to the entity is interested in implementing an automated platform of these characteristics. The contact person with the company has provided the requirements and data necessary to carry out the project.

### **2. Project definition**

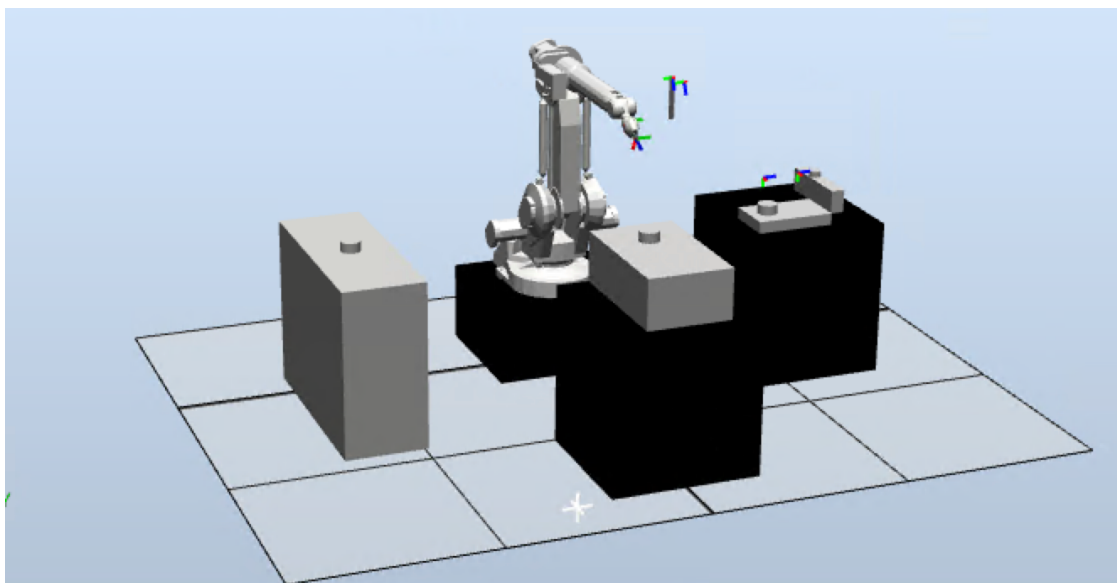
This project consists on the implantation of an automated tensile and hardness testing platform on specimens of different metallic materials by means of the implantation of an industrial robot. The interest in the design of a platform with these characteristics resides in the fact that, since it is a robotic arm that performs the movements of the specimens

through the station, a person assigned to carry out this work can be dispensed with. In addition to this advantage, the robotic arm allows to perform these tasks in a much faster and more precise way.

### 3. Description of the system

The central point of the project is the programming of the movements and trajectories that the robotic arm has to follow in order to move metal specimens through the different work stations. These work stations correspond to each of the tests that are carried out on the specimen. On the one hand, the width and thickness measurements of the specimen are taken to obtain its section, then the surface roughness of the same is measured. After these two measurements, a Vickers-type hardness test is carried out using an automatic durometer. Finally, the robotic arm must place the specimen to be tested in the jaws of the tensile testing machine, which is the most important test on the platform.

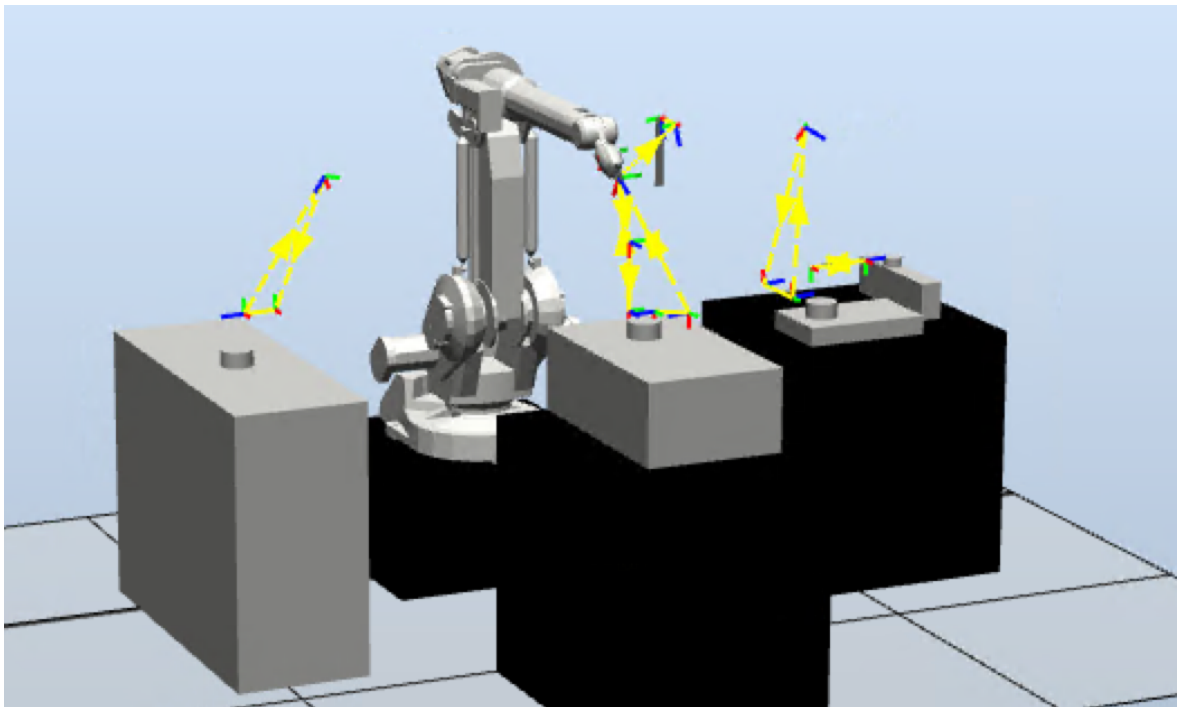
Before starting with the programming part, it is necessary to design the position of the elements in the work environment and generate them, in addition to choosing the most suitable robotic arm for the platform. The program used during the project is the RobotStudio programming and simulation software. In addition to programming the robotic arm, it has been necessary to program the gripper that is placed on its head.



*Illustration 3. Work environment*

#### 4. Results

After having carried out all the design and programming part, a simulation of the work of the robotic arm was carried out in the work environment. The arm is able to perform its movements along the desired trajectories in a satisfactory way, being able to leave the specimen in the different measuring instruments that are in the station and in the shortest possible time.



*Illustration 4. Work environment with trajectories*

#### 5. Conclusions

As a final conclusion of the project, it can be stated that the programming of the trajectories to be followed by the robot is very satisfactory. However, there are certain parts of the project that have not been covered very thoroughly, so they could be part of a future project. These parts that have not been over-developed are the creation of the specimen warehouse and the detailed design of the elements of the automated platform.

## 6. References

[1] <https://new.abb.com/products/robotics/es/robotstudio>

[2] Khamis, A.. “AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL – II”. Lenguaje RAPID. Mayo de 2006.

[En línea]

<http://personal.biada.org/~jhorriilo/INTRODUCCIO%20RAPID.pdf>

[3] Rafael Íñigo Madrigal, “Robots Industriales Manipuladores”, Noviembre de 2002. [En línea].

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=zhG5Qhf2\\_LMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=robot+industrial&ots=i38LpXRyCI&sig=wcbg\\_Cfdw5XYkZ40ZBPeA6Ny2Xg&redir\\_esc=y#v=onepage&q=robot%20industrial&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=zhG5Qhf2_LMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=robot+industrial&ots=i38LpXRyCI&sig=wcbg_Cfdw5XYkZ40ZBPeA6Ny2Xg&redir_esc=y#v=onepage&q=robot%20industrial&f=false)

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción</b> .....	<b>7</b>
1.1 Descripción del problema .....	7
<b>Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías</b> .....	<b>11</b>
2.1 Software .....	11
2.2 Hardware.....	12
2.2.1 Brazo robótico.....	12
2.3 Material de ensayos.....	15
2.3.1 Durómetro .....	15
2.3.2 Rugosímetro .....	17
2.3.3 Sistema de medición láser.....	19
2.3.4 Máquina de ensayos de tracción.....	20
<b>Capítulo 3. Estado de la Cuestión</b> .....	<b>23</b>
<b>Capítulo 4. Definición del Trabajo</b> .....	<b>25</b>
4.1 Justificación .....	25
4.2 Objetivos .....	26
4.3 Alcance .....	27
4.4 Metodología .....	28
<b>Capítulo 5. Sistema Desarrollado</b> .....	<b>31</b>
5.1 Análisis del Sistema .....	31
5.2 Diseño del entorno de trabajo .....	32
5.2.1 Sistema de medición laser.....	39
5.2.2 Rugosímetro .....	40
5.2.3 Durómetro.....	41
5.2.4 Máquina de ensayos de tracción.....	42
5.3 Programación .....	44
5.3.1 Pinza eléctrica.....	45
5.3.2 Programación del brazo robótico.....	51

---

<b>Capítulo 6. Análisis de Resultados .....</b>	<b>65</b>
6.1 Entorno de trabajo .....	66
6.2 Pinza eléctrica .....	66
6.3 Trabajo del brazo robótico .....	67
<b>Capítulo 7. Análisis Económico.....</b>	<b>69</b>
7.1 Máquina de ensayos de tracción .....	70
7.2 Sistema de medición láser.....	71
7.3 Rugosímetro automático .....	72
7.4 Durómetro automático .....	73
7.5 Brazo robótico.....	73
<b>Capítulo 8. Trabajos Futuros.....</b>	<b>75</b>
8.1 Diseño del almacén de probetas .....	75
8.2 Diseño detallado de los elementos de la plataforma .....	77
<b>Capítulo 9. Bibliografía.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO I. Objetivos de Desarrollo Sostenible.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXO II. Código RAPID.....</b>	<b>85</b>

## *Índice de figuras*

Figura 1. Planteamiento teórico de diseño con Universal Robots.....	8
Figura 2. IRB1410 y rango de trabajo [4] .....	13
Figura 3. Controlador IRC5 .....	14
Figura 4. Durómetro NEMESIS 5100 [6] .....	16
Figura 5. Mesa durómetro .....	16
Figura 6. Rugosímetro SJ-411, dimensiones y rango de medida [9] .....	18
Figura 7. LSM-503 [10] .....	19
Figura 8. Gráfica de tensión-deformación obtenida a partir de un ensayo de tracción.....	21
Figura 9. EUROTTEST-300.....	21
Figura 10. Estimación inicial con IRB120 .....	33
Figura 11. Probeta de ensayo de metales .....	35
Figura 12. Mesa rugosímetro y sistema de medición laser .....	36
Figura 13. Entorno de trabajo (visto desde arriba).....	37
Figura 14. Entorno de trabajo.....	38
Figura 15. Sistema de medición láser .....	39
Figura 16. Rugosímetro.....	40
Figura 17. Durómetro.....	41
Figura 18. Máquina de ensayos de tracción .....	42
Figura 19. ABB Smart Gripper Fingers conectado a IRB1410.....	45
Figura 20. Movimiento de ejes Smart Gripper Servo Fingers .....	46
Figura 21. Pose inicial y pose de sincronización .....	47
Figura 22. Evento cerrar pinza y coger objeto .....	48
Figura 23. Evento abrir pinza y soltar objeto .....	49
Figura 24. Uso de Set/Reset Gripper.....	50
Figura 25. Objetos de trabajo .....	51

---

Figura 26. Objeto de trabajo wobj0.....	52
Figura 27. Objeto de trabajo Test_Tube.....	52
Figura 28. Objeto de trabajo Work_1.....	53
Figura 29. Objeto de trabajo Work_2.....	53
Figura 30. Objeto de trabajo Work_3.....	54
Figura 31. Objeto de trabajo Work_4.....	55
Figura 32. Trayectorias .....	56
Figura 33. Entorno de trabajo con trayectorias .....	56
Figura 34. Trayectoria PickUp.....	59
Figura 35. Trayectoria WorkObject_1 .....	60
Figura 36. Trayectoria WorkObject_2 .....	60
Figura 37. Trayectoria WorkObject_3 .....	61
Figura 38. Trayectoria WorkObject_4 .....	62
Figura 39. main (punto de entrada).....	63
Figura 40. Objetivos de Desarrollo Sostenible [11].....	81
Figura 41. Objetivos 8 y 9 [11] .....	82

## *Índice de tablas*

Tabla 1. Resumen de costes .....	69
Tabla 2. Costes desglosados medidor de probetas Laser Scan .....	71
Tabla 3. Costes desglosados rugosímetro automático.....	72



## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

### *1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA*

A medida que pasan los años, cada vez un mayor número de tareas dejan de ser realizadas por personas para ser ejecutadas por robots. Este hecho es debido al continuo descubrimiento de nuevas tecnologías.

Los robots suponen una mejora en la calidad de vida de las personas, además de un incremento en la productividad de ciertas tareas, principalmente aquellas que se realizan de forma repetitiva.

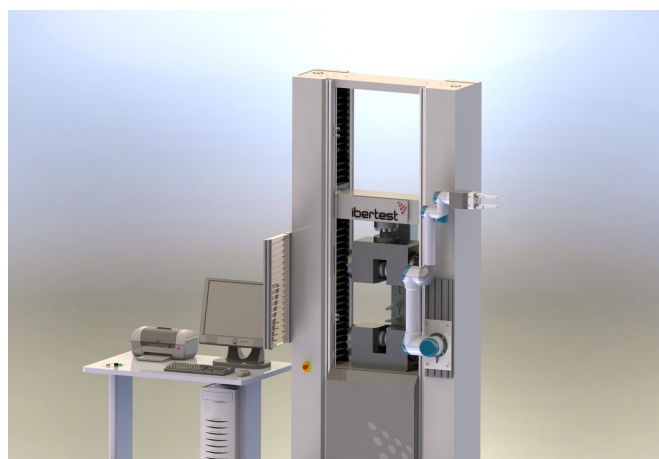
El presente proyecto, “Sistema de ensayos automatizado de tracción y dureza mediante la implantación de un Robot industrial”, plantea la implantación de una plataforma robotizada de ensayos de tracción de materiales metálicos. Además de la implantación del ensayo de tracción automatizado, la plataforma robotizada debe tener la capacidad de medir de forma automática tres aspectos más:

- Sección de la probeta: para esta tarea se utilizará un sistema de medición laser que medirá el ancho y el espesor.
- Rugosidad de la probeta: la medida de la rugosidad se realizará con un rugosímetro de sobremesa.
- Dureza del material: la medida de dureza será del tipo Vickers y se realizará con un durómetro automático.

En primer lugar se identificará en el almacén de probetas la pieza objeto de ensayo, se medirán la sección, rugosidad y dureza de la probeta. Una vez realizadas estas tres medidas se montará la probeta sobre las mordazas de la máquina de ensayos de tracción para su posterior desmontaje tras la ejecución del ensayo, posicionándola sobre el contenedor de residuos en función del resultado, bajo el criterio “pasa”/”no pasa”.

Este trabajo se realiza en colaboración con la empresa Ibertest, una empresa líder en la fabricación y desarrollo de soluciones de ensayo de materiales. Ibertest no dispone actualmente de una plataforma automatizada y este trabajo se centra en realizar un estudio sobre la viabilidad y rentabilidad de implantar dicha plataforma. Para ello se emplea el software de programación y simulación RobotStudio, que permite crear el entorno de trabajo y programar el brazo robótico para posteriormente realizar una simulación del trabajo del robot en dicho entorno. La utilización de este programa permite realizar pruebas sobre la posición de los elementos en el entorno y los posteriores movimientos del brazo robótico, para estudiar su viabilidad, sin necesidad de trabajar con el robot real.

José Miguel García Iglesias, codirector del proyecto, además de el contacto con la empresa, proporcionó en un primer momento un planteamiento a nivel de diseño SW con Universal Robots, el cual es simplemente, un planteamiento teórico que no ha sido llevado a la práctica.



*Figura 1. Planteamiento teórico de diseño con Universal Robots*

Como se puede observar en la Figura 1, este planteamiento teórico cuenta únicamente con el almacén de probetas, el brazo robótico y la máquina de ensayos de tracción, por lo que simplemente vale para hacerse una idea inicial del sistema dado que faltan muchos elementos que pertenecen a la plataforma.



## Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

### 2.1 SOFTWARE

La principal herramienta que se va a utilizar durante la realización de este trabajo para lograr alcanzar los objetivos deseados es el programa RobotStudio de ABB. ABB es una empresa líder además de pionera en temas relacionados con la consecución de la digitalización industrial. El software [1] de simulación y programación fuera de línea permite efectuar la programación del robot en un ordenador de oficina sin interrumpir la producción. RobotStudio proporciona las herramientas para incrementar la rentabilidad de su sistema robotizado mediante tareas como formación, programación y optimización, sin afectar a la producción, lo que proporciona numerosas ventajas, como reducción de riesgos, arranque más rápido, transición más corta e incremento de la productividad.

