



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE CLASIFICACIÓN DE ZANAHORIAS
EMPLEANDO UN ROBOT INDUSTRIAL Y VISIÓN ARTIFICIAL**

PROYECTO

TRABAJO FINAL DEL

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

REALIZADO POR

Laura Rodrigo Pérez

TUTORIZADO POR

Carlos Ricolfe Viala

CURSO ACADÉMICO: 2019/2020

Resumen

En el siguiente Trabajo Final de Grado se presenta el proyecto realizado para obtener un sistema automático de clasificación de zanahorias. La clasificación de las zanahorias se lleva a cabo empleando un brazo robótico y visión artificial. Las zanahorias se introducen y salen del sistema de clasificación mediante cintas transportadoras. Gracias al sistema de visión artificial se diferencian las zanahorias según su calibre y se clasifican con la ayuda de un robot industrial IRB 140 proporcionado por el promotor.

Palabras clave: Automática, Clasificación, Robótica, Visión artificial, Zanahoria

Abstract

The plan carried out to obtain an automatic carrot classification system is presented in the following Final Degree Project. Carrots are graded using a robotic arm and machine vision. Carrots are fed into and out of the grading system using conveyor belts. Thanks to the artificial vision system, carrots are differentiated according to their calibre and classified with the help of an IRB 140 industrial robot provided by the developer.

Key words: Automation, Sorting, Robotics, Machine vision, Carrot

Agradecimientos

Dar las gracias al profesorado del grado en Electrónica Industrial y Automática que me han aportado los conocimientos con los cuales he realizado este TFG. En concreto a Carlos, mi tutor, que me ha guiado en este proceso.

Agradecer a mis padres, por el apoyo recibido sin el cual no hubiera sido posible terminar este trabajo. Resaltar el punto de vista aportado por la experiencia de mi padre como ingeniero.

Por último, dar las gracias a mi novio por su paciencia y sus ánimos durante este periodo y agradecer a mis amigos y compañeros de clase que han estado a mi lado durante toda la carrera, echando una mano cuando hacía falta.

Proyecto

Contenido

Este proyecto consta de cuatro documentos que se desarrollan a continuación:

Documento 1: Memoria

Documento 2: Planos

Documento 3: Pliego de condiciones

Documento 4: Presupuestos



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

SISTEMA AUTOMÁTICO DE CLASIFICACIÓN DE ZANAHORIAS EMPLEANDO UN ROBOT INDUSTRIAL Y VISIÓN ARTIFICIAL

Documento 1: MEMORIA

TRABAJO FINAL DEL

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

REALIZADO POR

Laura Rodrigo Pérez

TUTORIZADO POR

Carlos Ricolfe Viala

CURSO ACADÉMICO: 2019/2020

Contenido

| | |
|--|----|
| 1.1. Objeto..... | 7 |
| 1.2. Antecedentes | 7 |
| 1.3. Factores a considerar | 8 |
| 1.3.1. Condiciones del encargo..... | 8 |
| 1.3.2. Normativa | 8 |
| 1.4. Planteamiento de soluciones alternativas..... | 10 |
| 1.4.1. Criterios de selección..... | 10 |
| 1.4.2. Soluciones alternativas y solución adoptada..... | 10 |
| 1.5. Descripción de la solución adoptada | 15 |
| 1.5.1. Cintas transportadoras..... | 16 |
| 1.5.1.1. Cinta principal..... | 16 |
| 1.5.1.2. Cintas calibres | 18 |
| 1.5.2. Visión artificial..... | 20 |
| 1.5.2.1. Cámara | 20 |
| 1.5.2.2. Programa inteligente | 21 |
| 1.5.3. Robot industrial..... | 22 |
| 1.5.3.1. Pinza | 22 |
| 1.5.3.2. Brazo robótico | 24 |
| 1.5.3.3. Controlador..... | 25 |
| 1.6. Justificación detallada de los elementos de la solución adoptada..... | 25 |
| 1.6.1. Simulación de la zanahoria en RobotStudio..... | 26 |
| 1.6.2. Simulación de las cintas transportadoras en RobotStudio..... | 28 |
| 1.6.3. Simulación del sensor de proximidad en RobotStudio..... | 30 |
| 1.6.4. Diseño pinza y su simulación en RobotStudio..... | 30 |
| 1.6.5. Distancia del sensor de la cámara a la cinta principal | 34 |
| 1.6.6. Calibración de la imagen en Sherlock para sincronizar con RobotStudio | 35 |
| 1.6.7. Procesado de la imagen en Sherlock..... | 42 |
| 1.6.8. Error en la detección de la posición, la orientación y el calibre de la zanahoria | 44 |
| 1.6.9. Comunicación entre Sherlock y el controlador | 47 |
| 1.6.10. Código de comunicación | 49 |
| 1.6.11. Capacidad del sistema..... | 50 |
| 1.7. Tiempo de desarrollo..... | 50 |
| 1.8. Estudio económico | 52 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Fig. 1. Calibradora diametral mecánica [1]. | 7 |
| Fig. 2. Símbolo: Apto para el contacto con los alimentos. | 9 |
| Fig. 3. Croquis vista lateral de las cintas transportadoras con compuertas programables. (a) Compuertas cerradas. (b) Compuertas abiertas. | 11 |
| Fig. 4. Croquis distribución de las cintas transportadoras y el robot industrial. | 11 |
| Fig. 5. Tipos de garra según sus grados de movilidad [19]. (a) Lineal → movilidad 1. (b) Plana → movilidad 2. (c) Esférica → movilidad 6. | 13 |
| Fig. 6. (a) Servo ABB con pinzas [22]. (b) Mecanismo del servo [23]. | 13 |
| Fig. 7. (a) Servo ABB [24]. (b) Croquis garras diseñadas. | 13 |
| Fig. 8. Cámara visión integrada ABB [26]. | 14 |
| Fig. 9. Transportador de rodillos [27]. | 15 |
| Fig. 10. Cinta transportadora plana [28]. | 15 |
| Fig. 11. Organigrama del proyecto. | 16 |
| Fig. 12. Ubicación cinta principal. | 16 |
| Fig. 13. (a) Entrada de la zanahoria al sistema. (b) Salida del sistema de la zanahoria de destrío. | 17 |
| Fig. 14. Sensor de proximidad. | 18 |
| Fig. 15. Ubicación cintas calibres. | 18 |
| Fig. 16. Brazo robótico trasladando la zanahoria a su cinta de calibre correspondiente. (a) Calibre 20-30. (b) Calibre 30-40. | 19 |
| Fig. 17. Salida de las zanahorias separadas por calibre. (a) Calibre 20-30. (b) Calibre 30-40. | 20 |
| Fig. 18. Ubicación cámara (vista planta). | 21 |
| Fig. 19. Imagen de una zanahoria tomada con la cámara. | 21 |
| Fig. 20. Mapeo de color en Sherlock. | 22 |
| Fig. 21. Pinza con garras abiertas. | 22 |
| Fig. 22. Pinza cerrada posición calibre 20-30 mm cogiendo una zanahoria de 30 mm. | 23 |
| Fig. 23. Pinza cerrada calibre 20-30. (a) Distancia mínima. (b) Distancia máxima. | 23 |
| Fig. 24. Pinza cerrada posición calibre 30-40 mm cogiendo una zanahoria de 30 mm. | 23 |
| Fig. 25. Pinza cerrada calibre 30-40. (a) Distancia mínima. (b) Distancia máxima. | 24 |
| Fig. 26. Robot sobre un pedestal. | 24 |
| Fig. 27. Ubicación del controlador. | 25 |
| Fig. 28. Simulación zanahoria. (a) Composición. (b) Medidas. | 26 |
| Fig. 29. Sensores de presencia finales + Posición absoluta inicial de la zanahoria. | 26 |
| Fig. 30. Lógica de estación. | 27 |

| | |
|---|----|
| Fig. 31. Activar señal Posicionador manualmente. (a) Señal activa → 1. (b) Señal desactivada → 0..... | 27 |
| Fig. 32. Lógica de estación. | 28 |
| Fig. 33. Componentes subordinados del componente inteligente Cinta Principal..... | 29 |
| Fig. 34. Dirección y sentido de las cintas funcionando hacia delante. | 29 |
| Fig. 35. Diseño del componente inteligente Cinta Principal..... | 29 |
| Fig. 36. Lógica de estación. | 30 |
| Fig. 37. Partes garra. | 31 |
| Fig. 38. Lógica de estación. | 32 |
| Fig. 39. Componentes subordinados del componente inteligente Pinza. | 32 |
| Fig. 40. Posiciones predefinidas del servo. | 32 |
| Fig. 41. Diseño del componente inteligente Pinza..... | 33 |
| Fig. 42. Rango de movimiento eje servo. (a) Posición predeterminada de sincronización [0,00]. (b) Posición predeterminada Pinza_Abierta [25,00]. | 34 |
| Fig. 43. Distancia mínima entre estructuras metálicas con la pinza abierta..... | 34 |
| Fig. 44. Patrón de calibración en RobotStudio + Equivalencia del origen de coordenadas en Sherlock..... | 36 |
| Fig. 45. Patrón de calibración. | 36 |
| Fig. 46. Coordenadas de los centroides de los círculos en RobotStudio..... | 37 |
| Fig. 47. Coordenadas de los centroides de los círculos en Sherlock..... | 37 |
| Fig. 48. Img_inicial_calibracion. | 39 |
| Fig. 49. Img_espacio_calibracion..... | 39 |
| Fig. 50. Img_mono_calibracion..... | 40 |
| Fig. 51. Variable Centroides..... | 40 |
| Fig. 52. Opciones Img_mono_calibración. | 40 |
| Fig. 53. Calibración por puntos. (a) Tabla de los puntos de calibración. (b) Gráfico de los puntos de calibración. | 41 |
| Fig. 54. (a) Variable Centroides con la imagen calibrada. (b) Coordenadas de los centroides de los círculos con la imagen calibrada..... | 41 |
| Fig. 55. Img_espacio_zanahoria. | 42 |
| Fig. 56. Img_zanahoria. | 43 |
| Fig. 57. Tonos seleccionados en el entrenamiento del color naranja. | 43 |
| Fig. 58. Resultados del Connectivity-Binary..... | 43 |
| Fig. 59. Valores de la posición, el ángulo y el calibre de la Fig. 55..... | 44 |
| Fig. 60. Calibre de la zanahoria medido con un pie de rey..... | 44 |
| Fig. 61. Zanahoria en ubicación conocida..... | 46 |
| Fig. 62. Error de orientación máximo. | 47 |

| | |
|--|----|
| Fig. 63. Ventana de configuración de Entradas/Salidas en Sherlock. | 47 |
| Fig. 64. Diagramas de flujo conexión inicial Sherlock-Controlador..... | 48 |
| Fig. 65. Ángulo zanahoria. | 49 |
| Fig. 66. Porcentajes del tiempo de desarrollo de los documentos del proyecto y la presentación..... | 51 |
| Fig. 67. Porcentajes del tiempo de desarrollo de las partes de la memoria..... | 51 |

Índice de tablas

| | | |
|-----------|--|----|
| TABLA I | Calibres y sus errores (datos en mm) | 45 |
| TABLA II | Posiciones y sus errores (datos en mm) | 46 |
| TABLA III | Estudio económico | 52 |

1.1. Objeto

El objetivo de este proyecto es el diseño y la simulación de un sistema de clasificación automática de zanahorias personalizado para una cooperativa agrícola española, que es la empresa que promueve dicho proyecto. La clasificación se realiza según su calibre, que es el grosor (diámetro) de la hortaliza. Las zanahorias se deben introducir y salir del sistema mediante cintas transportadoras para adaptarse al resto de la maquinaria.