Esta potente herramienta permite diseñar el entorno de trabajo del brazo robótico, pero con ciertas limitaciones. Al tratarse de un software de simulación y programación, no es una herramienta especializada en la creación de piezas, formas y figuras, y, por lo tanto, no va ser posible alcanzar un gran nivel de detalles en las piezas del entorno de trabajo. Sin embargo, esto no va a suponer ningún problema a la hora de programar los movimientos del brazo del robot. RobotStudio permite crear piezas y formas simples, como tetraedros, cilindros, esferas, etc., las cuales son más que suficientes para visualizar las partes del entorno de trabajo.

Sin embargo, el fin de esta herramienta no es diseñar el entorno de trabajo, sino programar los puntos y las trayectorias que ha de seguir el brazo robótico y posteriormente realizar una simulación. El lenguaje de programación utilizado por RobotStudio, es un lenguaje de programación textual de alto nivel desarrollado por la empresa ABB. Se conoce como lenguaje RAPID (Robotics Application Programming Interactive Dialogue) y los programas

sirven para manejar el brazo robótico. Dichos programa están formados por un serie de instrucciones y se pueden diferenciar tres partes dentro del mismo, la rutina principal o main, que es donde se inicia la ejecución, un conjunto de subrutinas, las cuales dividen el programa en segmentos de menor tamaño para darle una apariencia modular, y, los datos del programa, que sirven para definir posiciones, sistemas de coordenadas, etc. [2]

Este software se encuentra en los ordenadores de la escuela así como el brazo robótico IRB120, aunque este no es el utilizado en el proyecto. Debido a la pandemia global COVID-19, no ha sido posible utilizar este software en los ordenadores de la escuela. Para utilizar el software RobotStudio se ha hecho uso de un escritorio remoto, el cual permitía utilizar el software de forma remota.

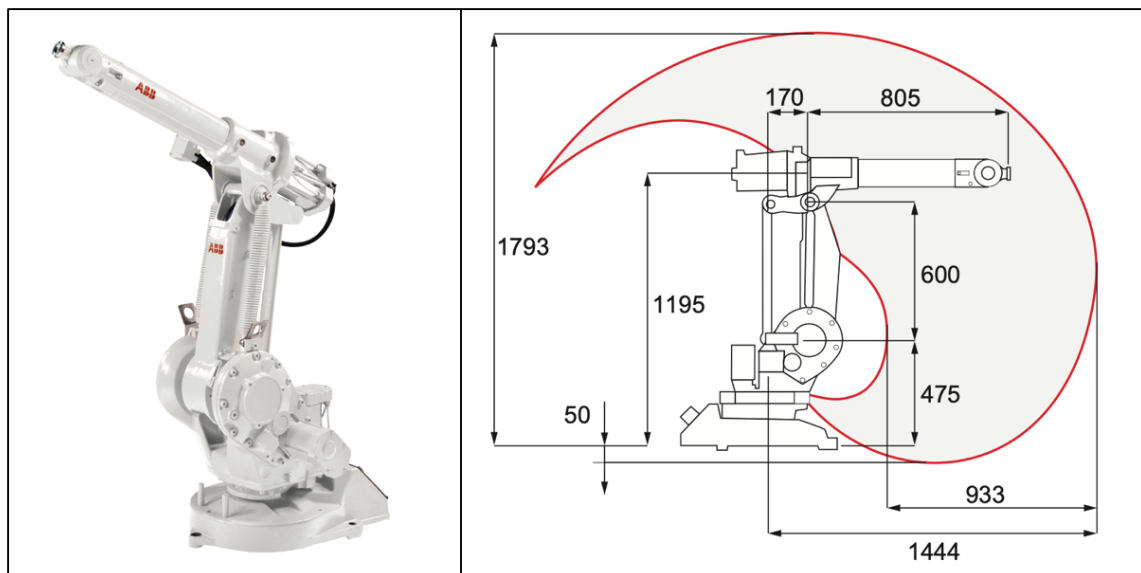
## **2.2 *HARDWARE***

### **2.2.1 BRAZO ROBÓTICO**

Un Robot industrial manipulador [3] debe consistir de, al menos, dos partes diferenciadas para ser considerado como tal. En primer lugar, un brazo, consistente en un sistema de articulaciones mecánicas, actuadores y sensores de posición usados en el sistema de control de bucle cerrado. En segundo lugar, un controlador, generalmente basado en microcomputador, que recibe las señales de los sensores de posición y envía comandos a la fuente de potencia controlada.

En este trabajo se ha tenido que elegir uno de los brazos que ofrece la amplia gama que posee ABB. La elección del brazo robótico ha ido ligada principalmente a las dimensiones del brazo robótico dado que, el brazo escogido, debe ser capaz de llegar a todos los puntos del entorno del trabajo. En los laboratorios de la escuela disponen del robot IRB120 y por tanto fue el robot elegido para realizar una primera prueba. Tras diseñar los elementos del entorno de trabajo se pudo observar que el IRB120 era demasiado pequeño y que no iba a llegar a

alcanzar numerosos puntos esenciales para el funcionamiento de la estación. Tras esta prueba fallida, se probó con el IRB1410, un robot de unas dimensiones mucho mayores que el IRB120. El IRB1410 es lo suficientemente grande como para llegar a todos los puntos del entorno de trabajo y, además, no tiene unas dimensiones demasiado grandes como para encontrar dificultades para llegar a puntos que se encuentran bastante cercanos entre sí. En la Figura 2 se puede observar el IRB1410 (izquierda) y su rango de trabajo (derecha).



*Figura 2. IRB1410 y rango de trabajo [4]*

La elección del controlador va directamente ligada al brazo robótico escogido, es decir, ABB indica que controlador se ha de utilizar en función del brazo escogido. Al haber escogido el IRB1410 el controlador a utilizar es el IRC5. En la Figura 3 se puede observar la apariencia del controlador con el FlexPendant apoyado en su parte superior. El FlexPendant es el mando para utilizar el robot de forma manual pero, con él, también se pueden programar posiciones.



*Figura 3. Controlador IRC5*

Se añaden en la bibliografía los enlaces para acceder a la ficha de datos y a la especificación técnica del IRB1410, por si se quiere entrar más en profundidad sobre las especificaciones del brazo robótico.

## **2.3 MATERIAL DE ENSAYOS**

Este apartado se refiere a todos los aparatos o instrumentos de medida por los que ha de pasar la probeta metálica dentro de la estación. Se incluye en cada apartado un breve resumen del tipo de medida que se realiza y cómo se realiza, además de una foto del aparato en cuestión y las especificaciones técnicas más importantes.

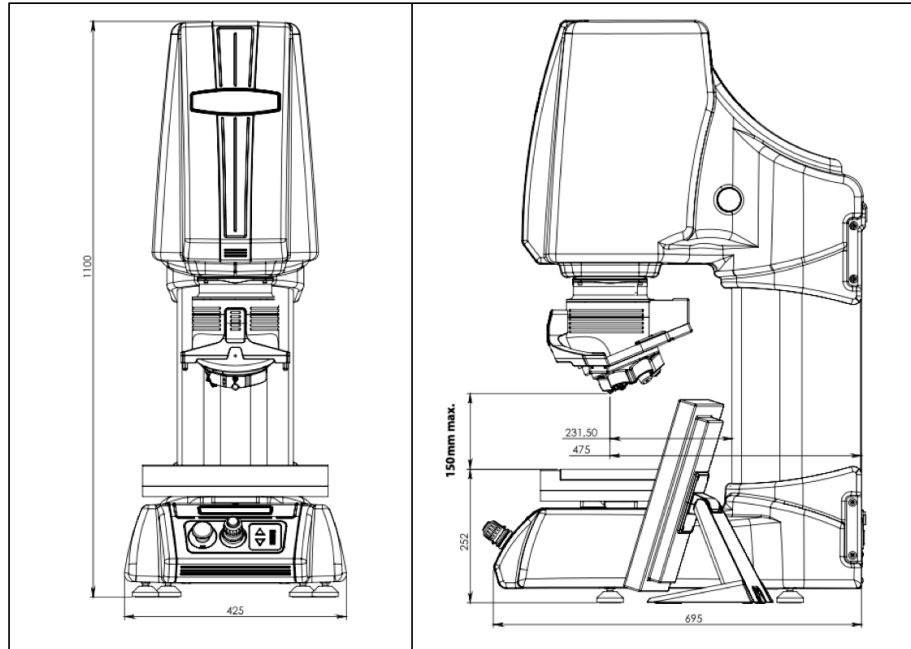
### **2.3.1 DURÓMETRO**

La dureza en los metales es la propiedad que mide la resistencia de un material al sufrir deformación plástica o rotura por compresión. A mayor resistencia de un material este tiene mayor resistencia al desgaste.

Hay diferentes tipos de ensayo de dureza, en este caso se ha escogido el ensayo de dureza Vickers, el procedimiento a seguir en este tipo de ensayo consiste en aplicar una carga con un indentador con forma de pirámide y hecho de diamante. Tras aplicar la carga se mide el tamaño de la huella generada.

La medida de dureza se realizará con un durómetro automático el cual deberá realizar tres mediciones en tres puntos distintos de la probeta. El movimiento de la probeta en la mesa del durómetro la realiza el propio durómetro con su sistema de coordenadas X-Y.

El durómetro escogido es el NEMESIS 5100 de INNOVATEST el cual está completamente automatizado y además tiene un sistema de posicionamiento por láser. La gran ventaja de este durómetro es que, al estar completamente automatizado, el brazo robótico únicamente tendrá que dejar la probeta en la mesa del rugosímetro y este se encargará de realizar las tres medidas en la probeta.



*Figura 4. Durómetro NEMESIS 5100 [6]*

En la Figura 4 se pueden observar el alzado y el perfil del durómetro escogido con medidas. La mesa escogida para colocar el durómetro es la que se observa en la Figura 5, la cual tiene las dimensiones recomendadas por el fabricante.



UN-STAND/960 71 x 75 x 80 cm

*Figura 5. Mesa durómetro*

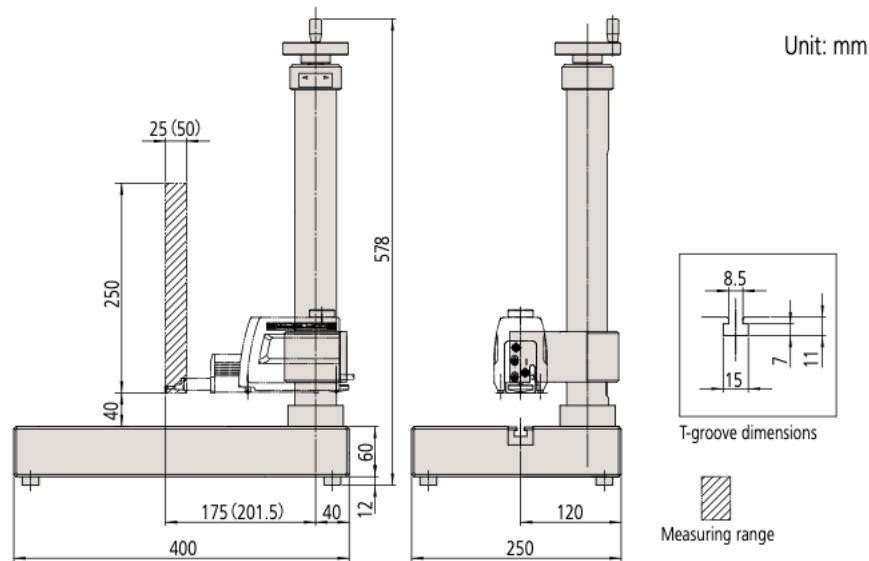
### **2.3.2 RUGOSÍMETRO**

A medida que va avanzando la tecnología se requieren unos mejores acabados superficiales de las piezas objeto de la industria. La rugosidad está formada por surcos generados por las herramientas que atacan la superficie en el proceso de mecanizado. Por lo tanto, la rugosidad es un buen baremo para medir la calidad del acabado superficial de una determinada pieza. Esto es importante para solicitudes tales como la precisión de tolerancia o el pasaje de fluidos, entre muchas otras.

Los rugosímetros o verificadores de estado superficial [8] sirven para verificar con rapidez y alta precisión la rugosidad y/u ondulación de las superficies. La medición el estado superficial es muy sencilla y consiste en hacer una digitalización 2D-3D de las superficies mediante un palpador físico con una geometría normalizada. El detector tiene un radio en la punta que copia la superficie con resolución nanométrica.

En este caso concreto, la medida de la rugosidad se realizará con un rugosímetro de sobremesa. El robot situará la probeta en la mesa del rugosímetro y este medirá la rugosidad de la sección transversal.

El rugosímetro escogido es el SURFTEST SJ-411 el cuál es un rugosímetro portátil pero se puede utilizar con un accesorio que hace que se funcione como un rugosímetro de sobremesa. Este accesorio consiste en una plataforma, sobre la cual se apoyará la probeta metálica, y una columna a la cual se engancha el SJ-411. La columna permite además ajustar la altura para alcanzar con gran precisión el ítem a medir.



*Figura 6. Rugosímetro SJ-411, dimensiones y rango de medida [9]*

La Figura 6 muestra el alzado y el perfil del rugosímetro utilizado junto con el rango de medida, el rango de medida indica donde debe situarse la probeta a la hora de medir.

La mesa escogida para el rugosímetro es la de la Figura 5, la misma que para el durómetro. La diferencia es que el rugosímetro y el sistema de medición láser comparten esta mesa, ya que son instrumentos de medida de mucho menor tamaño que el durómetro. Entran los dos juntos en esta mesa y además, el brazo robótico no tiene ningún problema a la hora de acceder a ambos, aunque estén en la misma mesa.

### 2.3.3 SISTEMA DE MEDICIÓN LÁSER

La finalidad de este sistema es realizar una medida de la sección de la probeta, ancho y espesor, de forma automática. La elección de este aparato fue la más complicada dentro de esta sección.

En un primer momento la medida se iba a realizar con unos palpadores que, por contacto, obtendrán el valor del ancho y espesor de la probeta. El inconveniente de realizar esta medida con palpadores es que habría que realizar tres medidas a lo largo de cada probeta, por lo que el robot debería parar en seis posiciones y hacer dos medidas en cada una de ellas.

Por este motivo se ha elegido un sistema de medición sin contacto mediante un equipo de medida laser. Es mejor que la solución de medida con contacto prevista inicialmente. De esta forma el robot lo único que hace es situar la pieza y se realiza la medida de las dos dimensiones de la probeta, ancho y espesor, haciendo un giro de la pieza de noventa grados.

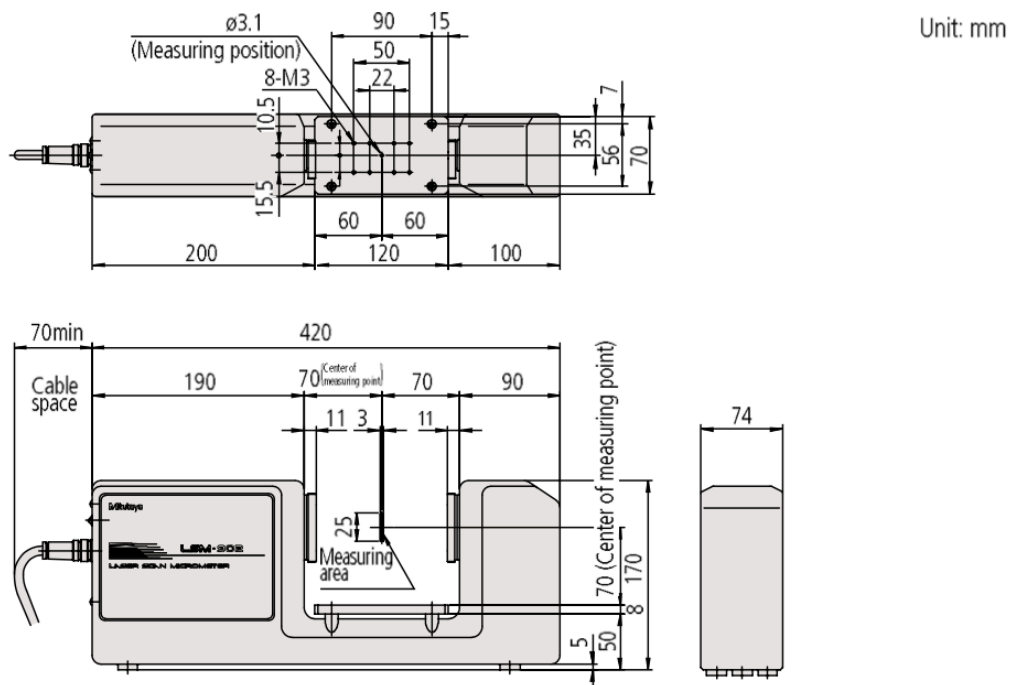


Figura 7. LSM-503 [10]

El sistema de medición láser escogido es el que se observa en la Figura 7, el LSM-503 de la empresa Mitutoyo. Como ya se ha dicho antes el sistema de medición láser comparte mesa con el rugosímetro de sobremesa y dicha mesa es la misma que la del durómetro (Figura 5).

### **2.3.4 MÁQUINA DE ENSAYOS DE TRACCIÓN**

Desde hace mucho tiempo se han realizado distintos tipos de ensayos sobre materiales para conocer sus propiedades y así poder escoger entre los materiales más adecuados para cada función. De esta forma se han podido utilizar en las distintas estructuras o elementos los materiales más apropiados para el trabajo que van a realizar.

El ensayo de tracción es la parte central de este proyecto, es el ensayo más importante que se hace en toda la estación. Los ensayos previos sirven para verificar que las medidas de la probeta, su rugosidad y su dureza son las esperadas en una probeta metálica, sin embargo, el ensayo de tracción decide si cada probeta pasa ciertos requisitos de resistencia a la tracción.

En líneas básicas, el ensayo de tracción consiste en sujetar la probeta metálica por sus dos extremos mediante unas mordazas, las cuales forman parte de la máquina, y estirar del material hasta que llega a la fractura.

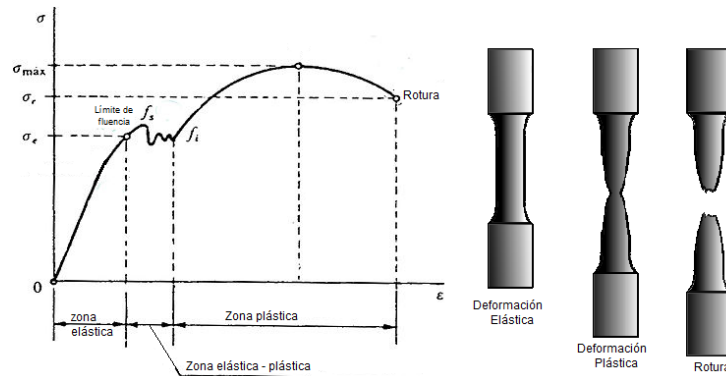


Figura 8. Gráfica de tensión-deformación obtenida a partir de un ensayo de tracción

La máquina de ensayos de tracción escogida es la EUROTTEST-300 de la empresa Ibertest, esta máquina se encuentra también en los laboratorios de la escuela y se usó en la asignatura de Ciencias Materiales durante el segundo año de la carrera. La máquina tiene un rango de fuerza de tracción aplicada desde 3 a 300 kN.



Figura 9. EUROTTEST-300



## **Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN**

Como se dijo en la introducción, Ibertest actualmente no dispone de una plataforma automatizada de ensayos de tracción y dureza, simplemente disponen de un planteamiento teórico muy simplificado que no ha sido llevado a la práctica. Este planteamiento teórico corresponde a la Figura 1, y es simplemente una plataforma que consta de la máquina de ensayos de tracción, el brazo robótico y el almacén de probetas. Este planteamiento teórico es simplemente visual, es decir, no se puede animar por medio de una simulación, de ahí el interés de la empresa en la realización de este proyecto.

Actualmente existen algunas empresas competidoras de Ibertest que tienen soluciones similares a las que se proponen en este trabajo, las cuales, en un primer momento sirvieron de base para poder comenzar a trabajar con una idea básica de lo que se estaba haciendo. Por ejemplo, la empresa ZWICK ofrece en YouTube un vídeo del funcionamiento de una plataforma robotizada de ensayos de tracción muy similar al planteamiento teórico de la Figura 1.

Este trabajo no es la continuación de un trabajo previo, pero se podrán realizar trabajos posteriores a partir de este, tocando aspectos en los cuales no se entra en este trabajo. Esto se explica con detalle en el Capítulo 8.



## **Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO**

### **4.1 JUSTIFICACIÓN**

Este proyecto es el resultado de la suma de distintas ideas para dar lugar a una plataforma automatizada muy completa y eficiente. Tal y como se afirma en el Capítulo 3, hay una serie de empresas competidoras de Ibertest, como ZWICK o INSTRON, que actualmente tienen implantadas plataformas automatizadas de ensayos. El interés de esta plataforma reside en que actualmente ninguno de estos competidores posee una plataforma tan completa como la que se ofrece en este trabajo.

La posibilidad de implantar una plataforma automatizada de este tipo supone una gran ventaja competitiva, además de un importante ahorro en tiempo y dinero. Un brazo robótico es mucho más eficiente que un operario, dado que puede funcionar de forma ininterrumpida y con un nivel de precisión mucho mayor. Con la implantación de este sistema, además de evitar los errores humanos que pudiera tener un operario, se produce un ahorro de dinero a nivel salarial. Esto es debido a que, una vez que se ha desarrollado el código de programación del brazo robótico, una única persona desde un ordenador, podría manejar un gran número de plataformas de este tipo, sin realizar prácticamente ningún esfuerzo.

Es cierto que un robot como el IRB1410 (Figura 2) supone una inversión elevada en un primer momento, pero a medio y largo plazo es mucho más rentable que tener un grupo de operarios que se dediquen únicamente a colocar probetas metálicas en máquinas de ensayos. Este tipo de tareas repetitivas y sencillas, es mucho más adecuado que sean realizadas por un robot.

El proyecto consiste en la programación y simulación en el software RobotStudio de ABB. Este software permite generar el entorno de trabajo del brazo robótico, programar las posiciones y trayectorias que tendrá que seguir el mismo y, por último, realizar una

simulación del trabajo del robot en dicho entorno de trabajo. La posibilidad de trabajar con este software supone una gran ventaja, ya que permite trabajar de forma iterativa hasta encontrar la solución más adecuada para la plataforma automatizada.

## **4.2 OBJETIVOS**

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo del proyecto es realizar una plataforma robotizada de ensayos de tracción de materiales metálicos, capaz de realizar de forma automática las funciones expuestas a continuación:

1. Medición automática de la sección de la probeta: mediante el sistema de medición láser se medirán el ancho y el espesor de la probeta.
2. Medición de la rugosidad de la probeta: la medida de la rugosidad se realizará con un rugosímetro de sobremesa. El robot situará la probeta en la mesa del rugosímetro y este medirá la rugosidad de la sección transversal.
3. Medición de la dureza del material: la medida de dureza será Vickers y se realizará con un durómetro automático. Deberá realizar tres mediciones. El movimiento de la probeta en la mesa del durómetro la hace el propio durómetro con su sistema de coordenadas.
4. Ensayo de tracción: consiste en el montaje de la probeta sobre las mordazas de la máquina de ensayos para su posterior desmontaje tras la ejecución del ensayo, posicionándola sobre el contenedor de residuos en función del resultado.

### **4.3 ALCANCE**

Este apartado se refiere a la definición de los límites del trabajo, hasta donde se va a llegar con lo que se va a hacer y que no se va a realizar. El presente proyecto se centra en tres puntos principales:

- **Distribución espacial de los elementos del entorno de trabajo:** este punto se divide a su vez en dos aspectos. Por un lado tenemos la generación de los elementos del entorno de trabajo en RobotStudio, esto es, las mesas donde se colocan los aparatos de medida, los aparatos de medida en sí y todos los elementos que influyan de cualquier manera en el movimiento del robot. En la otra mano, una vez generados todos los objetos del entorno, es necesario posicionarlos de tal forma que el robot pueda acceder a ellos. Las decisiones tomadas en este punto se realizan por el método ensayo-error, es decir, se prueban distintas distribuciones del entorno de trabajo hasta que se encuentra la más eficiente.
- **Elección del brazo robótico:** este punto se realiza de forma conjunta con la distribución espacial. Ha sido necesario encontrar un brazo robótico con el tamaño suficiente para alcanzar todos los puntos de interés del entorno de trabajo, esto es, todas las áreas de medida de los instrumentos de la plataforma.
- **Programación del brazo robótico:** supone la parte más extensa del proyecto. Consiste en la programación de las posiciones y trayectorias del brazo robótico, además de los tiempos de espera, apertura y cierre de la pinza y más aspectos relacionados con el lenguaje de programación RAPID utilizado por RobotStudio.

Durante el presente proyecto no se tienen en cuenta el resto de aspectos que no estén relacionados con los tres de arriba. Es decir, no se les va a dar vida a los aparatos de medida, ni tampoco se van a generar con detalle estos aparatos. Se van a generar todos los elementos del entorno de trabajo pero con formas simples tales como tetraedros, cilindros, esferas, etc. Esto es más que suficiente a la hora de programar las trayectorias del brazo robótico, ya que la creación de estos aparatos con detalle únicamente tiene interés a nivel estético y supondría una carga de trabajo muchísimo mayor. Esto último podría formar parte de futuros trabajos así como animar los aparatos de medida.

#### **4.4 METODOLOGÍA**

La metodología seguida para realizar el proyecto se puede definir a través de los siguientes puntos:

- Búsqueda de información y trabajos previos relacionados: se refiere a la búsqueda de otras empresas que hayan realizado soluciones similares que puedan servir de orientación a la hora de la realización del proyecto.
- Familiarización con el software de programación RobotStudio: este software era desconocido en un primer momento. A base de tutoriales y manuales se ha conseguido dominio del lenguaje RAPID y del resto de aspectos del programa.
- Creación del entorno de trabajo: generación de los elementos que forman parte de la estación mediante formas simples como tetraedros, cilindros, etc.
- Programación del brazo robótico: programación de las posiciones y trayectorias del brazo robótico en lenguaje RAPID. También se incluye en este punto la programación de la pinza eléctrica.

- Simulación en el entorno de trabajo: simulación a través del mismo software del trabajo del robot para su posterior análisis.
- Análisis de resultados: a raíz de la simulación se realiza un análisis sobre la calidad de los resultados.
- Análisis económico: cálculo de un presupuesto total para los elementos de la plataforma automatizada de ensayos.
- Conclusiones: síntesis entre el análisis de resultados y el económico para averiguar la rentabilidad real de realizar una inversión para implantar una plataforma como la que se ofrece.



## Capítulo 5. SISTEMA DESARROLLADO

### 5.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA

El sistema desarrollado consiste en una plataforma automatizada de ensayos de tracción y dureza. Para lograr este fin, se ha utilizado el software de programación y simulación RobotStudio. Este programa permite generar el entorno en el que se encuentra el brazo robótico, programar los movimientos de dicho brazo y, por último, realizar una simulación de los movimientos de dicho brazo en el entorno de trabajo.

La plataforma debe estar capacitada para recoger la probeta del almacén y llevarla a los distintos instrumentos de medida que se encuentran en la estación. Para desarrollar el sistema es necesario seguir una serie de pasos:

- Crear el entorno de trabajo: engloba todo lo relacionado con la generación del entorno donde va a trabajar el brazo robótico. Esto incluye la elección del brazo a utilizar y la distribución óptima de los elementos de la estación. Esto se explica en detalle en el punto 5.2.
- Programación: se pueden distinguir dos tareas dentro de este paso. Por un lado, es necesario programar el funcionamiento de la pinza eléctrica que se coloca en la brida del robot. Por otro lado, hay que programar todos los puntos y trayectorias por los que se ha de mover el brazo robótico. Esto se explica en detalle en el punto 5.3.

## **5.2 DISEÑO DEL ENTORNO DE TRABAJO**

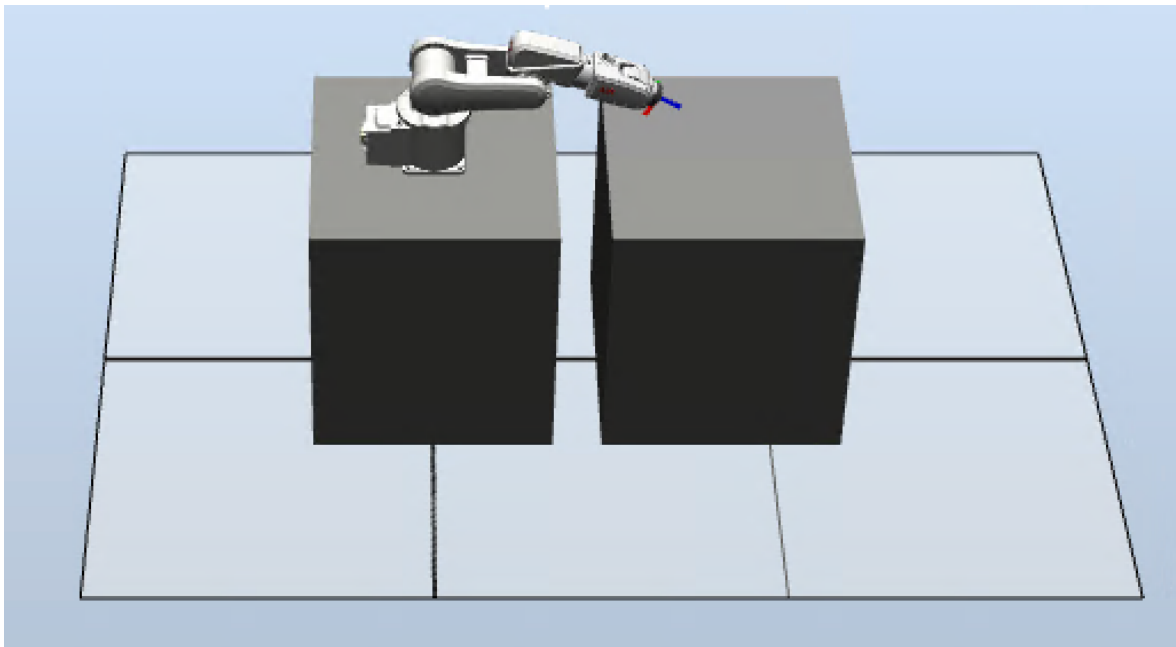
Este apartado se refiere a todo lo relacionado con la generación del entorno de trabajo en el software de programación RobotStudio. Para poder simular el trabajo del brazo robótico es necesario crear el entorno en el que este se va a mover, esto incluye todos los obstáculos que el brazo puede encontrar en su movimiento y además, todos los puntos de interés para la plataforma. Los puntos de interés son los lugares del espacio de trabajo donde el robot tiene que ir dejando la probeta metálica para que se realicen sobre ella los ensayos pertinentes.

Todos los objetos se han creado desde RobotStudio y por lo tanto carecen de detalle en lo referido a las formas de la máquina, esto es un aspecto meramente estético que no afecta en absoluto a la programación del brazo robótico. A la hora de crear formas, RobotStudio solo permite utilizar figuras simples tales como tetraedros, cilindros, esferas y más figuras similares. Los puntos de interés de cada máquina de ensayos, es decir, el punto sobre el que se debe realizar la probeta, se han representado con pequeños cilindros.

El entorno de trabajo de la plataforma automatizada esta formado por todos los aparatos de medida y todas las mesas y soportes para dichos aparatos. En los siguientes puntos se explica la forma de generar cada elemento del entorno de trabajo, además de la mesa o soporte sobre el que se encuentran.

Una de las partes más importantes a la hora de diseñar el entorno de trabajo era conseguir una distribución adecuada de todos los elementos de dicho entorno, de tal forma que el brazo robótico pudiera llegar a todos los puntos de interés sin chocar con ningún obstáculo. Esto, depende principalmente de dos factores, el brazo robótico escogido y la forma de colocar los elementos del entorno de trabajo en la plataforma. El entorno de trabajo creado debe ser fidedigno en las medidas que necesita el robot.

Ambas decisiones están íntimamente ligadas y por lo tanto se ha buscado la distribución más adecuada por el método iterativo. El método iterativo trata de resolver un problema a través de sucesivas aproximaciones, comenzando por una estimación inicial. En el caso del presente proyecto, esta estimación inicial se correspondía con la elección del brazo robótico IRB120 y los elementos de la estación distribuidos alrededor del mismo, de forma circular. Tras crear un entorno de trabajo con estas características rápidamente se pudo observar que con el brazo IRB120 era imposible llegar a todos los puntos de interés de la plataforma, debido a sus pequeñas dimensiones en comparación con el resto de elementos del entorno.