1.2. Antecedentes

Nuestro cliente solicita un sistema automático para clasificar zanahorias por calibre que sustituya a su actual sistema mecánico. El objetivo es atender a un nuevo mercado exigente proporcionando unas zanahorias gourmet de alta calidad que no reciban ningún tipo de golpe que pueda dañar su apariencia. Además de mejorar la precisión a la hora de realizar la clasificación y, de esta manera, aumentar la fiabilidad del sistema. Para que el cambio a este sistema no suponga costes adicionales, es necesario que se pueda incorporar a sus instalaciones previas de tal forma que no se deba sustituir el resto de la maquinaria empleada para procesar las zanahorias.

Hasta el momento, en el sector agrícola el proceso de clasificación se realiza de forma mecánica. Un ejemplo es el caso de la empresa Horcaol Sdad. Coop., que emplea calibradoras diametrales [1] como la que se observa en la Fig. 1, con sistema de rodillos giratorios para realizar la clasificación de las zanahorias. Es capaz de separar las zanahorias de 3 a 4 calibres con una capacidad de hasta 10 t/h.



Fig. 1. Calibradora diametral mecánica [1].

Su funcionamiento es el siguiente: Una vez decididos los rangos de calibre en los que se van a dividir las zanahorias, se introducen los márgenes superiores del menor al mayor. Fijándonos en la Fig. 1, los calibres deseados se seleccionan de izquierda a derecha ya que las zanahorias se introducen por la izquierda mediante una cinta transportadora. Así, en la primera criba caen las de menor calibre, quedándose en los rodillos las de calibres superiores y cayendo en su zona correspondiente, donde continua su procesado en distintas cintas transportadoras.

1.3. Factores a considerar

1.3.1. Condiciones del encargo

El cliente determina unas especificaciones técnicas, económicas y de gestión que deben ser cumplidas en este proyecto.

El sistema debe ser capaz de seleccionar con precisión dos tipos de zanahorias según su calibre y desechar el resto. Los calibres de dichos grupos son de 20 a 30 mm y de 30 a 40 mm. Las zanahorias resultantes deben ser de máxima calidad y no deben poseer daños visibles. Así se obtienen zanahorias gourmet.

Para no provocar costes adicionales, el sistema de clasificación debe poder sustituir al anterior sin necesidad de cambiar el resto de la maquinaria empleada para el procesamiento de las zanahorias. Por ello, debe adaptarse al tamaño de la maquinaria anterior y no ocupar un espacio de más de 5x2 m. Además, el sistema debe ser un módulo independiente en el cual las zanahorias entren y salgan mediante cintas transportadoras.

Dicho módulo debe estar totalmente automatizado, por lo que no debe necesitar colaboración humana.

Se solicita que el sistema no supere en un 15% de los costes del proceso actual (22 350 €). Para ello se sugiere emplear recursos de la empresa, como es el caso de un robot industrial IRB 140 (incluyendo controlador IRC5 y Flexpendant) y la cámara RGB modelo CV-M77.

El proyecto debe estar terminado para el día 12 de julio de 2020.

Además, el sistema debe cumplir la normativa vigente, la cual se expone en el siguiente apartado (1.3.2. Normativa).

1.3.2. Normativa

Se redacta el presente proyecto en cumplimiento del Reglamento (CE) nº 1221/2008 de la Comisión [2], en lo que se refiere a la calidad de las zanahorias para su comercialización; la norma UNE 155122:2012 [3], en cuanto a los requisitos del sistema productivo de zanahorias; el Reglamento (CE) nº 1935/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo [4] y el Reglamento (CE) nº 2023/2006 de la Comisión [5], en lo referido a las condiciones de los materiales destinados al contacto con los alimentos; y las normas ISO sobre Robots manipuladores industriales, empleando el vocabulario relativo a dichos robots según la norma ISO 8373:2012 [6].

Antes de que el Reglamento (CE) nº 730/1999 de la Comisión [7] fuera derogado por el vigente Reglamento (CE) nº 1221/2008 de la Comisión [2], las zanahorias se debían clasificar en distintas categorías según su calidad, su calibre y su presentación, como indica en su Anexo. Actualmente, la normativa vigente expone en el Artículo 2 bis que las frutas y hortalizas no cubiertas por una norma de comercialización específica se deben ajustar a la norma general de comercialización expresada en el Anexo I Parte A de este mismo reglamento.

Según el Reglamento (CE) nº 1234/2007 del Consejo [8], las zanahorias no tienen una norma de comercialización específica.

Así que, como se expresa en el Anexo I Parte A del Reglamento (CE) nº 1221/2008 de la Comisión [2], las zanahorias solamente deben superar unos requisitos mínimos de calidad y no es necesario separar por categorías o calibres, aunque los productores lo siguen realizando según la demanda de los clientes.

Según la norma UNE 155122:2012 [3], la cual establece los requisitos particulares que debe cumplir un sistema de producción controlada de zanahoria: “Para cumplir con esta norma es necesaria la observancia de todos los requisitos generales del sistema recogidos en la Norma UNE 155000. El sistema establece aspectos recomendados y requisitos para cada fase.”

Las normas generales sobre los materiales destinados a entrar en contacto con alimentos vienen dadas en el Reglamento (CE) nº 1935/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo [4]. Los materiales listados en el Anexo I de este reglamento deben tener una legislación específica, como sucede en el caso de plásticos, siliconas y metales. Los plásticos están regulados por el Reglamento (UE) nº 10/2011 de la Comisión [9], donde se describen los recursos que se pueden emplear. Las siliconas se consideran parte del grupo de los polímeros que están regulados por el Real Decreto 847/2011 [10]. En el Artículo 3 del Real Decreto 397/1990 [11] se encuentra la lista de los metales autorizados para uso en contacto con los alimentos.

Según se indica en [4] todos los materiales que vayan a tener contacto con alimentos (y no lo estén cuando se comercialicen) deberán ir acompañados del símbolo de la Fig. 2. Estos materiales deben estar fabricados según las indicaciones del Reglamento (CE) nº 2023/2006 de la Comisión [5].



Fig. 2. Símbolo: Apto para el contacto con los alimentos.

El sistema automatizado diseñado debe cumplir los requisitos mínimos para el funcionamiento seguro de los robots industriales indicados en las normas UNE-EN ISO 10218-1:2012 [12] y UNE-EN ISO 10218-2:2011 [13]. Al tratarse de un sistema automático y, por tanto, no necesitar colaboración humana, se deben cumplir las distancias de seguridad expuestas en la norma UNE-EN ISO 13857:2008 [14] para impedir que se alcancen zonas peligrosas. También se deben de cumplir los principios para el diseño de la parada de emergencia de la norma UNE-EN ISO 13850:2016 [15] para que un trabajador pueda acceder a la zona en caso de necesidad.

El robot debe superar los análisis y ensayos estipulados en la norma ISO 9283:1998 [16]. El interfaz mecánico del robot debe estar diseñado cumpliendo los requisitos marcados en las normas ISO 9409-1:2004 [17] e ISO 9409-2:2002 [18]. A la hora de diseñar una pinza como herramienta del robot, se deben definir sus características siguiendo la norma ISO 14539:2000 [19].

1.4. Planteamiento de soluciones alternativas

1.4.1. Criterios de selección

Para la realización de este proyecto se han considerado diferentes soluciones para cumplir las necesidades del cliente, de entre las cuales se ha adoptado una de ellas.

Los criterios seguidos para la selección de la solución adoptada en orden según la prioridad son los siguientes:

- Normativa: el sistema debe cumplir la normativa vigente.
- Plazo de entrega: el proyecto debe estar terminado para la fecha estipulada, por lo que se debe tener en cuenta el tiempo de desarrollo.
- Funcionalidad: se busca la opción que consiga clasificar las zanahorias de forma correcta sin dañarlas obteniendo un producto de calidad.
- Precio: conseguir no superar los costes estipulados por el cliente.

1.4.2. Soluciones alternativas y solución adoptada

En primer lugar, se proponen distintas soluciones para lograr el **sistema automático** de clasificación:

1) Visión artificial + compuertas programables: Este sistema consta de dos partes. La primera está formada por un sistema de visión artificial posicionado sobre la cinta transportadora de entrada mediante el cual se mediría el calibre de las zanahorias para su clasificación. La segunda parte está formada por una red de cintas transportadoras con dos compuertas como se muestra en la Fig. 3, cada una para un grupo de zanahorias. Cuando una zanahoria pase sobre su correspondiente compuerta, esta se abrirá para dejar caer la zanahoria, como se observa en la Fig. 3 (b).