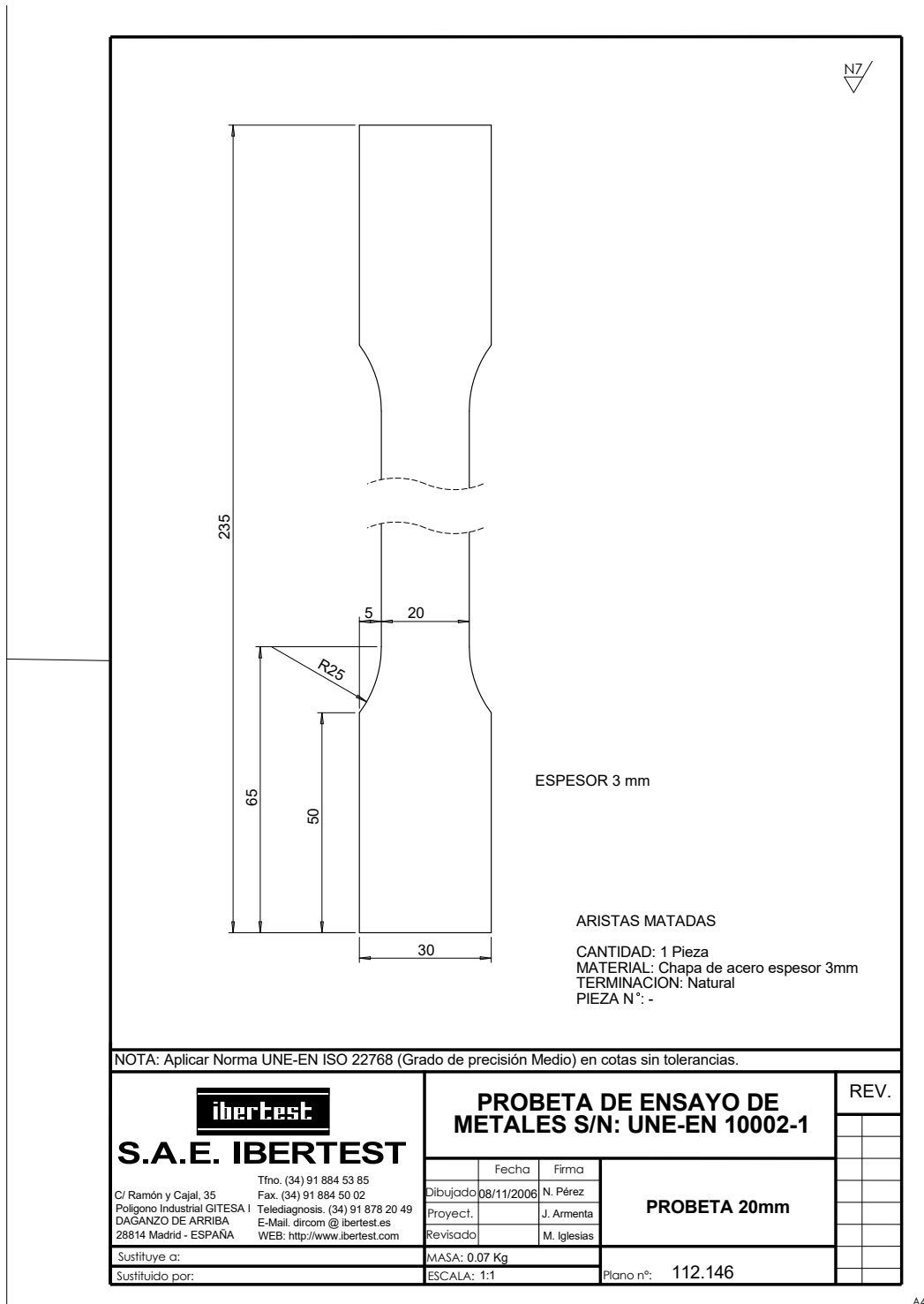
*Figura 10. Estimación inicial con IRB120*

En la figura 10 se puede observar la primera estimación realizada a la hora de escoger la distribución y el brazo robótico más adecuados para esta plataforma. En la imagen se aprecian dos tetraedros, los cuales son ambos de las mismas dimensiones. Estos tetraedros tienen las dimensiones de la mesa sobre la que se apoya el durómetro automático. El robot está estirado al máximo en la posición que se observa en la figura y se ve a simple vista que este robot, debido a su tamaño, va a ser incapaz de llegar a todos los puntos de interés del entorno. De hecho, no hizo falta ni generar el entorno entero, dado que simplemente con un observar que el robot sería incapaz de llegar al durómetro, se puede afirmar que es necesario buscar otra solución.

Tras varios intentos con brazos robóticos de mayor tamaño se llegó a la conclusión de que el IRB1410 era el más adecuado para la realización de esta tarea. El IRB1410 tiene el tamaño suficiente para alcanzar todos los puntos de interés de la plataforma sin ninguna complicación. Además, no es demasiado grande como para que tenga dificultades para llegar a puntos que se encuentran relativamente cerca.

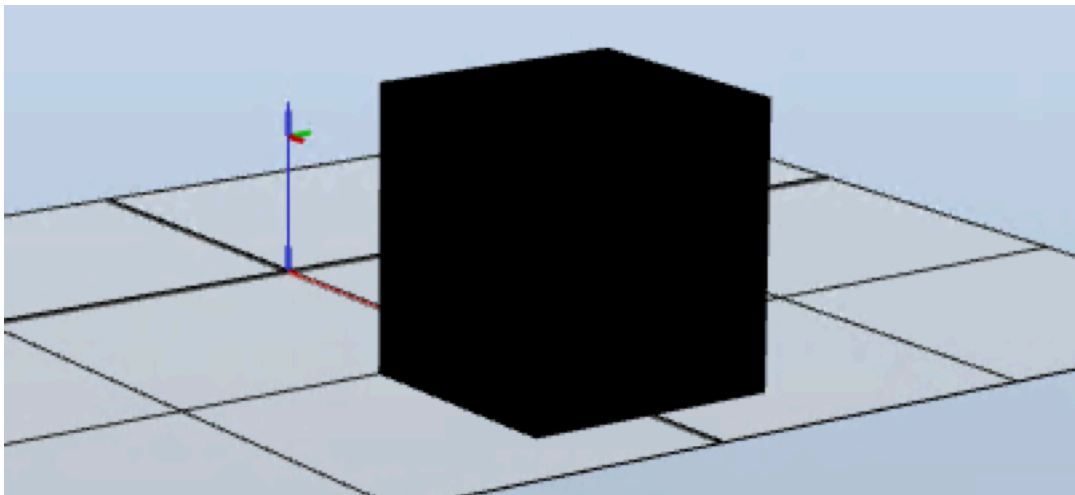
Una vez escogido el brazo robótico IRB1410 y la distribución de los elementos de la estación alrededor del brazo de forma circular, tan solo quedaban pendientes algunos detalles sobre donde se sitúa cada instrumento de medida. Era necesario escoger el orden deseado para la realización de los ensayos dentro de la estación, para colocar los instrumentos de medida de forma contigua para conseguir que realizar todos los ensayos de la estación de la manera más eficiente posible.

En primer lugar, se ha colocado una probeta metálica situada en el aire en el entorno de trabajo, simulando estar guardada en el almacén codificado de probetas. En la Figura 11 se adjunta un plano de la probeta a ensayar proporcionado por Ibertest. En RobotStudio esta probeta se ha generado como un tetraedro de 235x30x3 mm.



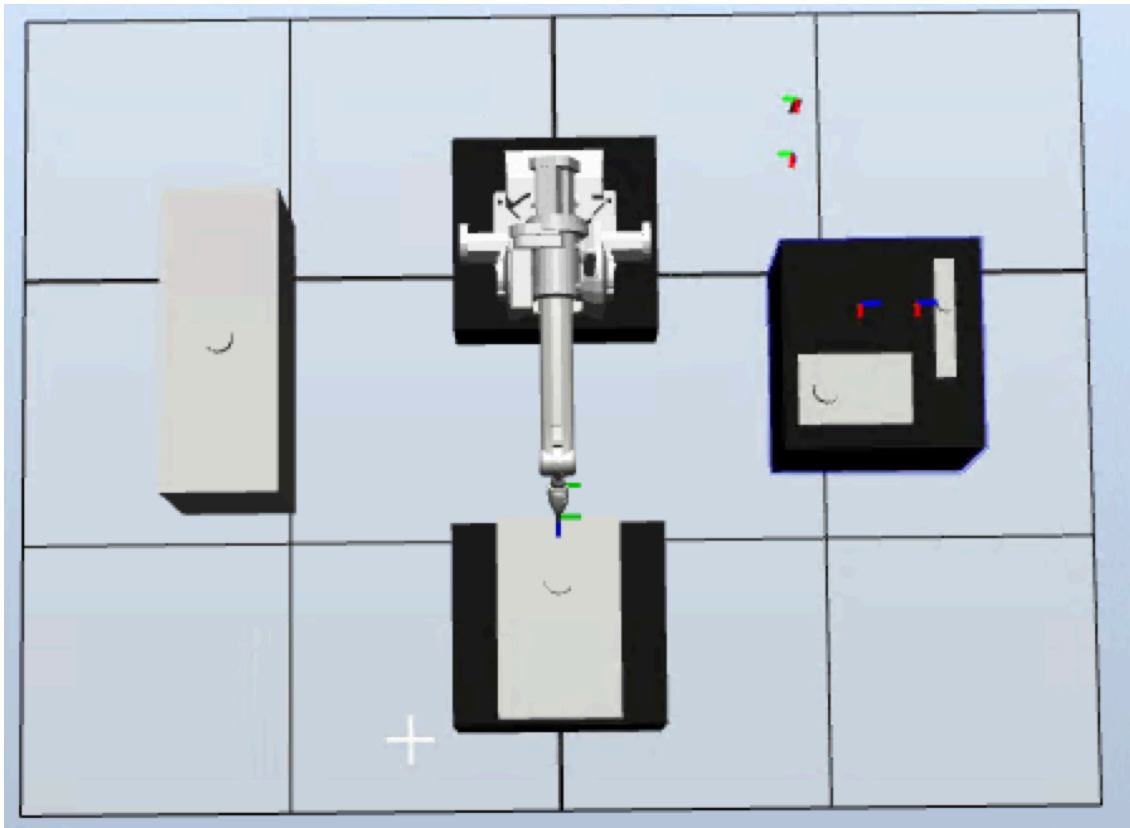
*Figura 11. Probeta de ensayo de metales*

Tras la probeta se han creado el sistema de medición láser y el rugosímetro de sobremesa, utilizando formas básicas de RobotStudio. Estos dos elementos de la estación comparten mesa, en concreto, la mesa de la Figura 5. Esta mesa se ha generado en RobotStudio con un tetraedro de 71x75x80 cm como se observa en la Figura 12.



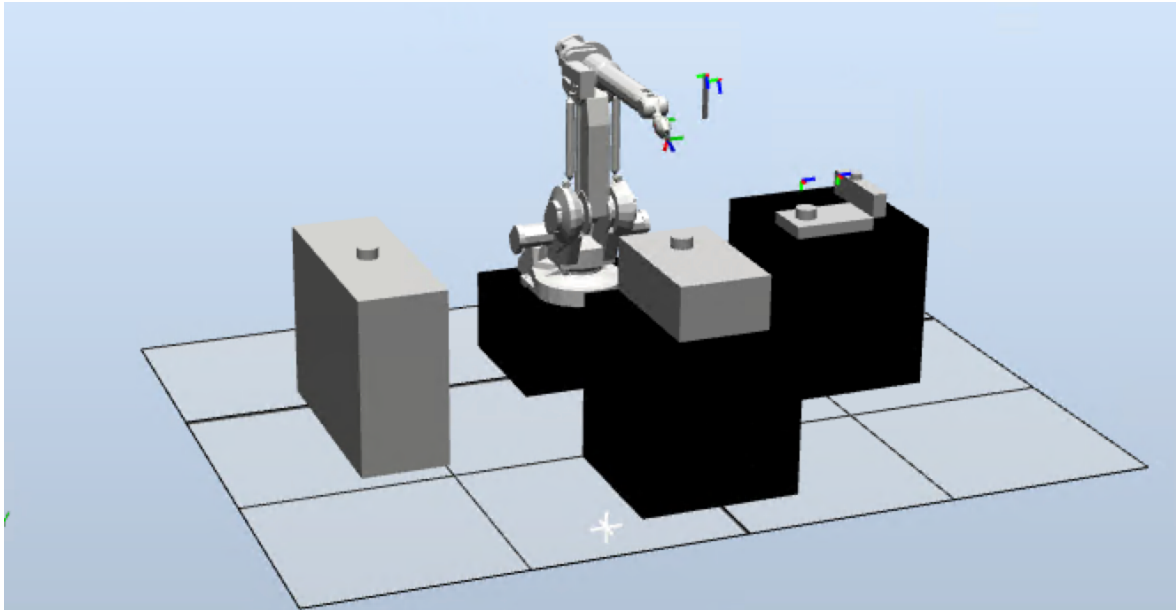
*Figura 12. Mesa rugosímetro y sistema de medición láser*

La siguiente estación de trabajo es el durómetro automático, el cual se ha colocado sobre una mesa igual que la de la Figura 12. La última estación de la plataforma se corresponde con la máquina de ensayos de tracción. Cabe mencionar que el brazo robótico se ha situado sobre una mesa con unas dimensiones de 71x75x40 cm.



*Figura 13. Entorno de trabajo (visto desde arriba)*

En la Figura 13 se muestra como queda el entorno de trabajo con todos los elementos colocados en su posición y vistos desde arriba. Tal y como se puede observar se han utilizado colores diferentes en los objetos según su función. Las tres mesas utilizadas son de color negro, mientras que todos los instrumentos de medida son de color gris claro. La probeta no se observa en esta figura, sin embargo si en la Figura 14 y tiene un color gris oscuro. Por último, tanto el brazo robótico como la pinza tienen los colores que propone RobotStudio, se trata en ambos casos de un color gris plateado. En la Figura 14 se observa el entorno de trabajo desde una vista diferente para que sea sencillo visualizar la estación.

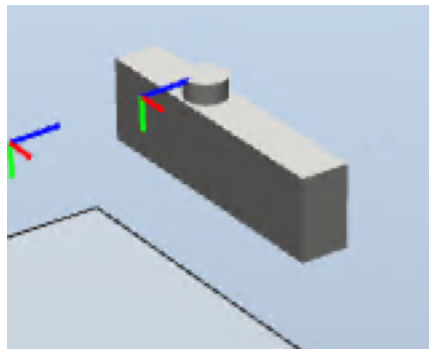


*Figura 14. Entorno de trabajo*

En los próximos subapartados se explica como se ha generado detalladamente cada uno de los instrumentos de medida, además se adjuntará una imagen del aspecto que tienen en RobotStudio.

### 5.2.1 SISTEMA DE MEDICIÓN LASER

El sistema de medición láser es el instrumento de medida encargado de conseguir el valor de la sección de la probeta, teniendo en cuenta tanto su ancho como su espesor. El aparato escogido para esta función es LSM-503, un micrómetro láser de la empresa Mitutoyo.



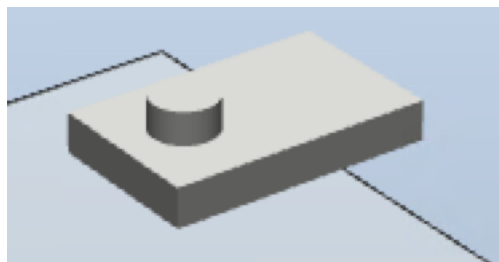
*Figura 15. Sistema de medición láser*

Para representar este elemento en RobotStudio se han utilizado dos formas simples, un tetraedro y un cilindro. El tetraedro tiene las dimensiones del cuerpo del instrumento, sin detalle. El cilindro hace referencia al lugar físico donde el brazo robótico deberá mantener la probeta metálica para que se realicen las medidas pertinentes sobre la misma. Todas las dimensiones del elemento se han extraído de una guía de micrómetros láser de la marca Mitutoyo, proporcionada por el contacto de Ibertest.

Se ha estimado un tiempo de trabajo del instrumento de cinco segundos, una vez que la probeta se encuentra situada en la posición adecuada y sostenida por la pinza del robot.

## 5.2.2 RUGOSÍMETRO

El rugosímetro es el instrumento de medida encargado de registrar el valor de la rugosidad superficial de la probeta a ensayar. Esta medida se lleva a cabo con un rugosímetro de sobremesa, de la marca Mitutoyo, en concreto el modelo SJ-411.