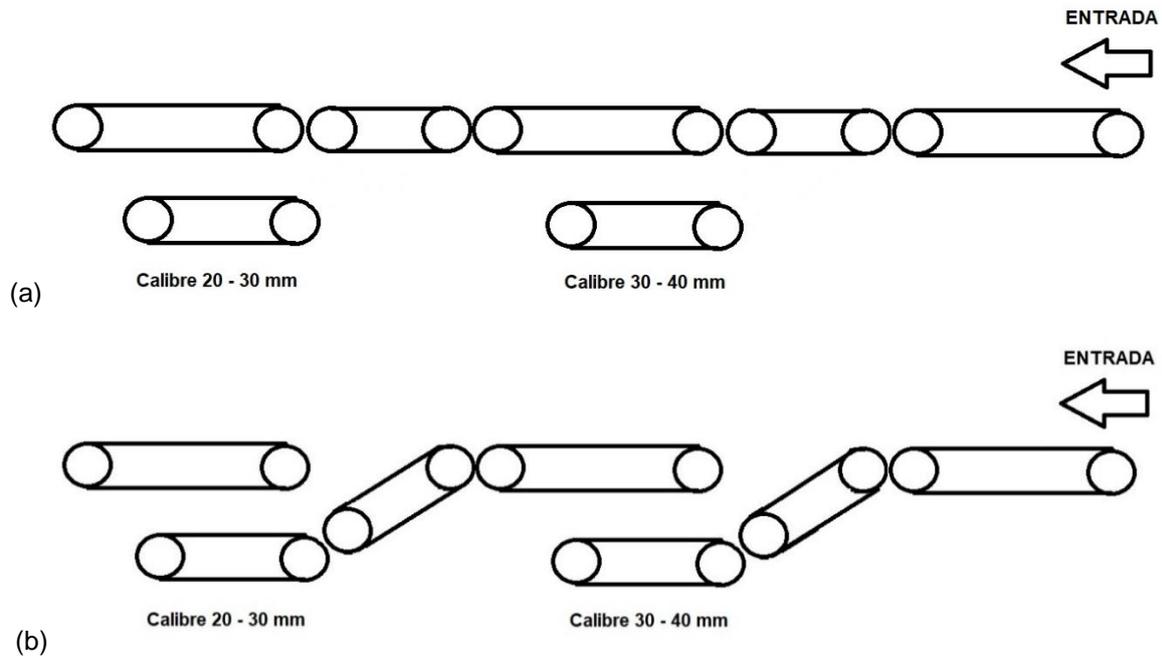


Fig. 3. Croquis vista lateral de las cintas transportadoras con compuertas programables. (a) Compuertas cerradas. (b) Compuertas abiertas.

2) Visión artificial + brazo robótico: Este sistema también consta de dos partes. La primera parte es igual que la propuesta en la anterior solución. La segunda está formada por tres cintas transportadoras y el robot industrial IRB 140 de ABB como se muestra en la Fig. 4. El robot es el que va separando las zanahorias según su calibre.

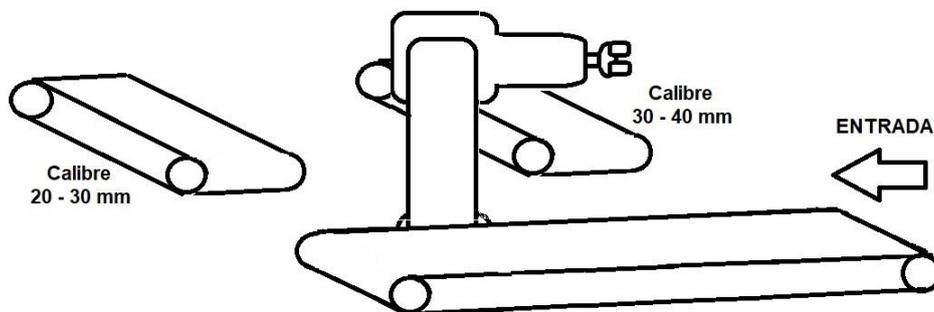


Fig. 4. Croquis distribución de las cintas transportadoras y el robot industrial.

Los dos sistemas son automáticos y necesitan el mismo tiempo destinado a la programación. Sin embargo, el diseño mecánico de la primera solución es más complejo que el segundo, por lo que se necesita más tiempo.

Puede que la segunda solución sea menos eficiente, pues con un solo brazo robótico cabe la posibilidad de que se clasifiquen un menor número de zanahorias que con el sistema de compuertas. Pero eso se podría solucionar añadiendo otro brazo robótico al sistema. Por otra parte, hay que tener en cuenta que el primer sistema puede causar daños a las zanahorias cuando caigan por las compuertas.

Por último, hay que tener en cuenta que la empresa proporciona el brazo robótico, por lo que los costes serán menores.

Por estos motivos, la solución adoptada es la segunda: Visión artificial + brazo robótico.

Una vez elegido el sistema automático, se debe elegir el **programa de simulación**. Se proponen dos opciones:

1) RobotStudio: Programa de simulación de la empresa ABB. Según [20], es “una copia exacta del programa real que hace funcionar su robot en producción. Ello permite simulaciones muy realistas, con archivos de configuración y programas de robot reales e idénticos a los utilizados en su instalación”. La licencia para emplear las opciones de RobotWare necesarias cuesta 1 475 €.

2) CoppeliaSim: Programa de simulación de Coppelia Robotics. Según [21], “se utiliza para el desarrollo rápido de algoritmos, simulaciones de automatización de fábricas, creación rápida de prototipos y verificación, educación relacionada con la robótica, monitoreo remoto, verificación doble de seguridad, como gemelo digital y mucho más. Se programar con lenguaje C / C ++, Python, Java, Lua, Matlab u Octave”. La licencia para emplear la versión completa del programa durante un año cuesta 1 980 €.

El programa RobotStudio pertenece a la misma empresa que el robot que posee la empresa y por este motivo, el lenguaje de programación es el mismo. Por lo que, una vez realizado el código sirve tanto para la simulación como para el sistema real. Esto no sucede con el segundo programa. El código de la simulación en CoppeliaSim se tendrá que reescribir.

Por otra parte, en la segunda opción se puede insertar una cámara en la simulación que proporcione imágenes virtuales para simular el sistema de visión artificial. La primera opción no lo permite, lo único que admite es introducir en el sistema imágenes de una cámara real.

Ambos programas requieren de licencia para emplear la versión completa.

Por estos motivos, la solución adoptada es la primera: RobotStudio.

Por último, se proponen distintas soluciones para los diferentes **componentes** del sistema:

- **Pinza**

El robot empleado será el IRB 140 de ABB porque lo proporciona la empresa. Hay que decidir qué pinza se va a conectar para que el robot coja las zanahorias.

1) Mecanismo diseñado + Garras diseñadas: Hay varios tipos de mecanismos para pinzas como se observa en la Fig. 5. Cuanto mayor es el grado de movilidad de la pinza, más complejo es su mecanismo. Se realizará un estudio para diseñar el mecanismo más adecuado. Además, se deben tener en cuenta las características de la muñeca del robot para que encaje correctamente.

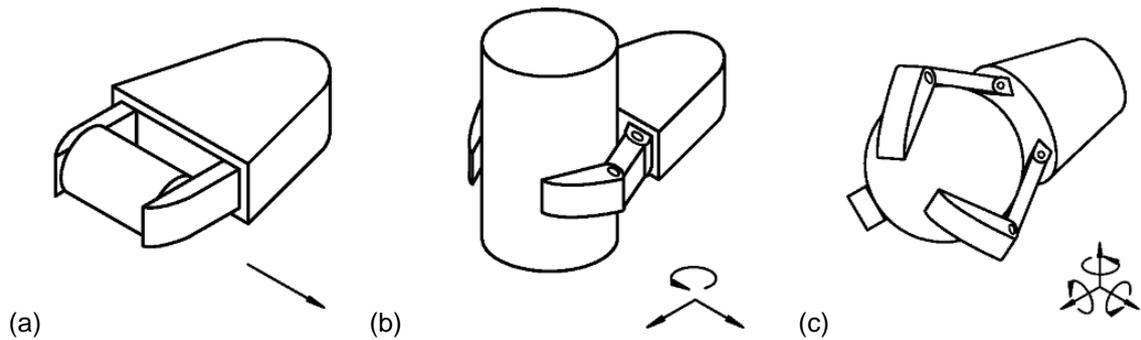


Fig. 5. Tipos de garra según sus grados de movilidad [19].
 (a) Lineal → movilidad 1. (b) Plana → movilidad 2. (c) Esférica → movilidad 6.

2) Mecanismo comprado ABB + Pinzas compradas: El mecanismo de la pinza está introducido en la base de la pinza como se observa en la Fig. 6 (b). Se compra a la empresa ABB, la empresa proveedora del brazo robótico que se va a emplear, por lo que es compatible. El nombre que ABB le da a la pieza base donde se incluye el mecanismo es servo, ya que es el componente que provoca el movimiento de las garras. Junto al servo se proporcionan unas garras como las que se muestran en la Fig. 6 (a). En total, supone un coste de 2 440 €.

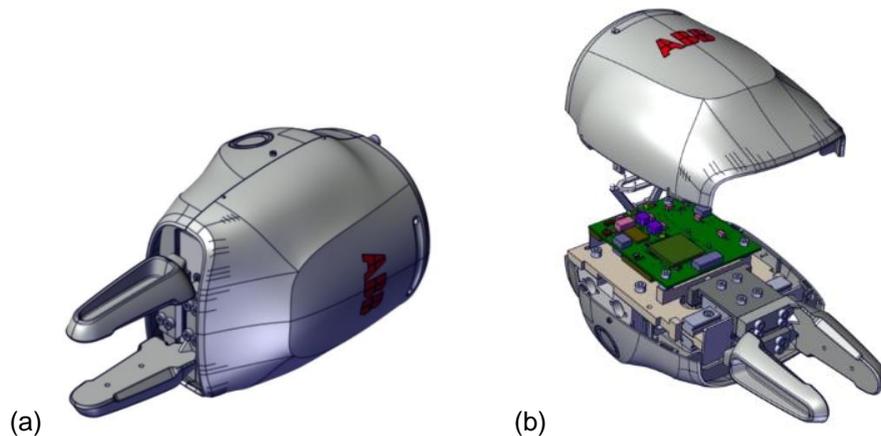


Fig. 6. (a) Servo ABB con pinzas [22]. (b) Mecanismo del servo [23].