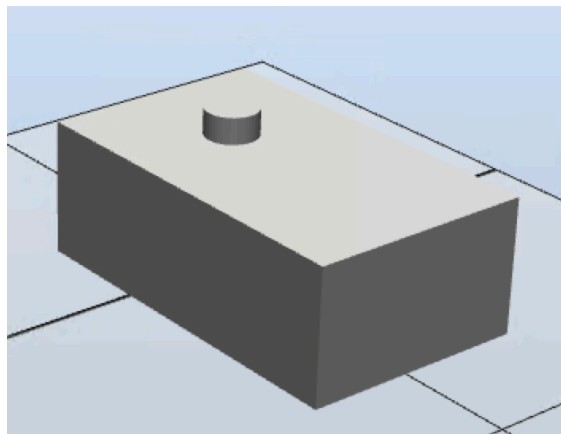
*Figura 16. Rugosímetro*

Para representar este elemento en RobotStudio se han utilizado dos formas simples, un tetraedro y un cilindro. El tetraedro hace referencia a la parte del soporte del rugosímetro, puesto que es donde se encuentra el punto donde se ha de tomar la medida. El cilindro hace referencia al lugar físico donde el brazo robótico deberá dejar la probeta metálica para que se realicen las medidas pertinentes sobre la misma. Todas las dimensiones del elemento se han extraído de una guía de rugosímetros de la marca Mitutoyo, proporcionada por el contacto de Ibertest.

Se ha estimado un tiempo de trabajo del instrumento de cinco segundos, una vez que la probeta se encuentra situada en la posición adecuada y el robot ha apartado sus eslabones de el área de trabajo del rugosímetro.

### 5.2.3 DURÓMETRO

El durómetro es el instrumento de medida encargado de registrar el valor de la dureza de la probeta a ensayar, mediante tres mediciones consecutivas en distintos puntos de la probeta. Esta medida se lleva a cabo con un durómetro automático, en concreto, el NEMESIS 5100. Los movimientos de la probeta en el durómetro para llevar a cabo las tres mediciones, los realiza el propio durómetro, con su sistema de coordenadas X-Y.



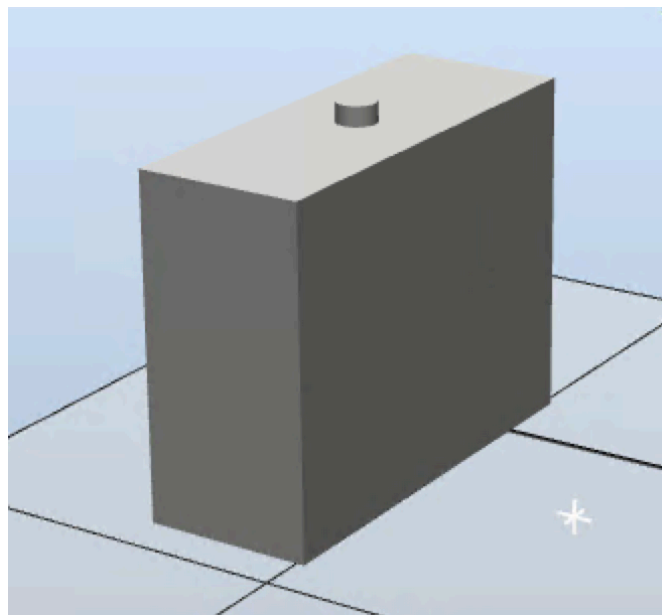
*Figura 17. Durómetro*

Para representar este elemento en RobotStudio se han utilizado dos formas simples, un tetraedro y un cilindro. El tetraedro muestra la parte inferior del durómetro, es decir, falta la parte que realiza la incisión sobre la probeta, lo cual es irrelevante a la hora de programar el brazo robótico. El cilindro hace referencia al lugar físico donde el brazo robótico deberá dejar la probeta metálica para que se realicen las medidas pertinentes sobre la misma. En este caso, el tiempo de trabajo estimado es también de cinco segundos, una vez el robot ha situado la probeta en el punto de trabajo y ha apartado su brazo del mismo.

#### 5.2.4 MÁQUINA DE ENSAYOS DE TRACCIÓN

Como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, el ensayo de tracción es la parte más importante de esta plataforma y es realizada por la máquina de ensayos de tracción. La máquina utilizada es EUROTTEST-300, de Ibertest. Esta máquina de ensayos necesita de dos accesorios para su correcto funcionamiento:

- Mordazas hidráulicas automáticas: necesarias para hacer el amarre de la probeta de forma automática.
- Extensómetro automático MFX-200: se trata de un extensómetro con sistema de pinzado automático, necesario para medir los alargamientos de la probeta durante los ensayos.



*Figura 18. Máquina de ensayos de tracción*

Como con todos los elementos anteriores y tal y como se puede observar en la Figura 18, para la generación de este elemento se han utilizado un tetraedro y un cilindro. El tetraedro del elemento representa el cuerpo de la máquina de ensayos hasta la altura de la mordaza inferior. El cilindro representa el punto donde se ha de situar la probeta metálica para que la máquina pueda realizar el ensayo, es decir, la mordaza automática inferior.

Una vez el brazo robótico ha situado la probeta en el cilindro que representa la mordaza inferior, este deberá retirarse y, se ha estimado una duración del ensayo de tracción de diez segundos, el doble que en el resto de estaciones.

### **5.3 PROGRAMACIÓN**

Una vez diseñado y generado el entorno de trabajo correspondiente a la plataforma automatizada es momento de atacar la parte de programación tanto de la pinza como del brazo robótico.

Este apartado incluye todos los aspectos relacionados con la apertura y el cierre de la pinza, la capacidad de la pinza de agarrar objetos y los movimientos del brazo robótico por los elementos de la plataforma.

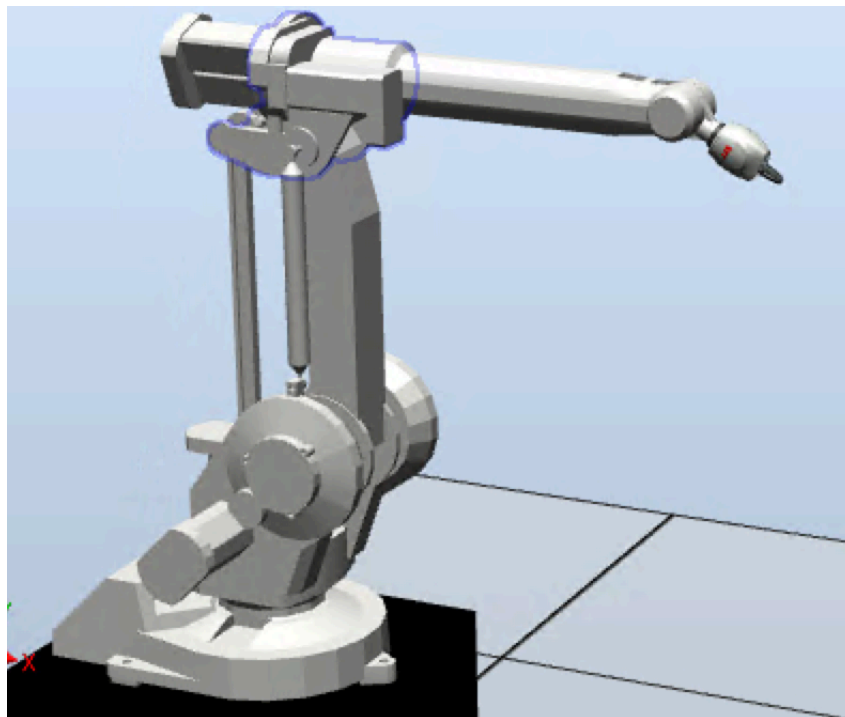
Esto supone la parte más importante y extensa del proyecto, dado que el fin último del mismo es conseguir que el brazo robótico sea capaz de mover la probeta de una estación a otra de la plataforma, para poder así realizar los ensayos sobre la probeta metálica.

Para conseguir programar en lenguaje RAPID ha sido necesario utilizar numerosos manuales y video tutoriales. En los próximos apartados se explican por separado la programación de la pinza eléctrica y del brazo robótico.

### 5.3.1 PINZA ELÉCTRICA

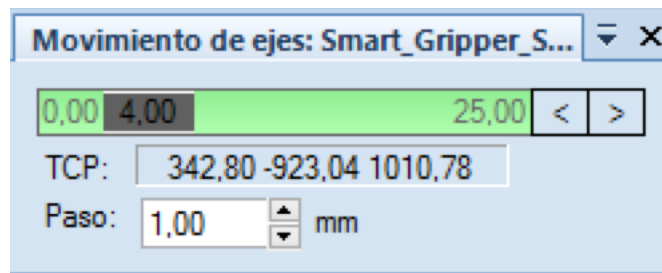
La pinza es la herramienta que se coloca en la brida del brazo robótico para darle al mismo la capacidad de coger y soltar objetos. En el caso del presente proyecto estos objetos son las probetas metálicas que se desean ensayar.

La pinza escogida pertenece a la biblioteca de equipamiento que ABB ofrece dentro de RobotStudio y tiene el nombre de ABB Smart Gripper Servo Fingers. Se trata de una pinza eléctrica que funciona con servo motores. En la Figura 19 se aprecia una imagen desde RobotStudio del aspecto que tiene la pinza colocada en la brida del IRB1410.



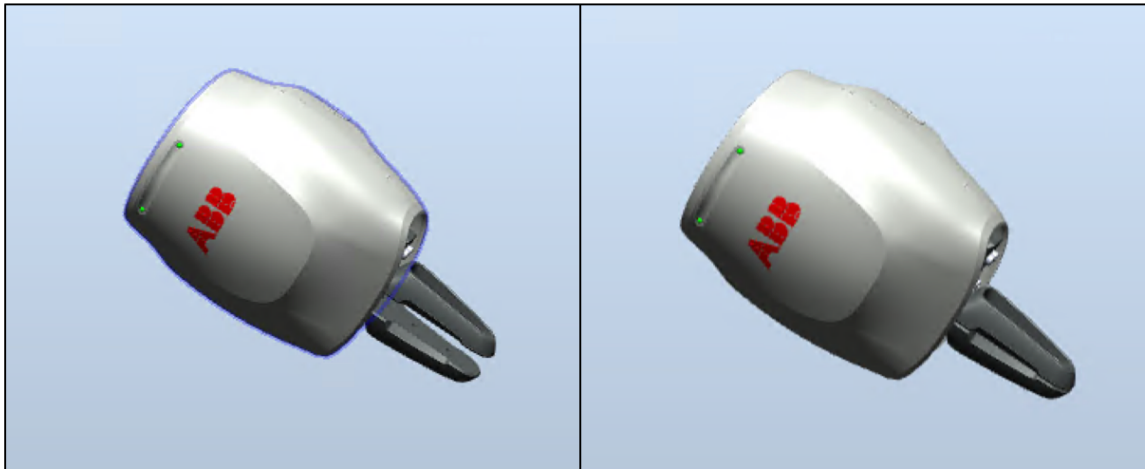
*Figura 19. ABB Smart Gripper Fingers conectado a IRB1410*

El ABB Smart Gripper Servo Fingers permite, al tratarse de una pinza eléctrica, a moverse por todas las posiciones a lo largo de su recorrido. Como se observa en la Figura 20, este mecanismo permite un movimiento desde 0 hasta 25 mm. En el caso que nos atañe los objetos que debe recoger la pinza son de pequeño tamaño y por lo tanto no se van a utilizar los rangos de movimiento más grandes que permite el mecanismo. En concreto, las probetas metálicas tienen un espesor de tan solo 3 mm, por lo que la apertura de la pinza variará desde 0 hasta 4 mm.



*Figura 20. Movimiento de ejes Smart Gripper Servo Fingers*

A la hora de apertura, cierre y recogida de objetos por parte de la pinza, el primer punto a considerar es la definición de las posiciones de abierto y cerrado de la pinza. En RobotStudio la posición de cerrado recibe el nombre de pose de sincronización y la de abierto recibe el nombre de pose inicial.



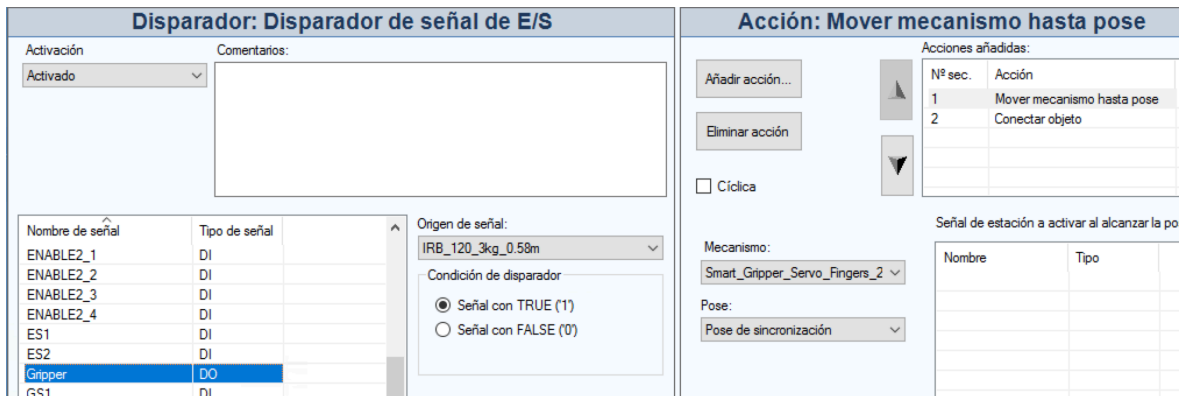
*Figura 21. Pose inicial y pose de sincronización*

En la Figura 21 se aprecian las dos posiciones de la pinza eléctrica. A la izquierda, la pose inicial, la cual se corresponde con la pinza abierta, dispuesta a recoger un objeto. A la derecha, la pose de sincronización, que se corresponde con la pinza cerrada. La posición de abierto tiene un valor de pose de 4 mm. En cambio, la posición de cerrado tiene un valor de pose de 0 mm. RobotStudio solo permite de forma directa cambiar el valor de la pose inicial (abierto), en cambio, si se desea cambiar el valor de la pose de sincronización (cerrado) es necesario en primer lugar desconectar el mecanismo de la biblioteca, realizar la modificación en el valor y posteriormente, conectar de nuevo el mecanismo a la biblioteca.

Una vez se han definido las posiciones de abierto y cerrado es momento de crear una nueva señal en el sistema de entradas y salidas del controlador virtual. Esta señal se define de tipo Digital Output, con el nombre de Gripper y con nivel de acceso total. Tras esto, es necesario reiniciar el controlador virtual para poder trabajar con esta nueva señal.

Con la nueva señal creada y lista para trabajar tras el completo reinicio del controlador virtual es necesario abrir el Gestor de Eventos en el panel de configuración de la pestaña de simulación. Desde el Gestor de Eventos se añaden dos nuevos eventos, uno para abrir y otro para cerrar la pinza, con dos funciones asociadas cada uno. La forma de crear cada uno de los dos nuevos eventos es la siguiente:

- Cerrar pinza y coger objeto: se escoge la señal Gripper y se impone como condición desencadenante que la señal sea verdadera, es decir, que tenga valor 1. La acción principal que se define es mover el mecanismo a posición, en este caso a la pose de sincronización. La acción secundaria es coger el objeto más cercano manteniendo fija la posición del objeto que se recoge.



The screenshot shows two panels for configuring an event:

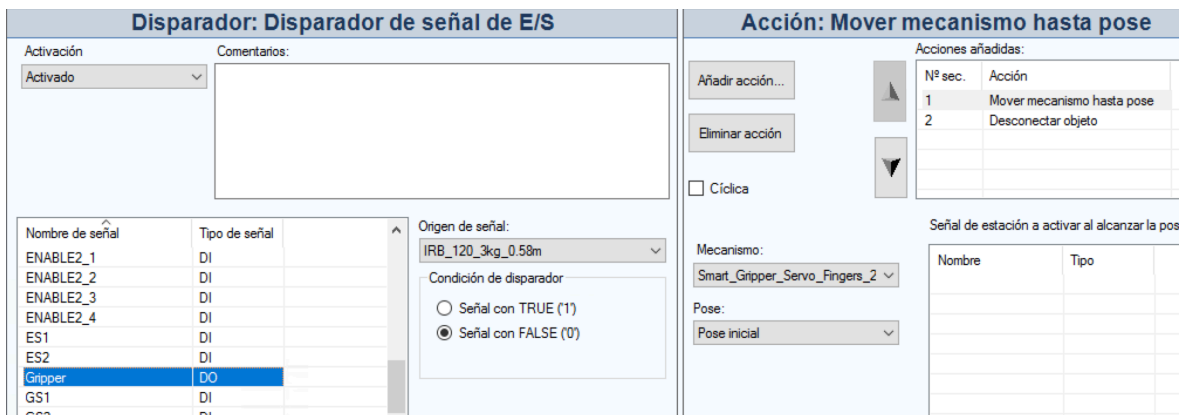
- Disparador: Disparador de señal de E/S**
  - Activación: Activado
  - Comentarios: (empty)
  - Lista de señales:

Nombre de señal	Tipo de señal
ENABLE2_1	DI
ENABLE2_2	DI
ENABLE2_3	DI
ENABLE2_4	DI
ES1	DI
ES2	DI
Gripper	DO
GS1	DI
  - Origen de señal: IRB\_120\_3kg\_0.58m
  - Condición de disparador:
    - Señal con TRUE ('1')
    - Señal con FALSE ('0')
- Acción: Mover mecanismo hasta pose**
  - Acciones añadidas:

Nº sec.	Acción
1	Mover mecanismo hasta pose
2	Conectar objeto
  - Cíclica
  - Mecanismo: Smart\_Gripper\_Servo\_Fingers\_2
  - Pose: Pose de sincronización
  - Señal de estación a activar al alcanzar la po: (empty table)

*Figura 22. Evento cerrar pinza y coger objeto*

- Abrir pinza y soltar objeto: se escoge la señal Gripper y se impone como condición desencadenante que la señal sea falsa, es decir, que tenga valor 0. La acción principal que se define es mover el mecanismo a posición, en este caso a la pose inicial. La acción secundaria es soltar el objeto que previamente se ha enganchado al mecanismo.



**Disparador: Disparador de señal de E/S**

Activación: Activado | Comentarios:

Nombre de señal	Tipo de señal
ENABLE2_1	DI
ENABLE2_2	DI
ENABLE2_3	DI
ENABLE2_4	DI
ES1	DI
ES2	DI
<b>Gripper</b>	<b>DO</b>
GS1	DI
GS2	DI

Origen de señal: IRB\_120\_3kg\_0.58m

Condición de disparador:

Señal con TRUE ('1')

Señal con FALSE ('0')

**Acción: Mover mecanismo hasta pose**

Añadir acción... | Eliminar acción

Cíclica

Nº sec.	Acción
1	Mover mecanismo hasta pose
2	Desconectar objeto

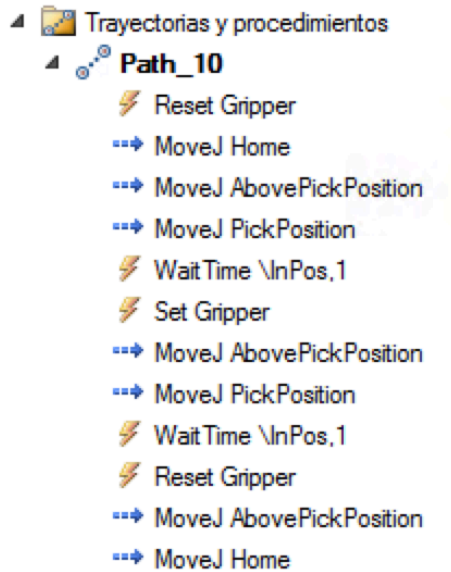
Mecanismo: Smart\_Gripper\_Servo\_Fingers\_2

Pose: Pose inicial

Nombre	Tipo

*Figura 23. Evento abrir pinza y soltar objeto*

Terminada la fase de creación de eventos solo es necesario entender como se utilizan las funciones que se han creado. Lo cierto es que estas funciones se emplean de forma muy sencilla. Se inserta desde la ventana de trayectorias la instrucción de acción que se desee usar. La instrucción para abrir la pinza y soltar el objeto que tenga enganchado tiene el nombre de Reset Gripper. La instrucción para cerrar la pinza y coger el objeto que se encuentre más cerca recibe el nombre de Set Gripper. Estas instrucciones se insertan directamente en la trayectoria deseada, junto con las instrucciones de movimiento y otras instrucciones de acción.



*Figura 24. Uso de Set/Reset Gripper*

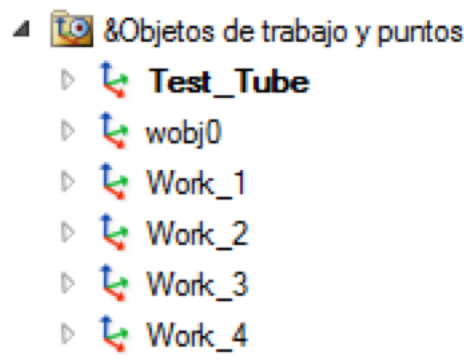
La Figura 24 representa un ejemplo de la manera de utilizar las instrucciones Set Gripper y Reset Gripper. Justo al inicio de la trayectoria suele ser interesante que la primera función que se utilice sea Reset Gripper para que el mecanismo suelte aquel elemento que tenga sujeto y deje la pinza abierta y preparada para coger el objeto deseado. Además, tal y como se observa en la Figura 24 a la hora de acercarse al mecanismo al punto de recogida se debe realizar primero una aproximación a un punto cercano al mismo y después avanzar hasta el punto de recogida. Esto se explica en detalle en el apartado de programación del brazo robótico.

### 5.3.2 PROGRAMACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO

La programación de los movimientos el brazo robótico es la parte central de este trabajo de fin de grado. Una vez se ha diseñado el entorno de trabajo y se ha logrado la programación de la pinza es el momento de entrar en la programación de las trayectorias que ha de seguir el brazo robótico.

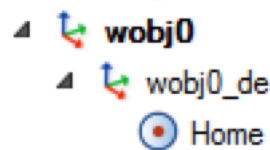
Como en todos los apartados anteriores, el software utilizado es RobotStudio y el lenguaje de programación que éste utiliza es el lenguaje RAPID. Para alcanzar un dominio de la herramienta y del lenguaje RAPID ha sido necesario acudir a manuales y a numerosos tutoriales. Los tutoriales más instructivos se han sacado de YouTube, de una batería de treinta tutoriales explicados por Juan Carlos Martín Castillo.

Antes de empezar a programar posiciones y trayectorias resulta interesante la definición de objetos de trabajo. Se ha creado un objeto de trabajo para cada instrumento de medida, los cuales reciben el nombre de Work\_x, y otro para la probeta metálica. La creación de objetos de trabajo ofrece la ventaja de que en caso de mover un elemento del entorno de trabajo, los puntos asociados a dicho objeto de trabajo se mueven a la par que el elemento que se mueve. En la Figura 25 se observa el nombre que se le ha dado a los objetos de trabajo, los cuales se explicarán uno a uno a continuación.



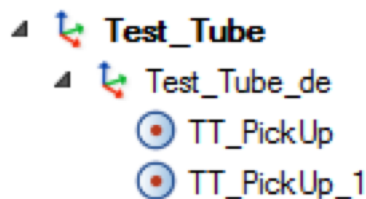
*Figura 25. Objetos de trabajo*

RobotStudio define de forma predeterminada un primer objeto de trabajo que recibe el nombre de wobj0. La única posición asociada a este objeto de trabajo es el punto Home, el cual se corresponde con la posición inicial del brazo robótico.



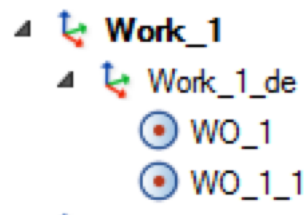
*Figura 26. Objeto de trabajo wobj0*

El primer objeto de trabajo es el que esta ligado a la probeta metálica. Este objeto de trabajo recibe el nombre de Test\_Tube y asociados al mismo se encuentran dos posiciones del brazo robótico. El punto TT\_PickUp es el punto de recogida de la probeta metálica, mientras que, el punto TT\_PickUp\_1 es un punto cercano al anterior. Esto se hace con todos los puntos de interés y es para conseguir una mayor precisión en el acercamiento a dicho punto.



*Figura 27. Objeto de trabajo Test\_Tube*

El objeto de trabajo Work\_1 es el que esta ligado al sistema de medición láser y asociado al mismo se encuentra dos posiciones del brazo robótico. El punto WO\_1 es la posición en la que el brazo robótico se ha de colocar para que se realice sobre la probeta la medición de la sección de la misma. El punto WO\_1\_1 es un punto cercano al anterior.



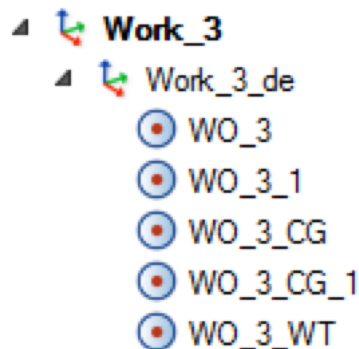
*Figura 28. Objeto de trabajo Work\_1*

El objeto de trabajo Work\_2 es el que esta ligado al rugosímetro de sobremesa y asociado al mismo se encuentran tres posiciones del brazo robótico. El punto WO\_2 es la posición en la que el brazo robótico ha de dejar la probeta para que se realice sobre la misma la medida de la rugosidad. El punto WO\_2\_1 es un punto cercano al anterior. El punto WO\_2\_WT es la posición en la que el brazo robótico completa el tiempo de espera mientras que se realiza el ensayo.



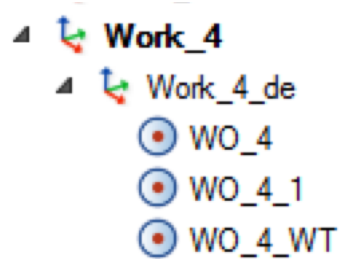
*Figura 29. Objeto de trabajo Work\_2*

El objeto de trabajo Work\_3 es el que esta ligado al durómetro automático y asociado al mismo se encuentran cinco posiciones del brazo robótico. El punto WO\_3 es la posición en la que el brazo robótico ha de dejar la probeta para que se realice sobre la misma el ensayo de dureza. El punto WO\_3\_1 es un punto cercano al anterior. El punto WO\_3\_CG es la posición en la que el brazo robótico se ha de colocar para recoger la probeta tras el ensayo, cambiando el punto de agarre en la misma. El cambio de agarre es debido a que la probeta se ha de agarrar de otro punto para poder realizar sobre ella más adelante el ensayo de tracción. El punto WO\_CG\_1 es un punto cercano al anterior. El punto WO\_3\_WT es la posición en la que el brazo robótico completa el tiempo de espera mientras que se realiza el ensayo.



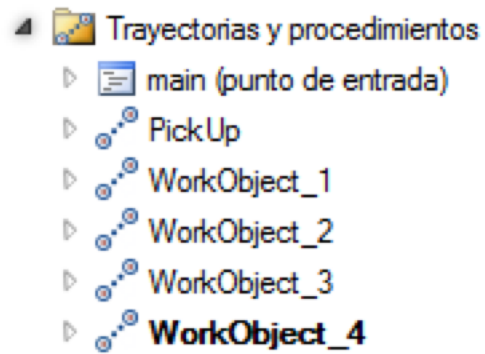
*Figura 30. Objeto de trabajo Work\_3*

El objeto de trabajo Work\_4 es el que está ligado a la máquina de ensayos de tracción y asociado al mismo se encuentran dos posiciones del brazo robótico. El punto WO\_4 es la posición en la que el brazo robótico ha de dejar la probeta para que se realice sobre la misma el ensayo de tracción. el punto WO\_4\_1 es un punto cercano al anterior. El punto WO\_4\_WT es la posición en la que el brazo robótico completa el tiempo de espera mientras que se realiza el ensayo.



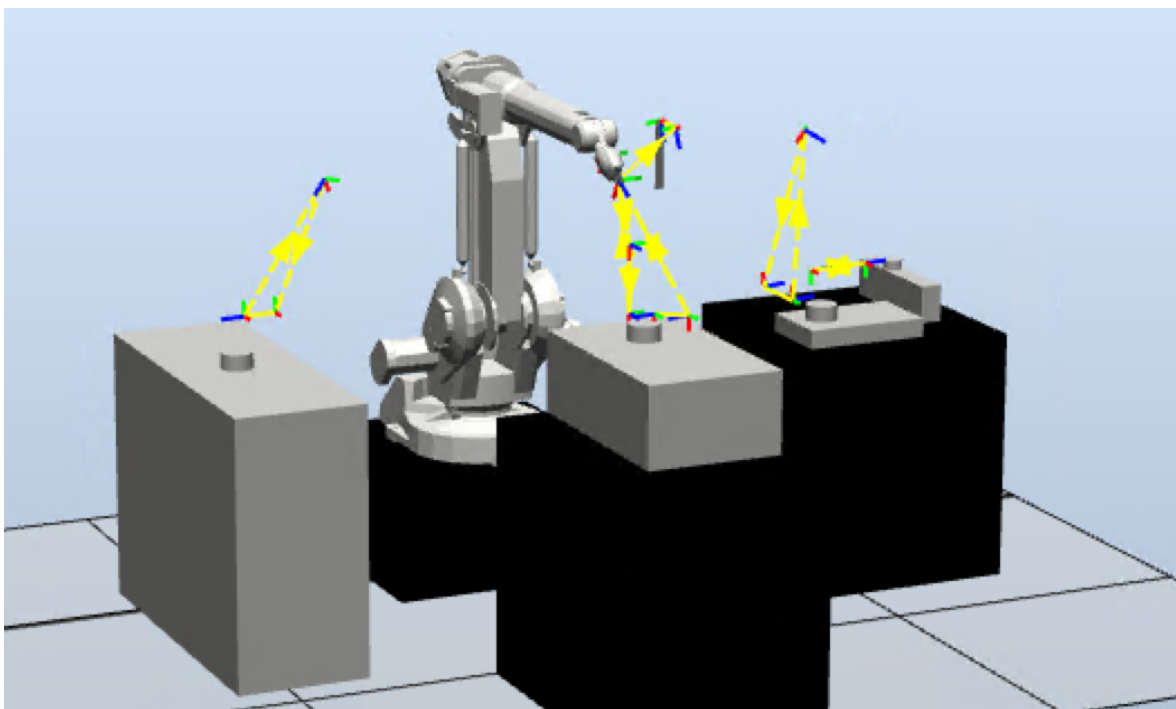
*Figura 31. Objeto de trabajo Work\_4*

Una vez se han creado los objetos de trabajo y se han programado todas las posiciones del brazo robótico es el momento de comenzar con la programación de las trayectorias. Se ha empleado un método de programación por bloques y el código RAPID se encuentra en el Anexo II. El código tiene aspecto modular, encontrándose en primer lugar la definición de las posiciones del brazo robótico en forma de constantes. Tras la definición de posiciones, aparece el main, que es el módulo en el que se incluyen el resto de sub módulos. Los sub módulos son las trayectorias dentro de cada objeto de trabajo. Tal y como se observa en la Figura 32, dentro del apartado de trayectorias se encuentran el main y el resto de trayectorias correspondientes a los de objetos de trabajo.



*Figura 32. Trayectorias*

En la Figura 33 se observa la plataforma automatizada en RobotStudio con las trayectorias de cada objeto de trabajo en amarillo.



*Figura 33. Entorno de trabajo con trayectorias*

A la hora de programar en RAPID los movimientos del brazo robótico con el fin de automatizar la plataforma se han empleado fundamentalmente dos tipos de instrucciones: instrucciones de movimiento e instrucciones de acción.

Las instrucciones de movimiento, como su nombre indica, son las relacionadas con el movimiento del brazo robótico de una posición a otra del entorno de trabajo. A la hora de realizar una instrucción de movimiento hay que tener en cuenta tres factores:

- Tipo de movimiento: RobotStudio distingue entre MoveJ y MoveL. Si a la hora de programar una trayectoria se emplea MoveJ, el propio programa decidirá cual es el mejor camino para llegar de un punto a otro. En caso de emplear MoveL, el movimiento que realiza el brazo robótico es de tipo lineal. En el caso del presente proyecto, se ha utilizado MoveJ para mover el brazo hasta un punto cercano a los puntos de interés y, para mover el brazo desde dicho punto cercano hasta el verdadero punto de interés, se ha empleado MoveL. Esto es para conseguir la máxima precisión posible a la hora de acercar el brazo robótico a los puntos de interés.
- Tipo de ajuste: el ajuste se refiere a la precisión del brazo a la hora de acercarse a un punto. Durante todo el programa se utiliza el ajuste fino (fine), el cual es el más preciso que ofrece RobotStudio.
- Velocidad de movimiento: es necesario escoger la velocidad de movimiento que se desea para el brazo robótico. Todos los movimiento del programa utilizan una velocidad de movimiento de 1000 mm/s.