3) Mecanismo comprado ABB + Garras diseñadas: Se compra el mecanismo mencionado en la opción anterior (Fig. 7 (a)) y se diseñan unas pinzas que se adapten a la forma de las zanahorias como las de la Fig. 7 (b). El mecanismo supone un coste de 2 440 €.

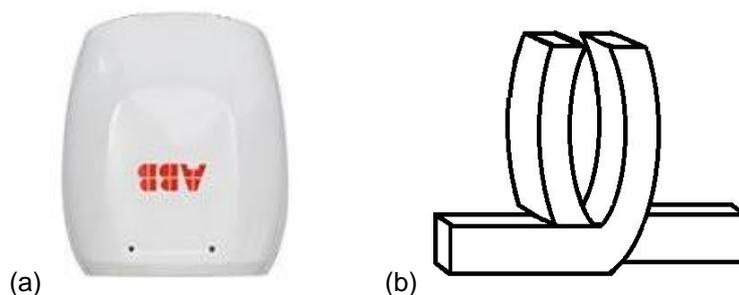


Fig. 7. (a) Servo ABB [24]. (b) Croquis garras diseñadas.

Diseñar las dos partes de la pinza es la solución que se puede adaptar de mejor forma a las necesidades del sistema. Pero también es la más cara y la que más tiempo tarda.

Comprar tanto el mecanismo como las garras es lo más barato, y lo que menos tiempo supone, pero no está adaptado al sistema, por lo que las pinzas pueden causar daños en las zanahorias al cogerlas.

Comprar el mecanismo permite abaratar costes, y diseñando las garras se obtiene una herramienta que se adapta a las necesidades para conseguir un producto de calidad. De esta manera el tiempo de empleado a las pinzas es intermedio.

Por estos motivos, la opción elegida es la tercera: Mecanismo comprado ABB + Garras diseñadas.

- Sistema de visión artificial

1) Cámara + Sherlock: Sistema compuesto por una cámara de características a elegir, con la cual se obtienen las imágenes, y el programa específico de visión artificial avanzada Sherlock, con el cual se realiza el procesado. Según [25], “se puede aplicar a una amplia variedad de aplicaciones de inspección automatizadas. Ofrece la máxima flexibilidad de diseño y ofrece un amplio conjunto de herramientas y capacidades comprobadas que se han implementado en miles de instalaciones en todo el mundo”. El coste de la cámara es de 54,19 € y la licencia del programa Sherlock tiene un coste de 1 485,12€.

2) Cámara ABB: Sistema de visión integrada que ofrece la empresa ABB. La toma de las imágenes se realiza con una cámara inteligente (Fig. 8) compatible con el programa RobotStudio, con el cual se realiza el procesado de imágenes. La cámara supone un coste de 3 365 € y la interfaz, un coste de 1 900 €.



Fig. 8. Cámara visión integrada ABB [26].

La primera opción ofrece una solución personalizada, pues se elige la cámara por las características que puede ofrecer para obtener una imagen adecuada. Además, se emplea un programa específico de visión artificial.

La segunda opción es más barata, pues el programa empleado para el procesado de imágenes es el RobotStudio. Pero al no ser un programa específico de visión artificial, tiene menos recursos.

Además, la empresa posee una cámara RGB modelo CV-M77 que es adecuada para realizar la primera opción, por lo que el precio de la cámara se reduciría del presupuesto.

Por estos motivos, la opción elegida es la primera: Cámara + Sherlock.

- **Transportador**

- 1) Rodillos: Transportador de rodillos motorizados como la que se observa en la Fig. 9.



Fig. 9. Transportador de rodillos [27].

- 2) Plano: Cinta transportadora plana de color blanco como la que se observa en la Fig. 10.



Fig. 10. Cinta transportadora plana [28].

Los rodillos del primer transportador pueden modificar la posición de las zanahorias y causar fallos de sincronización entre el sistema de visión artificial y el brazo robótico. Esto no sucede en el caso de la cinta plana. Además, el color blanco de la cinta plana favorece al sistema de visión artificial.

Por estos motivos, la opción seleccionada es la segunda: Cinta transportadora plana.

1.5. Descripción de la solución aceptada

El conjunto del sistema de clasificación está compuesto por tres partes: cintas transportadoras, visión artificial y robot industrial.

En el siguiente organigrama (Fig. 11) se pueden observar los distintos componentes que conforman el sistema.

La simulación está realizada en el programa RobotStudio, como se ha mencionado en el apartado 1.4.2. El programa RobotStudio está compuesto por dos partes: la estación, que es el entorno visual, y el controlador.

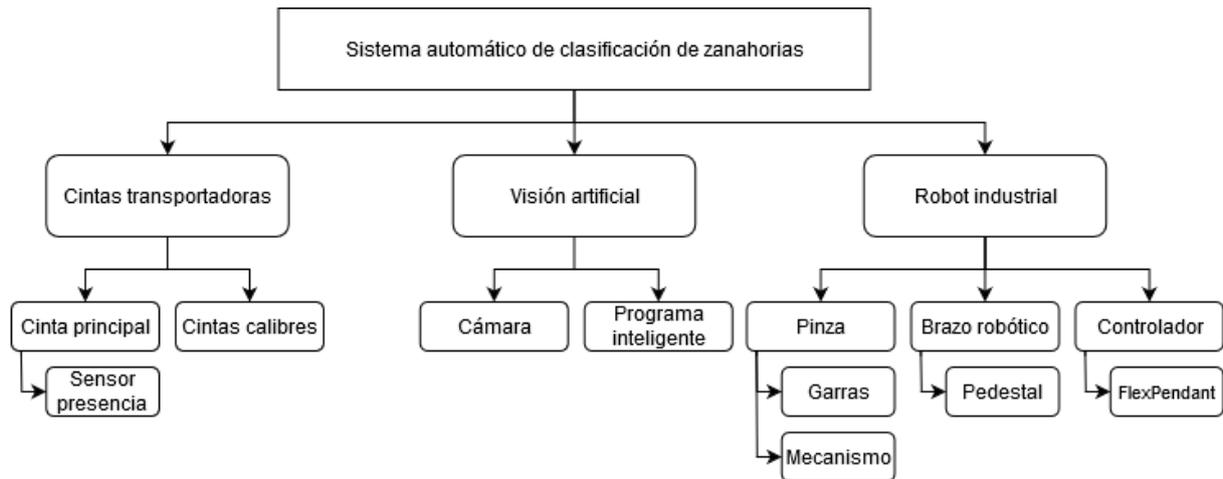


Fig. 11. Organigrama del proyecto.

A continuación, se procede a explicar de forma detallada cada uno de los componentes.

1.5.1. Cintas transportadoras.

Las zanahorias entran y salen del sistema gracias a tres cintas transportadoras: una cinta principal y dos cintas según el calibre. Hay una entrada común para todas las zanahorias y tres posibles salidas según se clasifiquen.

1.5.1.1. Cinta principal

Esta cinta está situada en frente del brazo robótico, como se puede observar en la Fig. 12 (para más detalles, mirar el plano nº 5).

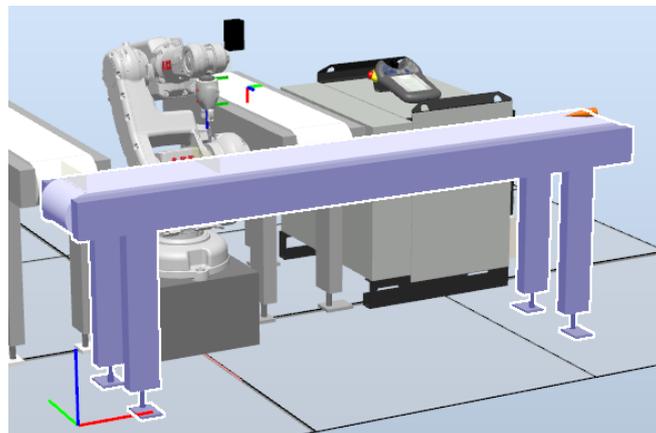


Fig. 12. Ubicación cinta principal.

Las dimensiones que ocupa la cinta transportadora son: 700 mm de alto, 2 000 mm de largo y 300 mm de ancho, aunque la banda solo mide 200 mm de ancho.

Todas las zanahorias entran por un extremo de la cinta principal como se observa en la Fig. 13 (a). Si la zanahoria no cumple las medidas para entrar dentro de ninguno de los dos calibres, sale del sistema por el otro extremo de la cinta principal como se observa en la Fig. 13 (b).

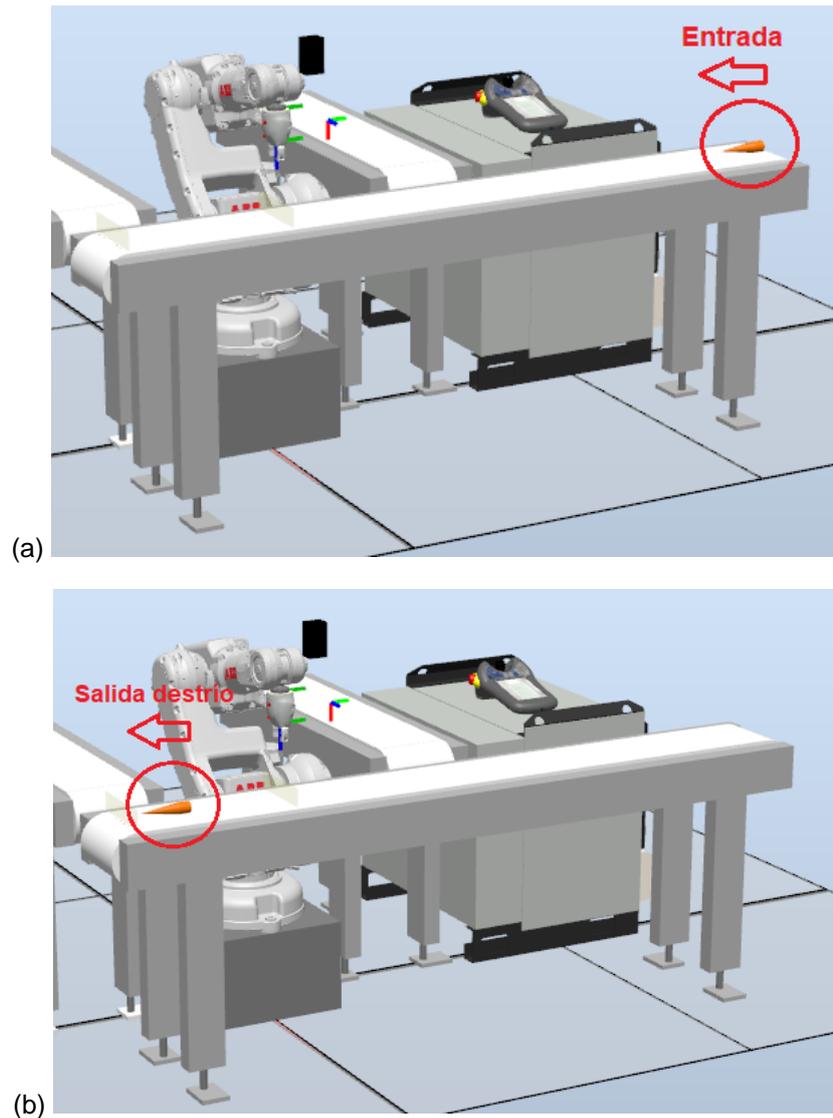


Fig. 13. (a) Entrada de la zanahoria al sistema. (b) Salida del sistema de la zanahoria de destrío.