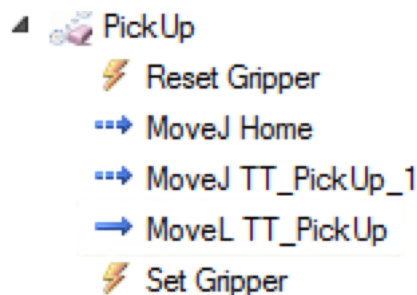
Las instrucciones de acción son las relacionadas con el resto de aspectos que no son el movimiento del brazo robótico. Durante este proyecto se utilizan tres:

- **Set Gripper:** es la instrucción utilizada para cerrar la pinza eléctrica y coger un objeto. Esta instrucción se encuentra explicada con detalle en el apartado anterior (Pinza eléctrica).
- **Reset Gripper:** es la instrucción utilizada para abrir la pinza eléctrica y soltar el objeto que tenga agarrado. Esta instrucción se encuentra explicada con detalle en el apartado anterior (Pinza eléctrica).
- **WaitTime:** para simular los ensayos realizados por los instrumentos de medida es necesario realizar paradas de brazo robótico en ciertos puntos, esto se hace con la instrucción WaitTime seguida del tiempo en segundos que se desea dure la espera.

Tras la definición de los tipos de instrucciones utilizadas durante la programación del brazo robótico resulta interesante definir que instrucciones se utilizan para cada trayectoria, según objeto de trabajo.

La primera trayectoria es la que se refiere a la recogida de la probeta metálica. Al ser el punto de entrada del programa se utiliza Reset Gripper al empezar para que la pinza quede abierta y sin ningún objeto enganchado, lista para recoger lo que se necesite. Tras la apertura de la pinza se coloca el brazo robótico en la posición inicial (Home) y desde ahí se realiza un movimiento de eje (MoveJ) hasta un punto cercano al de recogida. Tras este movimiento se utiliza un movimiento lineal (MoveL) para llegar al punto de recogida de la probeta metálica. Una vez el brazo robótico se encuentra situado en el punto de recogida se utiliza la función Set Gripper para que la pinza se cierre y agarre la probeta metálica.

El agarre de la probeta se realiza en uno de los extremos, esto es debido a que todos los ensayos, menos el de tracción, que se realiza al final, requieren que la probeta esté agarrada por uno de sus extremos. En el momento de realizar el ensayo de tracción se realizará un cambio de agarre, el cual se explicará más adelante.



*Figura 34. Trayectoria PickUp*

Tras la recogida de la probeta metálica llega el momento de realizar la primera medida sobre la misma. La primera estación que se encuentra, que recibe el nombre de WorkObject\_1, se corresponde con el sistema de medición láser. Se realiza un movimiento de eje hasta un punto cercano al área de medida del aparato. Tras esto se procede con un movimiento lineal hasta la zona de medida del micrómetro. Con la probeta sujeta por el brazo robótico en ese punto, se emplea una WaitTime de cinco segundos, simulando el tiempo que tarde el aparato en realizar las medidas. Una vez el ensayo ha terminado, se hace un movimiento de eje hasta el punto cercano al área de medida.

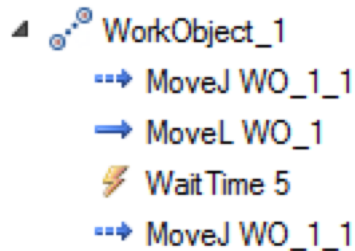


Figura 35. Trayectoria WorkObject\_1

La segunda estación de la plataforma automatizada, que recibe el nombre de WorkObject\_2, se corresponde con el rugosímetro de sobremesa, el cual comparte mesa con el sistema de medición láser. Se realiza un movimiento de eje seguido de una lineal para alcanzar el punto de interés del rugosímetro. Mediante la instrucción Reset Gripper se suelta la probeta metálica en dicho punto y se realiza un movimiento eje hasta el punto de espera de esta estación. Tras una espera de cinco segundos, el brazo robótico vuelve al punto de interés y recoge la probeta metálica. Se realiza un movimiento de eje hasta el WO\_2\_WT.

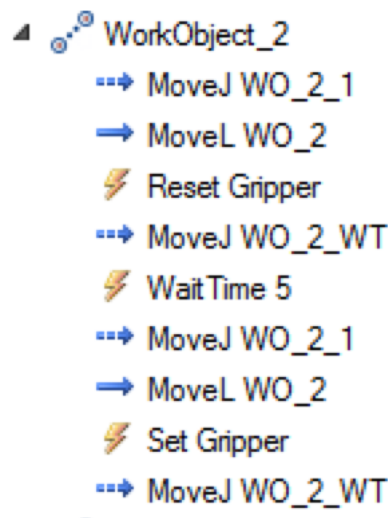
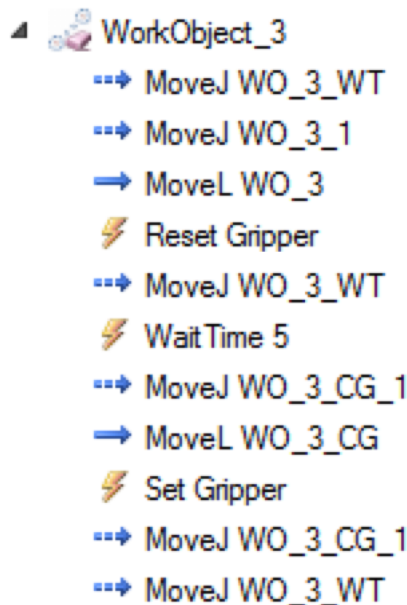


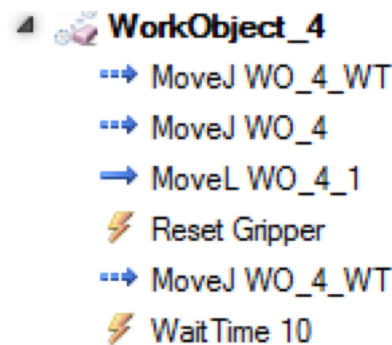
Figura 36. Trayectoria WorkObject\_2

La tercera estación del entorno de trabajo, que recibe el nombre de WorkObject\_3, se corresponde con el durómetro automático. Se realiza un movimiento de eje hasta el punto de espera del durómetro para posteriormente realizar un movimiento combinado de eje y lineal para alcanzar el punto de interés del aparato. Se suelta la probeta metálica, se vuelve a colocar el brazo en la posición de espera y se esperan cinco segundos. Una vez se ha terminado el ensayo (5 segundos) se combinan un movimiento eje con uno lineal para recoger la probeta metálica. La recogida de la probeta no se realiza en el mismo punto en el que se suelta. La recogida de la probeta es de tal manera que esta termina enganchada a la pinza por su centro, lista para realizar sobre la misma el ensayo de tracción.



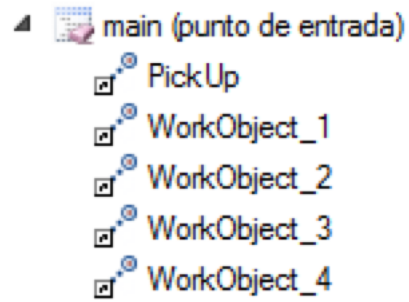
*Figura 37. Trayectoria WorkObject\_3*

La última estación del entorno de trabajo, que recibe el nombre de `WorkObject_4`, se corresponde la máquina de ensayos de tracción. Se realiza un movimiento de eje hasta el punto de espera `WO_4_WT` para posteriormente realizar un movimiento combinado de eje y lineal para alcanzar el punto de interés del aparato. Se deja la probeta en el punto de interés de la máquina, que se corresponde con la mordaza inferior de la misma. Se coloca el brazo de nuevo en el punto de espera y se realiza un `WaitTime` de diez segundos, tiempo que tarda el ensayo de tracción en realizarse.



*Figura 38. Trayectoria WorkObject\_4*

Todas las trayectorias, las cuales se han creado por separado unas de otras, se juntan en el main del programa. El main consiste en el punto de entrada del programa y se basa en llamadas a las otras trayectorias, esto se observa en la Figura 39.



*Figura 39. main (punto de entrada)*

En el próximo capítulo, Análisis de Resultados, se explica cuales han sido los resultados obtenidos y el nivel de satisfacción con los mismos. Tras el análisis resultados, en el capítulo 8, se realiza un análisis económico, el cual tiene en cuenta los costes de todos los elementos de la estación. De esta forma se puede analizar la viabilidad y rentabilidad del proyecto de implantar una plataforma automatizada de ensayos de tracción y dureza.



## **Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Este capítulo consiste en un análisis crítico de los resultados más relevantes del proyecto con el fin de dar a conocer el nivel de satisfacción con los mismos. De forma general cabe destacar que los resultados del proyecto son satisfactorios, ya que, se ha logrado el cumplimiento de todos los objetivos dentro del alcance establecido.

El objetivo central del proyecto consistía en realizar una plataforma robotizada de ensayos de tracción de materiales metálicos, capaz de realizar de forma automática las funciones expuestas en el apartado de Objetivos.

Se pueden distinguir tres partes diferenciadas a la hora de analizar los resultados obtenidos en el proyecto: entorno de trabajo, pinza eléctrica y la parte de la programación de los movimientos del brazo robótico IRB1410.

En el enlace que se encuentra bajo este párrafo, se puede observar una grabación del trabajo del brazo robótico, la cual se ha subido a YouTube. Al haberlo subido a esta plataforma, se ha perdido bastante calidad en el vídeo. En caso de que el lector tuviera interés en ver el funcionamiento del brazo con mayor calidad, contacte vía correo electrónico a la dirección [201603646@alu.comillas.edu](mailto:201603646@alu.comillas.edu) .

<https://youtu.be/kEfyQJ0XCW0>

## **6.1 ENTORNO DE TRABAJO**

El entorno de trabajo generado en RobotStudio simula de forma satisfactoria los elementos de la plataforma robotizada de ensayos que ha diseñado. La forma de colocar los elementos en el entorno de trabajo permiten que el brazo robótico tenga acceso a todos los puntos de interés de la plataforma con el menor rango de movimiento posible. De esta forma, se minimizan tanto el tiempo como el espacio necesarios para el funcionamiento de la plataforma.

Un aspecto a criticar del entorno de trabajo generado es el bajo nivel de detalle en las formas de los elementos, sin embargo, esto se encuentra fuera del alcance del trabajo.

## **6.2 PINZA ELÉCTRICA**

Se hace especial hincapié en este punto durante la parte de programación y ahora en el análisis de los resultados debido al interés del director del proyecto en utilizar esta herramienta en los próximos años.

Se ha logrado que la pinza eléctrica que ofrece ABB dentro de su biblioteca, el ABB Smart Gripper Servo Fingers, abra y cierre sus pinzas. Pero la parte interesante, no es la apertura y el cierre de las pinzas, sino, las acciones asociadas a cada uno de estos hechos.

Cuando se abren los dedos de la pinza, esta suelta aquel objeto que tenga enganchado, y, cuando se cierran, la pinza agarra aquel objeto que se encuentre más cercano a la misma. En el caso del proyecto, el objeto que recoge la pinza, es siempre la probeta metálica sobre la que se desean realizar los ensayos.

### **6.3 TRABAJO DEL BRAZO ROBÓTICO**

El brazo robótico se mueve de la forma deseada a lo largo de las trayectorias y posiciones programadas en el lenguaje RAPID. Una vez el brazo recoge la probeta mediante la pinza, va haciendo que esta pase por todas las estaciones. Se realiza un cambio de agarre de la probeta tras la realización del ensayo de dureza, para que se puede realizar el ensayo de tracción.

En ningún momento de la trayectoria el brazo robótico atraviesa ninguna posición singular. El término de posición singular se refiere a puntos en los que uno o varios de los ejes de movimiento del brazo del robot no permiten alcanzar dichos puntos.



## Capítulo 7. ANÁLISIS ECONÓMICO

Tras haber diseñado la plataforma robótica con toda la parte de programación que esto conlleva, resulta interesante llevar a cabo un análisis económico. Este capítulo está enfocado en analizar el coste de todos los elementos que forman parte de la plataforma, con el fin de que la empresa interesada en instalar el sistema automatizado decida si le parece rentable o no.

<b>COSTES COMPONENTES SISTEMA DE ENSAYO ROBOTIZADO</b>			
<b>DENOMINACION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTE UD</b>	<b>SUBTOTAL</b>
Máquina de ensayos IBERTEST Mod. EUROTEST-300	1	38.365,00 €	38.365,00 €
Mordazas Hidraulicas Automaticas para anterior	1	29.295,00 €	29.295,00 €
Extensometro Automatico MFX-200	1	18.770,00 €	18.770,00 €
Micrometro Laser Scan Unidad de medicion LSM-503 REF.544-536, c/software y modulo de exportacion de datos	1	12.000,00 €	12.000,00 €
Rugosimetro SJ-411 Ref.178-580-01D c/software y modulo de exportacion de datos	1	22.000,00 €	22.000,00 €
Durometro automatico c/ Software y modulo de exportacion de datos para realizar medidas de dureza Vickers HV1, HV2, HV10, HV20 y HV30	1	45.000,00 €	45.000,00 €
Robot	1		20.000,00 €
Sistema de pinzado**	1	3.600,00 €	3.600,00 €
<b>TOTAL COSTES</b>			<b>189.030,00 €</b>

*Tabla 1. Resumen de costes*

En la Tabla 1 se puede observar un resumen de los costes de los elementos de la plataforma. La tabla consta de cuatro columnas, la primera, denominación, se refiere al nombre del elemento en cuestión. La segunda columna, cantidad, indica el número de veces que encontramos dicho elemento en la plataforma. En el caso que nos atañe, solo hay un elemento de cada tipo. La tercera columna y cuarta columna coinciden debido a que una se refiere al coste unitario de cada elemento y la otra se refiere al precio de todas las unidades que haya del mismo elemento.

## ***7.1 MÁQUINA DE ENSAYOS DE TRACCIÓN***

Los tres primeros elementos que encontramos en la Tabla 1 forman parte de la máquina de ensayos de tracción. A simple vista, se observa que la máquina de ensayos de tracción junto con los accesorios es el elemento de trabajo más costoso de la estación.

La máquina de ensayos IBERTEST Mod. EUROTTEST-300 se refiere al coste de la zona de ensayos c/ ordenador de control y sin accesorios. Para que esta máquina puede realizar los ensayos son necesarios, al menos, dos accesorios:

- Mordazas hidráulicas automáticas: son las mordazas necesarias para hacer el amarre de la probeta de forma automática.
- Extensómetro automático MFX-200: se trata de un extensómetro con sistema de pinzado automático, necesario para medir los alargamientos de la probeta durante los ensayos.

El coste total de la máquina junto con los dos accesorios es de 86.430 €.

## 7.2 SISTEMA DE MEDICIÓN LÁSER

El sistema de medición láser de la plataforma es la unidad de medición LSM-503 REF. 544-536, c/ software y módulo de exportación de datos.

Código de artículo	Nombre del producto	Cantidad	
MIT-544-536	LSM-503 REF. 544-536. Micrómetro Laser Scan Unidad de medici	1	5.407,19 €
MIT-544-047	VISUALIZADOR LSM-5200 REF. 544-047	1	2.425,79 €
MIT-02AGD130	JGO.PATRONES CALIBRACION LSM503 REF. 02AGD130	1	570,48 €
MIT-02AGD490	MESA AJUSTABLE PARA LSM-503 REF. 02AGD490	1	2.778,01 €
MIT-02AGD450	BLOQUE EN "V" AJUSTABLE PARA LSM REF. 02AGD450	1	818,52 €
		<b>TOTAL</b>	<b>12.000,00 €</b>

*Tabla 2. Costes desglosados medidor de probetas Laser Scan*

En la Tabla 2 se observan los costes desglosados del sistema de medición láser. Al igual que la máquina de ensayos de tracción, son necesarios una serie de accesorios para el correcto funcionamiento del aparato.

En el sistema de medición láser son necesarios por un lado el propio aparato de medida, un visualizador, un juego de patrones de calibración del elemento, una mesa ajustable para el mismo y un bloque en "V" ajustable.

El coste total del instrumento de medida es de 12.000 €.

### 7.3 RUGOSÍMETRO AUTOMÁTICO

Para obtener la medida de la rugosidad de las probetas metálicas a ensayar se ha utilizado un rugosímetro de sobremesa, en concreto, el rugosímetro SJ-411 Ref. 187-580-01D c/ software y módulo de exportación de datos.

Código de artículo	Nombre del producto	Cantidad	
MIT-178-580-01D	RUGOSIMETRO SJ-411 REF.178-580-01D	1	9.567,18 €
MIT-178-039	SOPORTE BASE DE GRANITO REF.178-039	1	636,27 €
MIT-178-010	AUTOSET UNIT/SJ410, 178-010	1	2.744,67 €
MIT-12AAC731	PALPADOR STANDAR SJ401/SV DE 2 MICRAS 12AAC731	1	219,20 €
PRJ-ARMARIO/RUG-ROBT	ARMARIO DE CONTROL PARA COMUNICAR RUGO CON ROBOT	1	5.963,01 €
PRJ-MOD-EXP-DAT	MODULO DE EXPORTACION DE DATOS	1	2.350,86 €
SAT-VARIAS	Entrega de sistema y asesoramiento	1	518,81 €
<b>TOTAL</b>			<b>22.000,00 €</b>

Tabla 3. Costes desglosados rugosímetro automático

Los costes totales del instrumento de medida junto con sus accesorios se ven desglosados en la Tabla 3. Para su correcto funcionamiento, el rugosímetro automático requiere de un soporte base, un autaset, un palpador, un armario de control y un módulo de exportación de datos. Además de todos estos accesorios el proveedor cobra unos gastos de entrega del sistema y asesoramiento que suponen 518,81 €.