La cinta transportadora principal interacciona con el sistema de visión artificial, ya que la cámara está instalada sobre esta cinta. Para favorecer la imagen y el buen funcionamiento del sistema de visión artificial, la cinta es blanca y mate. De esta manera se puede distinguir la silueta de la zanahoria evitando los brillos producidos por la iluminación.

Cuando una zanahoria entra en la cinta principal, avanza hasta que es detectada por un sensor de proximidad fotoeléctrico, como se observa en la Fig. 14. Cuando el sensor detecta la zanahoria, la cinta se para y la cámara toma una imagen. La imagen se procesa y se obtiene el resultado de la clasificación por calibre. Si la zanahoria pertenece a alguno de los dos rangos de calibres, el robot la coge y la deposita en su lugar correspondiente, conectándose de nuevo la cinta principal para recibir la siguiente hortaliza. Como se ha visto anteriormente en la Fig. 13 (b), si la zanahoria no pertenece a ninguno de los dos rangos, forma parte del grupo de destrío y avanza por la cinta principal hasta que sale del sistema.

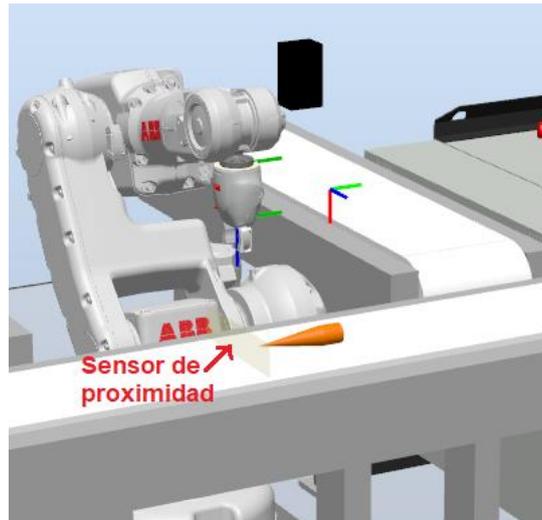


Fig. 14. Sensor de proximidad.

La cubierta de la cinta que está en contacto con las hortalizas está fabricada con poliuretano termoplástico, que es un material de color blanco, mate y apto para el contacto con alimentos según Reglamento (UE) nº 10/2011 de la Comisión [9].

1.5.1.2. Cintas calibres

Además de la cinta principal hay otras dos cintas, una para cada calibre. Éstas están situadas a los lados del brazo robótico para lograr una correcta accesibilidad como se muestra en la Fig. 15 (para más detalles, mirar el plano nº 5).

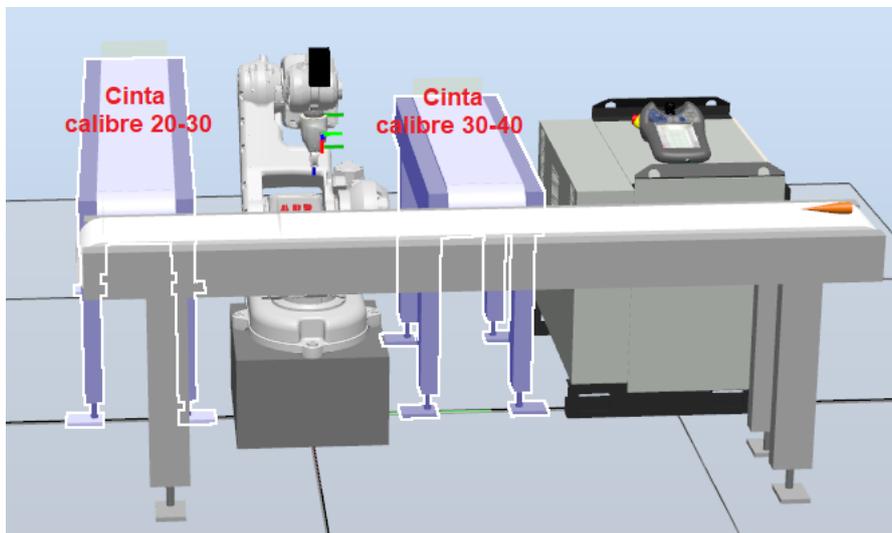


Fig. 15. Ubicación cintas calibres.

Para que la conexión con el siguiente proceso sea adecuada, cada cinta transportadora tiene unas dimensiones distintas. La cinta transportadora del rango de calibres de 20 a 30 mm ocupa 700 mm de alto, 1 500 mm de largo y 300 mm de ancho. La cinta transportadora del rango de calibres de 30 a 40 mm ocupa 700 mm de alto, 1 000 mm de largo y 300 mm de ancho.

Cuando el sistema de procesamiento de imagen detecta una zanahoria perteneciente uno de los dos rangos, el brazo robótico la traslada desde la cinta principal a su cinta correspondiente como se observa en la Fig. 16. La zanahoria avanza por dicha cinta hasta que sale del sistema (Fig. 17), conectando con el siguiente proceso.

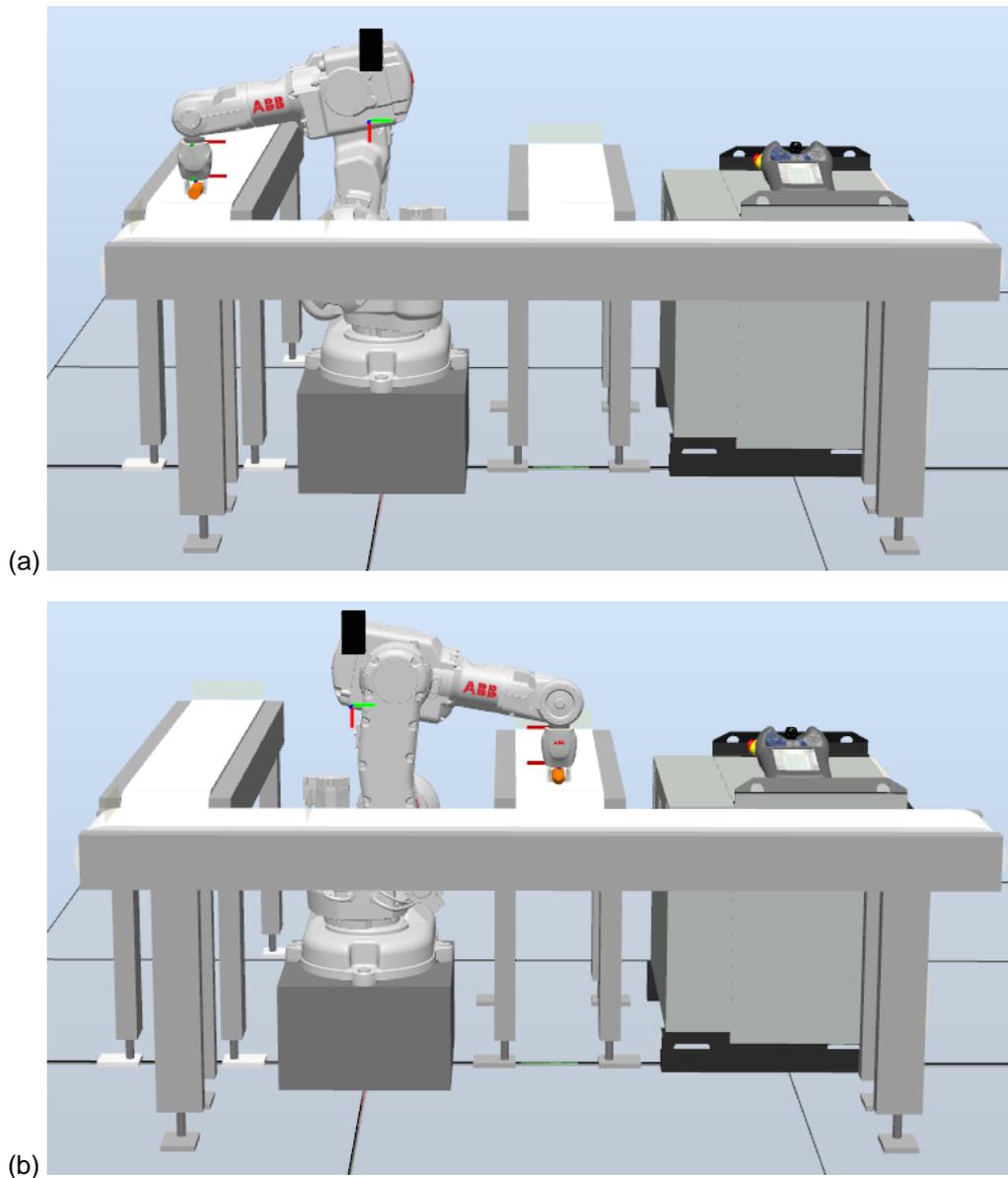


Fig. 16. Brazo robótico trasladando la zanahoria a su cinta de calibre correspondiente.
(a) Calibre 20-30. (b) Calibre 30-40.