El rugosímetro de sobremesa junto con todos los accesorios y los gastos de gestión supone una inversión total de 22.000 €.

## **7.4 DURÓMETRO AUTOMÁTICO**

El instrumento de medida encargado de tomar la medida de la dureza es el durómetro automático c/ software y módulo de exportación de datos para realizar las medidas de dureza Vickers HV1, HV2, HV10, HV20 y HV30.

Dentro de los costes del durómetro se encuentran incluidos el durómetro en sí mismo, el software Avpak, un PC para controlar el durómetro y una tarjeta Form EIO External Software.

El coste total del durómetro automático junto con sus accesorios es de 45.000 €.

## **7.5 BRAZO ROBÓTICO**

El brazo robótico es la parte central del proyecto y supone una inversión elevada, en concreto, el brazo robótico que más se adecuaba a los requisitos del proyecto era el IRB1410. El brazo robótico ofrece ciclos de trabajo confiables y rápidos que aumentan en gran medida la productividad de la plataforma automatizada.

Para obtener un precio exacto del brazo robótico sería necesario preguntar al fabricante, que en el caso del brazo robótico escogido, es ABB. A través de búsqueda en la red, se ha realizado una aproximación del coste que supondría este brazo robótico. Este precio sería de unos 20.000€

La pinza eléctrica que se encuentra en la cabeza del brazo robótico tiene un coste aproximado de 3.600€.



## **Capítulo 8. TRABAJOS FUTUROS**

La importancia de este apartado reside en el hecho de que quedan algunos puntos importantes por desarrollar en profundidad en este trabajo, los cuales podrían formar parte de uno o varios proyectos en el futuro. Esto es debido al nivel de detalle con el que se puede diseñar esta plataforma automatizada, el cual, es demasiado amplio como para desarrollarlo en su máximo nivel en un trabajo realizado por una sola persona.

Los puntos más importantes a tocar son el diseño del almacén de probetas y el diseño detallado de los elementos de la plataforma. Estos dos puntos junto con la parte de programación que conllevan podrían conformar un trabajo en el futuro.

### ***8.1 DISEÑO DEL ALMACÉN DE PROBETAS***

Durante el presente proyecto no se diseña el almacén en el que se encuentran situadas las probetas metálicas a ensayar, simplemente, se coloca la probeta en el espacio de trabajo a la altura a la que se encontraría en el almacén.

El almacén de probetas supone un punto de interés importante en la plataforma, dado que, según como se desee diseñar supondrá una serie de cambios en la parte de programación en RobotStudio.

Aunque es cierto que no se ha diseñado el almacén durante el proyecto, si se ha llegado a una idea de el tipo de estructura más adecuada para este elemento. Tras una conversación con la persona contacto en la empresa Ibertest, se ha llegado a una conclusión sobre como diseñar el almacén.

A la hora de diseñar el almacén hay dos aspectos principales a tener en cuenta, la capacidad del mismo y la forma de colocar las probetas en su interior. Respecto a la capacidad del almacén se ha llegado a la conclusión de que una capacidad de unas cincuenta probetas sería adecuada para el correcto funcionamiento de la plataforma. Atendiendo la forma de colocar las probetas en el interior del almacén, en un primer momento, se optó por que la opción más adecuada se correspondía con un almacén con las probetas colocadas de forma horizontal en su interior. Esta opción es adecuada, pero sin embargo no es la más eficiente debido a que es interesante que el brazo robótico agarre las probetas desde uno de sus extremos para realizar los primeros tres ensayos.

Tras estudiar las posibles opciones, se obtuvo que la forma más eficiente de colocar las probetas en el almacén era de forma vertical y escalonada. Una opción para diseñar un almacén de estas características consistiría en una estructura de cinco escalones con diez espacios para probetas en cada escalón. Utilizando esta opción, tan solo sería necesario realizar un cambio de agarre de la probeta en todo su recorrido por la estación.

En caso de colocar las probetas de forma horizontal sería necesario disponer de un elemento extra, que consistiría en un soporte sobre el cual se realizar los cambios de agarre en la probeta. Además del inconveniente del elemento adicional en la estación hay que tener en cuenta que sería necesario realizar dos cambios de agarre en lugar de uno.

Además de estos dos aspectos, es necesario la forma en la que se va a identificar la probeta que se desea ensayar dentro del almacén. Una opción sería que estuvieran colocadas en el orden en el que se van a ensayar y de esta forma no sería necesario ningún tipo de identificación. Esta solución tiene el inconveniente de que no se podría cambiar el orden en el que se realizan los ensayos sobre las probetas. Para lidiar con esto, se podría colocar un código de barras en las probetas y un lector en la cabeza del brazo robótico.

## **8.2 DISEÑO DETALLADO DE LOS ELEMENTOS DE LA PLATAFORMA**

Este proyecto está centrado en la parte de programación de las trayectorias del brazo robótico y por lo tanto no se ha hecho especial hincapié en el diseño detallado de los elementos de la plataforma. De hecho, se han diseñado los elementos empleando formas simples como cilindros y tetraedros, esto está explicado en detalle en el apartado de diseño del entorno de trabajo.

El diseño detallado de los elementos de la plataforma supondría utilizar alguna herramienta de diseño externa al software de programación RobotStudio. Esto es debido a que RobotStudio no está preparado para diseñar elementos con gran detalle, por tanto, sería necesario emplear otra herramienta como por ejemplo Solid Edge.

Los elementos que se han de diseñar de forma detallada serían las mesas sobre las que se sitúan el brazo robótico y el resto de instrumentos de medida, el sistema de medición láser, el rugosímetro de sobremesa, el durómetro automático y la máquina de ensayos de tracción. Además de estos elementos, se podría diseñar con más detalle la probeta metálica sobre la que se realizan los ensayos.



## Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://new.abb.com/products/robotics/es/robotstudio>
- [2] Khamis, A.. “AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL – II”. Lenguaje RAPID. Mayo de 2006. [En línea]  
<http://personal.biada.org/~jhorriilo/INTRODUCCIO%20RAPID.pdf>
- [3] Rafael Íñigo Madrigal, “Robots Industriales Manipuladores”, Noviembre de 2002. [En línea].  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=zhG5Qhf2\\_LMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=robot+industrial&ots=i38LpXRyCI&sig=wcbg\\_Cfdw5XYkZ40ZBPeA6Ny2Xg&redir\\_esc=y#v=onepage&q=robot%20industrial&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=zhG5Qhf2_LMC&oi=fnd&pg=PA1&dq=robot+industrial&ots=i38LpXRyCI&sig=wcbg_Cfdw5XYkZ40ZBPeA6Ny2Xg&redir_esc=y#v=onepage&q=robot%20industrial&f=false)
- [4] ABB, “IRB 1410, datasheet, PDF”, Enero de 2019. [En línea].  
<https://library.e.abb.com/public/b4bc267971fb4212a0cb7e21db75990d/IRB-1410-PR10325EN%20-Rev.C.pdf?x-sign=hQE6bKo1zIZA9hPVIR+SIKktOUFLBoKHriX7U/tlTpV736Na+Mu3G6Uig1xwqBG2>
- [5] ABB, “IRB 1410, Product specification”, Octubre de 2018. [En línea].  
<https://library.e.abb.com/public/4da456a2f5c541b4b65eeecf99cdc15/3HAC026366%20PS%20IRB%201410-en.pdf?x-sign=oe9P3sc11mqZN54qULUKQY7b+L1HIJbD8s/pW9CyREdaf9WMPpQ1pgI5UndtRpEi>
- [6] INNOVATEST Europe BV, “NEMESIS 5100, Product Specification”.

- [7] GTM, “Rugosidad Superficial”. [En línea].  
<http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/10.pdf>
- [8] Sariki, “Rugosímetro”. [En línea].  
<https://www.sariki.es/equipos-de-medicion/estado-superficial-perfil-y-formas/rugosimetro/#f1-main-content>
- [9] Mitutoyo, “SURFTEST SJ-410 SERIES”, Bulletin No. 2196
- [10] Mitutoyo, “Laser Scan Micrometer Selection Guide”
- [11] “Objetivos de Desarrollo Sostenible”. [En Línea]  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [12] “Objetivo 8”. [En Línea]  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/economic-growth/>
- [13] “Objetivo 9”. [En Línea]  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>

## ANEXO I. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) consisten en 17 objetivos globales adoptados por todos los líderes globales en 2015 cuyo fin es erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos. Cada uno de estos 17 objetivos tiene unas metas definidas las cuales han de cumplirse durante los próximos 15 años.



Figura 40. Objetivos de Desarrollo Sostenible [11]

En la Figura 40, se pueden ver los 17 objetivos con su nombre, lo cual da una idea de a que ámbito se refiere cada uno.

El interés de este anexo reside en realizar una reflexión del nivel de alineamiento del proyecto con los ODS de Naciones Unidas. Resulta obvio pensar que el proyecto no puede estar directamente relacionado con los 17 objetivos y por ello se han escogido los dos que más en cuenta se han tenido a la hora de realizar el proyecto y que, por tanto, tienen más relación con el mismo. Los objetivos escogidos han sido el número 8, que consiste en trabajo decente y crecimiento económico; y el número 9, que se corresponde con industria, innovación e infraestructura.



*Figura 41. Objetivos 8 y 9 [11]*

Los objetivos 8 y 9 son los que más relación tienen con el presente proyecto ya que la automatización de procesos industriales está directamente relacionada con el crecimiento económico y con la innovación. A continuación se explica de que manera se encuentra alineado el proyecto con cada uno de estos puntos realizando una definición previa de los mismos. Cabe afirmar que la pandemia global conocida como COVID-19 ha influido directamente en todos los objetivos de desarrollo sostenible.

- **Objetivo 8:** el objetivo número 8 de desarrollo sostenible es el relacionado con el trabajo decente y el crecimiento económico. Para conseguir crear empleos decentes para todas las personas, mejorar los niveles de vida e impulsar el progreso resulta indispensable un crecimiento económico inclusivo y sostenido. La relación del proyecto con este objetivo reside en que al sustituir un operario por el brazo robótico se produce un crecimiento económico. Además, esto no implica la pérdida de puestos de trabajo debido a que, el operario que antes se encargaba de mover probetas ahora será el encargado de programar el robot o de arreglarlo. Esto supone un aumento en el nivel de satisfacción con el empleo, debido a que, el operario realiza tareas más sofisticadas que simplemente mover la probeta de una máquina de ensayos a la siguiente.
  
- **Objetivo 9:** el objetivo número 9 de desarrollo sostenible es el relacionado con la industria, la innovación y las infraestructuras. El continuo desarrollo de la industria es un hecho, pero el progreso ha de realizarse de una manera sostenible para permitir un uso eficiente de los recursos sin incurrir en su sobreexplotación. Numerosas empresas han aumentado además sus inversiones en investigación y desarrollo (I+D), ya que, aunque a corto plazo supongan un coste, dicho coste se verá cubierto por unos beneficios mucho mayores en el futuro. Este proyecto se centra en la parte de innovación de la industria, supone una mejora de la eficiencia en el trabajo. Para implantar una plataforma automatizada de las características de la del proyecto es necesario realizar una inversión inicial, pero supone un gran avance para la empresa que la decida implantar. Un brazo robótico, a la larga, permite trabajar de una forma mucho más rápida y eficaz que un operario.



## ANEXO II. CÓDIGO RAPID

### MODULE Module1

**CONST** robtarget  
Home:=[[1042.512260434,0,1095.4],[0.5,0,0.866025404,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

**CONST** robtarget TT\_PickUp\_1:=[[  
278.649840829,832.856149846,932.849240638],[0.068195002,-  
0.993262007,0.049877549,-0.079323749],[1,-1,-  
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

**CONST** robtarget TT\_PickUp:=[[  
395.391959736,832.856149846,932.849240638],[0.068195002,-  
0.993262007,0.049877549,-0.079323749],[1,-1,-  
1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

**CONST** robtarget  
WO\_1\_1:=[[255,1065.092622117,542.545827224],[0.715837706,-  
0.698266696,0,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

**CONST** robtarget WO\_1:=[[255,1265.030874039,547.515275741],[0.715837706,-  
0.698266696,0,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

**CONST** robtarget  
WO\_2\_1:=[[344.666441707,847.848981223,528.210842507],[0.519827644,-  
0.473283231,-0.478788487,-  
0.525874308],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

**CONST** robtarget  
WO\_2:=[[544.653067709,847.632659261,530.513585454],[0.519827644,-0.473283231,-  
0.478788487,-0.525874308],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

**CONST** robtarget  
WO\_2\_WT:=[[616.966258152,840.347519698,1095.3999905],[0.446067176,-  
0.391244487,0.772610989,0.225885116],[0,-  
1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

**CONST** robtarget  
 WO\_3\_WT:=[[1042.512260434,0,1095.4],[0.5,0,0.866025404,0],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,  
 9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

**CONST** robtarget  
 WO\_3\_1:=[[1120.462410374,0,917.214470358],[0.706346349,0,0.707866397,0],[0,0,0,0],  
 [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

**CONST** robtarget  
 WO\_3:=([[1120.01097941,0,707.214955572],[0.706346349,0,0.707866397,0],[0,0,0,0],[9E  
 +09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]]);

**CONST** robtarget  
 WO\_3\_CG\_1:=[[1204.159892348,155.951648357,705.733486156],[0.518372719,0.46813  
 1447,0.531118223,-0.479641642],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

**CONST** robtarget  
 WO\_3\_CG:=([[1216.902088728,35.689535391,724.552349765],[0.518372719,0.46813144  
 7,0.531118223,-0.479641642],[0,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]]);

**CONST** robtarget WO\_4\_WT:=[[681.254437403,-  
 789.128449037,1095.3999905],[0.454625397,0.360481998,0.787434262,-0.208124385],[-  
 1,-1,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]]];

**CONST** robtarget WO\_4:=[[342.8,-  
 821.837451774,613.401649993],[0.697877484,0.716217158,0,0],[-1,-2,-  
 2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]]];

**CONST** robtarget WO\_4\_1:=[[342.8,-  
 923.040579977,610.776161484],[0.697877484,0.716217158,0,0],[-1,-2,-  
 2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]]];

**PROC** main()

PickUp;  
 WorkObject\_1;  
 WorkObject\_2;  
 WorkObject\_3;  
 WorkObject\_4;

**ENDPROC**

**PROC** PickUp()

```
Reset Gripper;  
MoveJ Home,v1000,fine,Servo\WObj:=wobj0;  
MoveJ TT_PickUp_1,v1000,fine,Servo\WObj:=Test_Tube;  
MoveL TT_PickUp,v1000,fine,Servo\WObj:=Test_Tube;  
Set Gripper;
```

**ENDPROC**

**PROC** WorkObject\_1()

```
MoveJ WO_1_1,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_1;  
MoveL WO_1,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_1;  
WaitTime 5;  
MoveJ WO_1_1,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_1;
```

**ENDPROC**

**PROC** WorkObject\_2()

```
MoveJ WO_2_1,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_2;  
MoveL WO_2,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_2;  
Reset Gripper;  
MoveJ WO_2_WT,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_2;  
WaitTime 5;  
MoveJ WO_2_1,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_2;  
MoveL WO_2,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_2;  
Set Gripper;  
MoveJ WO_2_WT,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_2;
```

**ENDPROC**

**PROC** WorkObject\_3()

```
MoveJ WO_3_WT,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_3;  
MoveJ WO_3_1,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_3;  
MoveL WO_3,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_3;  
Reset Gripper;  
MoveJ WO_3_WT,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_3;  
WaitTime 5;  
MoveJ WO_3_CG_1,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_3;  
MoveL WO_3_CG,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_3;  
Set Gripper;  
MoveJ WO_3_CG_1,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_3;
```

```
MoveJ WO_3_WT,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_3;
```

```
ENDPROC
```

```
PROC WorkObject_4()
```

```
MoveJ WO_4_WT,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_4;
```

```
MoveJ WO_4,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_4;
```

```
MoveL WO_4_1,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_4;
```

```
Reset Gripper;
```

```
MoveJ WO_4_WT,v1000,fine,Servo\WObj:=Work_4;
```

```
WaitTime 10;
```

```
ENDPROC
```

```
ENDMODULE
```