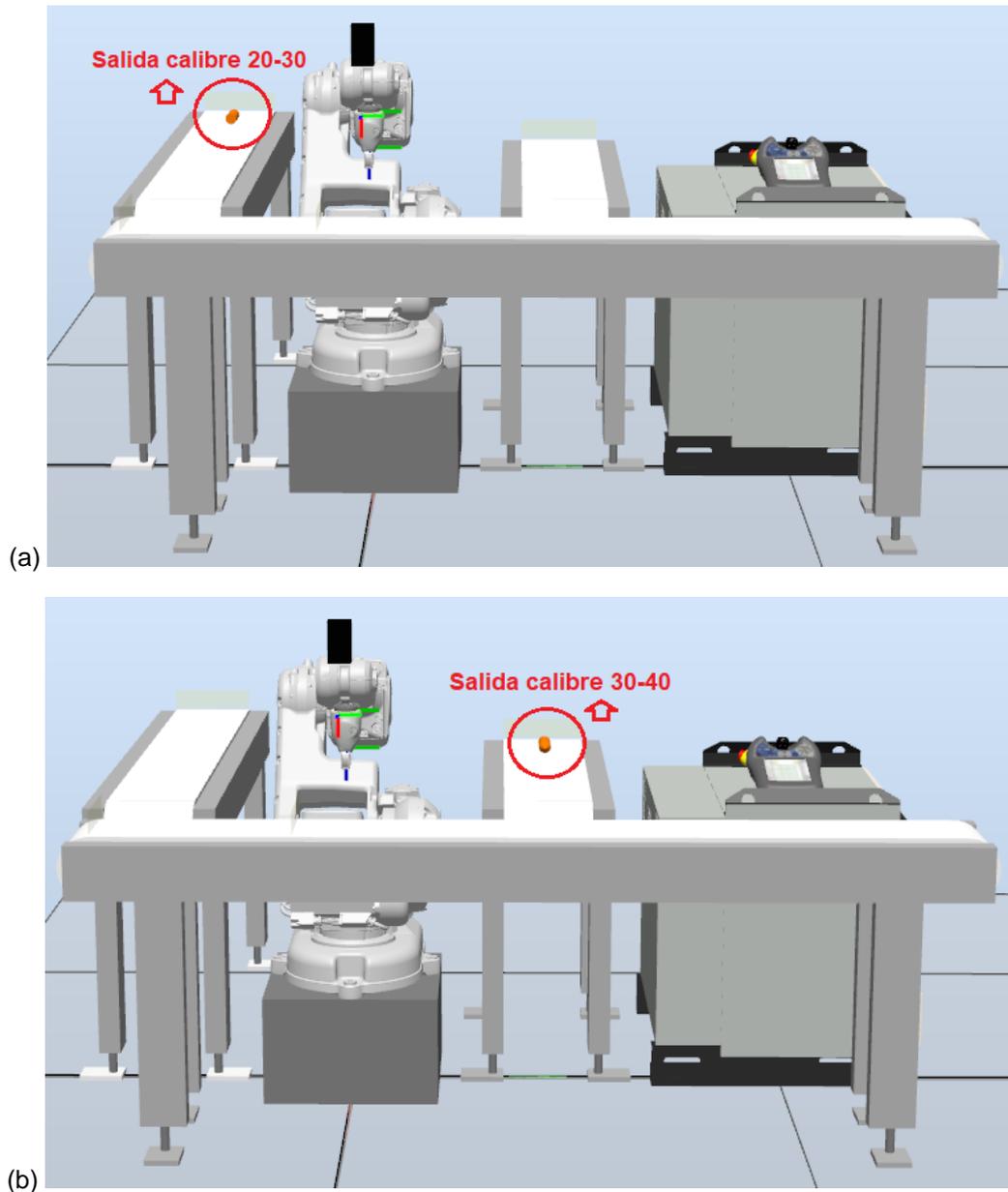


Fig. 17. Salida de las zanahorias separadas por calibre. (a) Calibre 20-30. (b) Calibre 30-40.

El material de estas dos bandas es el mismo que el de la principal y tiene la misma anchura de 200 mm.

1.5.2. Visión artificial.

1.5.2.1. Cámara

La cámara está situada encima de la cinta principal, delante del robot, como se observa en la Fig. 18 (para más detalles, mirar el plano nº 5).

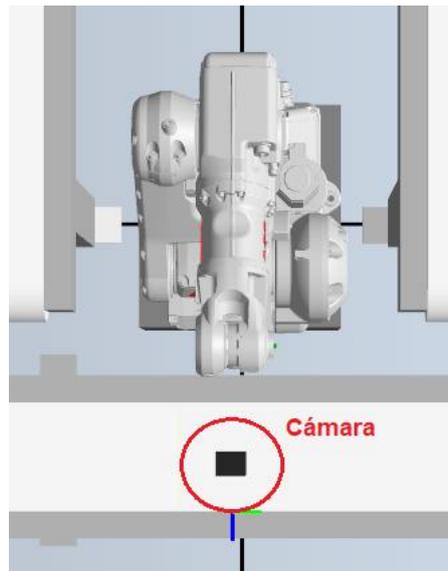


Fig. 18. Ubicación cámara (vista planta).

El modelo es CV-M77, la cual posee un sensor CCD de 1/3". La cámara está colgada desde el techo a una altura de 1144,5 mm del suelo. Los cálculos realizados para obtener la distancia desde el sensor hasta la cinta principal, que en este caso es la cinta transportadora principal se encuentran en el apartado 1.6.5.

Cuando una zanahoria es detectada por el sensor presencia de la cinta principal, la cámara toma una imagen como la que se observa en la Fig. 19 y se la pasa al programa de visión artificial Sherlock para que se procese la imagen.

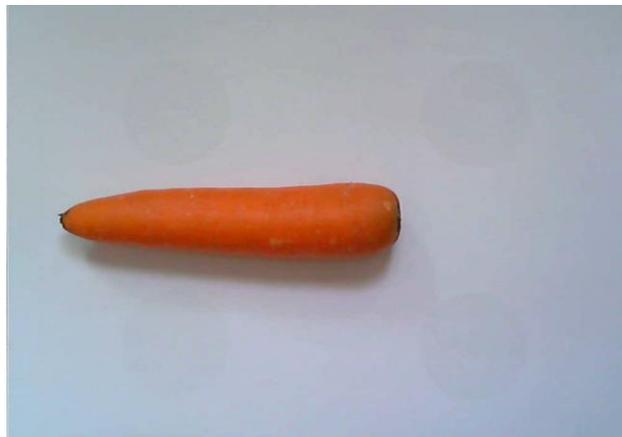


Fig. 19. Imagen de una zanahoria tomada con la cámara.

1.5.2.1. Programa inteligente

El programa utilizado para el procesado de imágenes es el Sherlock. Se ejecuta en un ordenador industrial.

Cuando Sherlock recibe la imagen, distingue la zanahoria naranja del fondo de la cinta transportadora mediante un algoritmo de mapeo por color como se observa en la Fig. 20. Mide el diámetro de la zanahoria, que es el calibre y se lo asigna a la zanahoria. De esta manera el brazo robótico sabe a qué cinta transportadora debe trasladar la zanahoria.

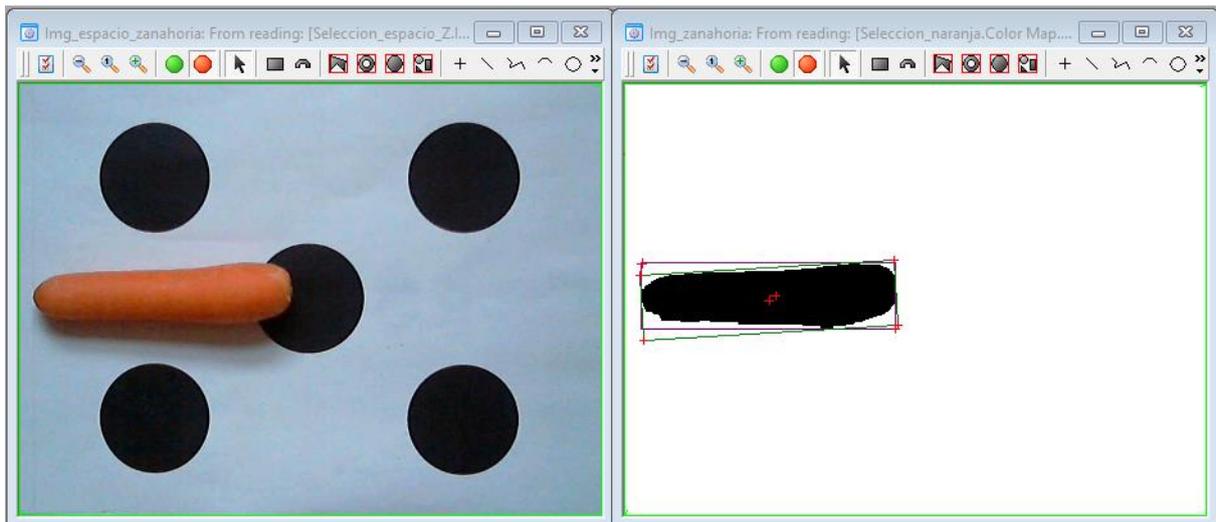


Fig. 20. Mapeo de color en Sherlock

Además del calibre, el programa mide la posición del centroide (centro geométrico de una figura) de la zanahoria y la orientación. Así el robot puede colocar la pinza en la posición y orientación adecuada para coger la zanahoria correctamente.

Todo el procesado al que se someten las imágenes está expresado en el apartado 1.6.7.

Las medidas que ofrece Sherlock son reales gracias a que se ha realizado un calibrado previo. El método de calibración empleado se expone en el apartado 1.6.6.

1.5.3. Robot industrial.

1.5.3.1. Pinza

La pinza está formada por dos garras y la base, donde se encuentra el mecanismo que llamaremos servo, como se observa en la Fig. 21.

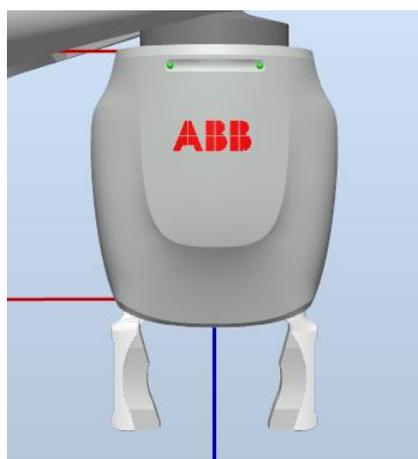


Fig. 21. Pinza con garras abiertas.

El diseño de la garra y la configuración del servo están expuestos en el apartado 1.6.4. Está realizado con dos posiciones de cerrado, una para cada rango de calibres.

Cuando se detecta una zanahoria perteneciente a algún calibre, el robot mueve la pinza hasta la posición adecuada y el controlador manda una señal a la pinza, la cual se cierra cogiendo la zanahoria.

Si la zanahoria pertenece al calibre 20-30, las garras se cerrarán como se observa en la Fig. 22, quedando las estructuras metálicas a una distancia máxima de 32 mm y las espumas a una distancia mínima de 5,4 mm como se observa en la Fig. 23.

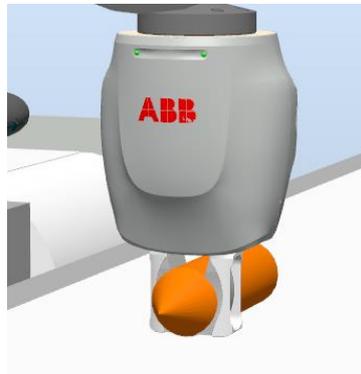


Fig. 22. Pinza cerrada posición calibre 20-30 mm cogiendo una zanahoria de 30 mm.

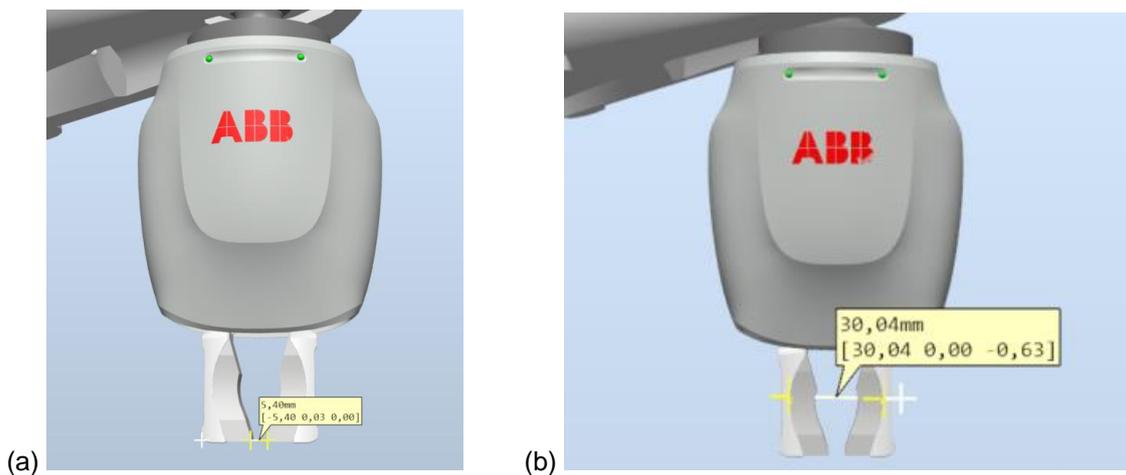


Fig. 23. Pinza cerrada calibre 20-30. (a) Distancia mínima. (b) Distancia máxima.

Si la zanahoria pertenece al calibre 30-40, las garras se cerrarán como se observa en la Fig. 24, quedando las estructuras metálicas a una distancia máxima de 42 mm y las espumas a una distancia mínima de 17,4 mm como se observa en la Fig. 25.

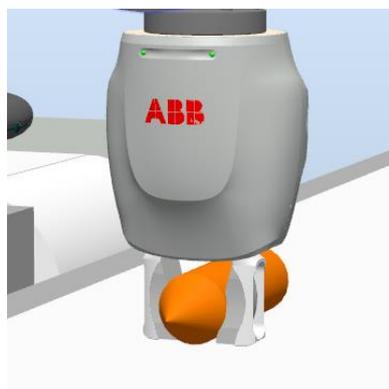


Fig. 24. Pinza cerrada posición calibre 30-40 mm cogiendo una zanahoria de 30 mm.

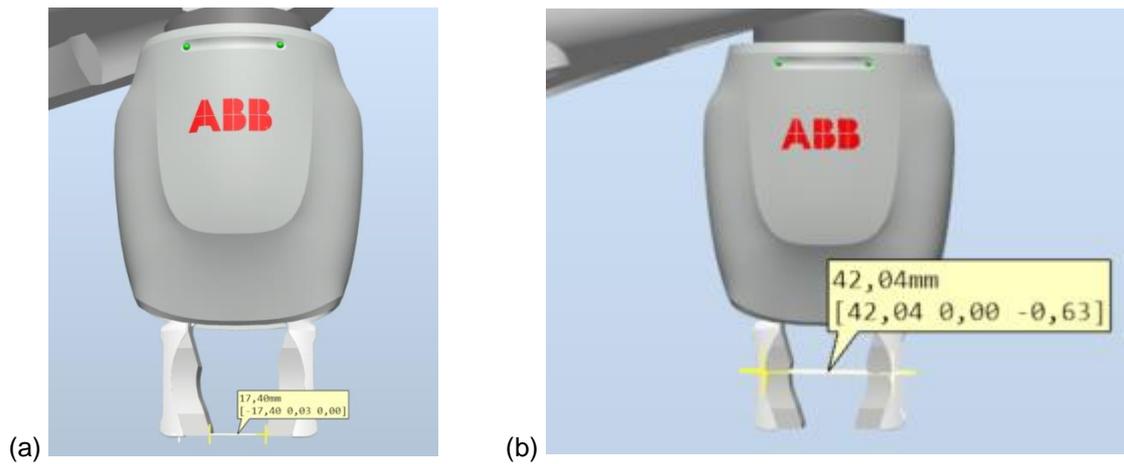


Fig. 25. Pinza cerrada calibre 30-40. (a) Distancia mínima. (b) Distancia máxima.

Una vez el robot traslada la zanahoria hasta la cinta de destino (Fig. 16), el controlador envía la señal para abrir la pinza, la cual libera la zanahoria para que continúe el proceso.

1.5.3.2. Brazo robótico

El robot industrial IRB 140 de ABB es el encargado de trasladar las zanahorias desde la cinta principal hasta su correspondiente cinta según su calibre.

Está colocado sobre un pedestal de 250 mm de altura como se observa en la Fig. 26.

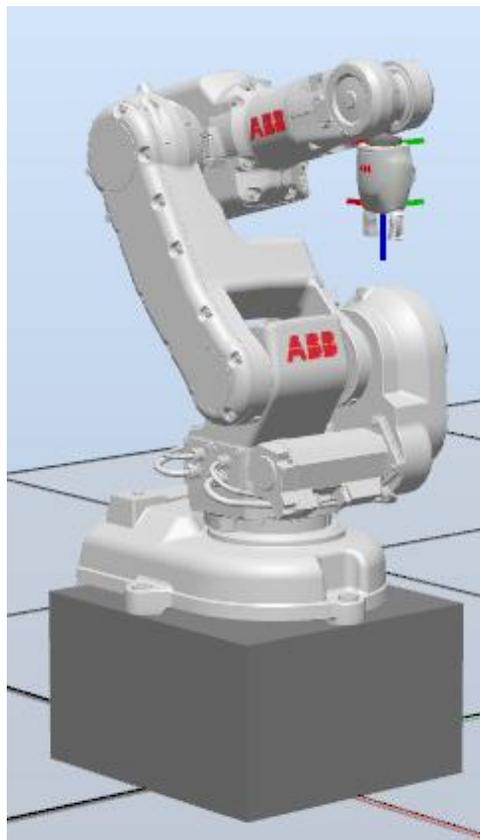


Fig. 26. Robot sobre un pedestal.

La posición de reposo del robot está programada fuera del campo de visión de la cámara para que, cuando el sensor detecte una zanahoria, el robot no aparezca en la imagen que tome la cámara.

El robot solo se mueve cuando las zanahorias pertenecen a uno de los dos rangos de calibres. Si la zanahoria es de destrío, esta avanza por la cinta principal sin que se mueva el robot.

1.5.3.3. Controlador

Se trata del controlador IRC5 de ABB.

Está colocado al lado de la cinta principal y la de calibre 30-40 como se observa en la Fig. 27. De esta manera, está cerca de todos los elementos del sistema para que los cables de todos los elementos se puedan conectar sin problemas y, al mismo tiempo, ofrece un fácil acceso para su revisión.

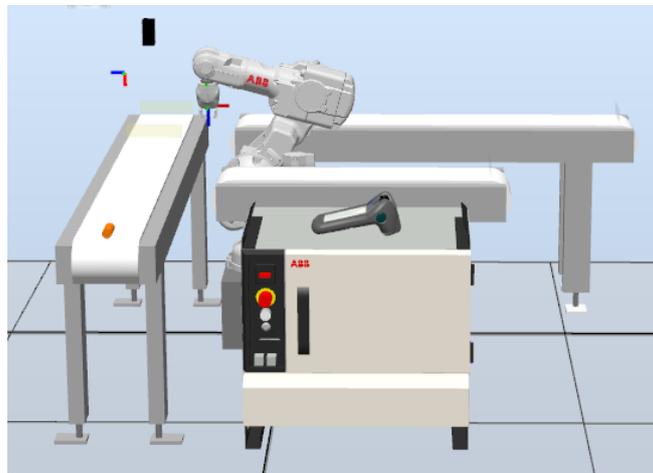


Fig. 27. Ubicación del controlador.

El FlexPendant, que es una herramienta con la cual el operador puede programar y mover el robot y todos los elementos que están conectados al controlador, está ubicado sobre el controlador para tener un fácil acceso en caso de necesitarlo.

En el controlador se encuentra el código principal del sistema. Se encarga de procesar las señales recibidas por el sensor de proximidad y el programa de visión artificial y de mandar las órdenes a las cintas transportadoras, la cámara, el brazo robótico y la pinza. Es el que sincroniza todas las acciones. Marca el funcionamiento del sistema, que está expresado en el Anexo 4 mediante un diagrama de flujo.

La tabla de entradas y salidas del controlador se encuentra en el Anexo 1.

1.6. Justificación detallada de los elementos de la solución adoptada

A continuación, se detallan los cálculos y los códigos de programación realizados en este proyecto.

1.6.1. Simulación de la zanahoria en RobotStudio

El objetivo de la clasificación es separar zanahorias de calibres de entre 20 y 40 mm de las demás, por lo que, para la simulación, se ha optado por representar una zanahoria estándar de 30 mm de calibre.

Las zanahorias aproximadamente tienen una forma cónica pero su diámetro no varía mucho en toda su longitud. Además, tienen una longitud muy diversa. Así que para realizar la simulación se va a representar mediante una composición de dos figuras tal y como se observa en la Fig. 28: un cilindro de 80 mm de largo y 30 mm de diámetro unido a un cono de 30 mm de alto y 30 mm de diámetro.

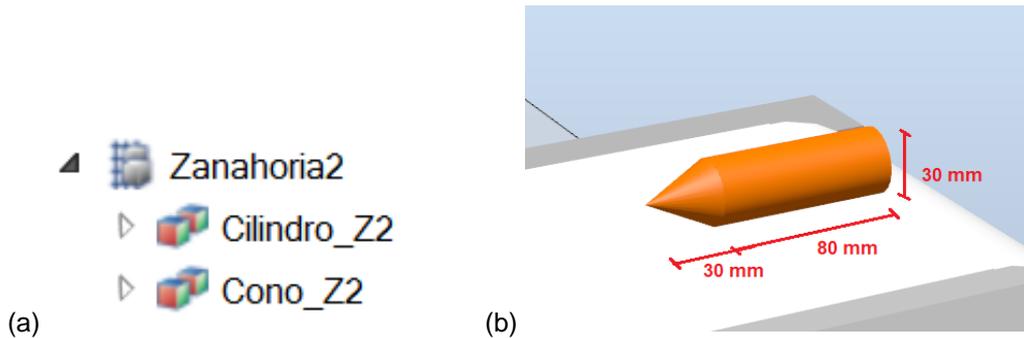


Fig. 28. Simulación zanahoria. (a) Composición. (b) Medidas.

Para realizar la simulación del sistema se contempla solamente una zanahoria en circulación. De manera que, cuando una zanahoria es clasificada y sale del sistema por su cinta correspondiente, otra zanahoria entra en el sistema.

Esto sucede gracias a tres sensores de posición que están colocados al final de cada una de las cintas como se observa en la Fig. 29. Estos sensores están conectados a un elemento digital de la estación llamado Posicionador como se observa en la Fig. 30. Están conectados de tal manera que, cuando estos sensores detectan una zanahoria, se activa su señal de salida (SensorOut = 1) dando una señal positiva al Posicionador (Execute = 1). Cuando este elemento recibe una señal positiva (Execute = 1), devuelve la zanahoria simulada a la posición absoluta inicial que se observa en la Fig. 29.

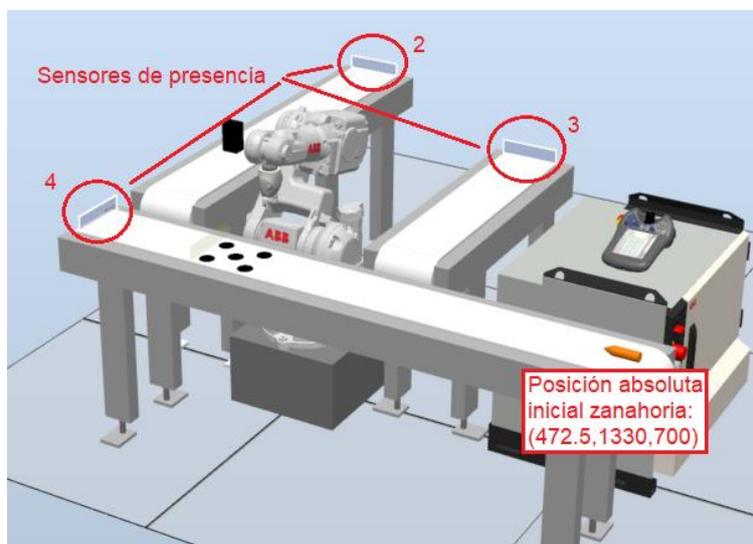


Fig. 29. Sensores de presencia finales + Posición absoluta inicial de la zanahoria.

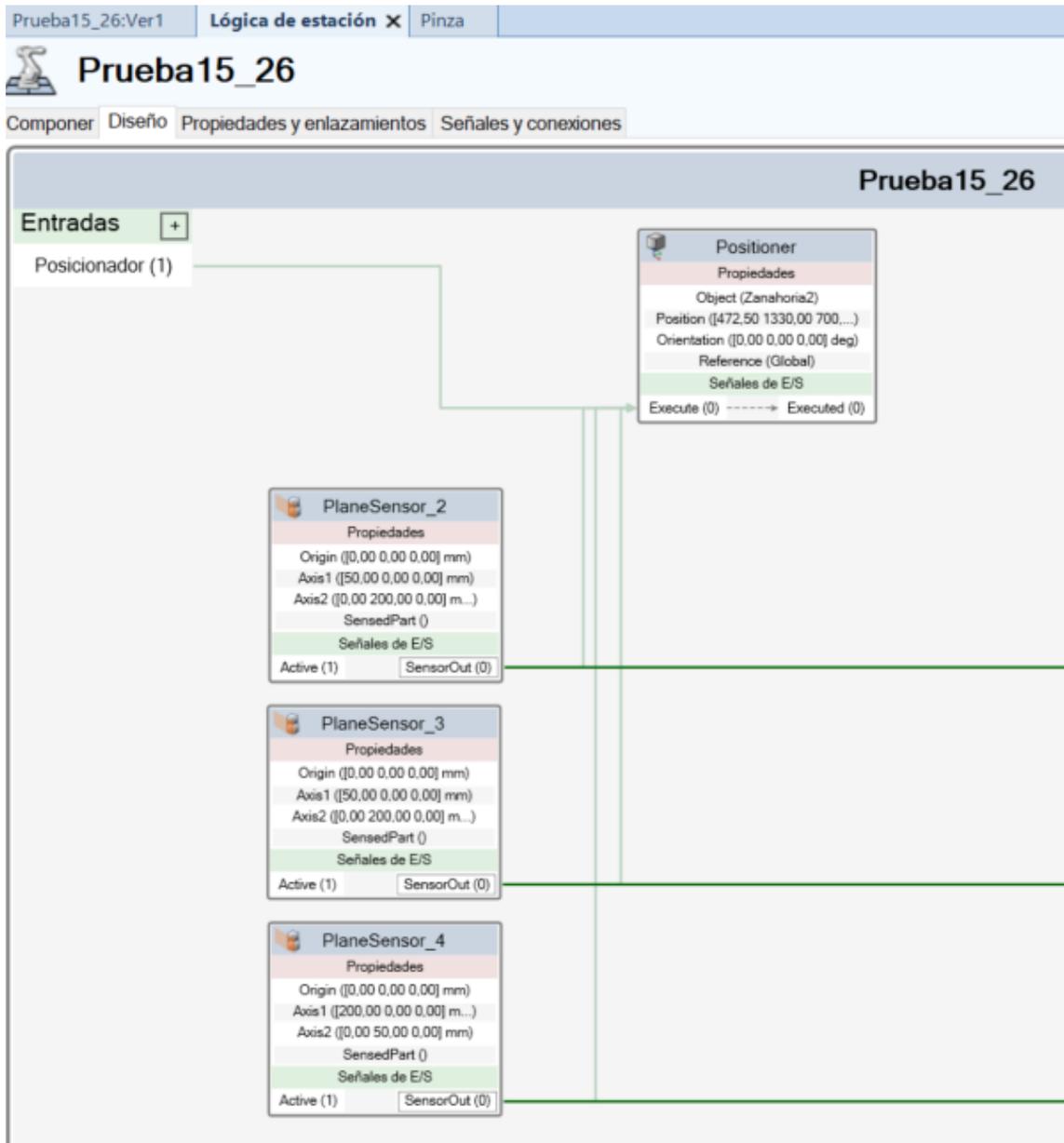


Fig. 30. Lógica de estación.

La señal Posicionador también se puede activar de forma manual en la ventana “Señales de estación” como se observa en la Fig. 31.

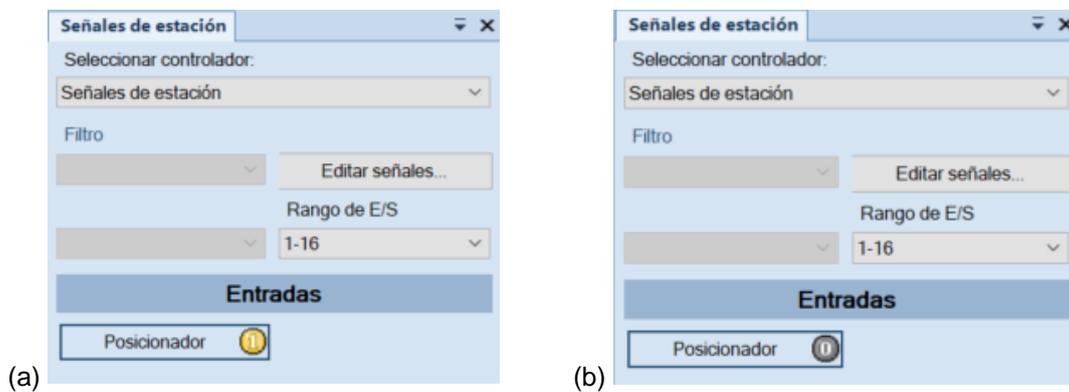


Fig. 31. Activar señal Posicionador manualmente. (a) Señal activa → 1. (b) Señal desactivada → 0.

1.6.2. Simulación de las cintas transportadoras en RobotStudio

Las tres cintas transportadoras están modeladas como componentes inteligentes.

Cada uno de los componentes (cintas transportadoras) tiene una señal digital de entrada (como se observa en la Fig. 32) que activa mueve la cinta hacia delante si está a 1 y para la cinta si se encuentra a 0.

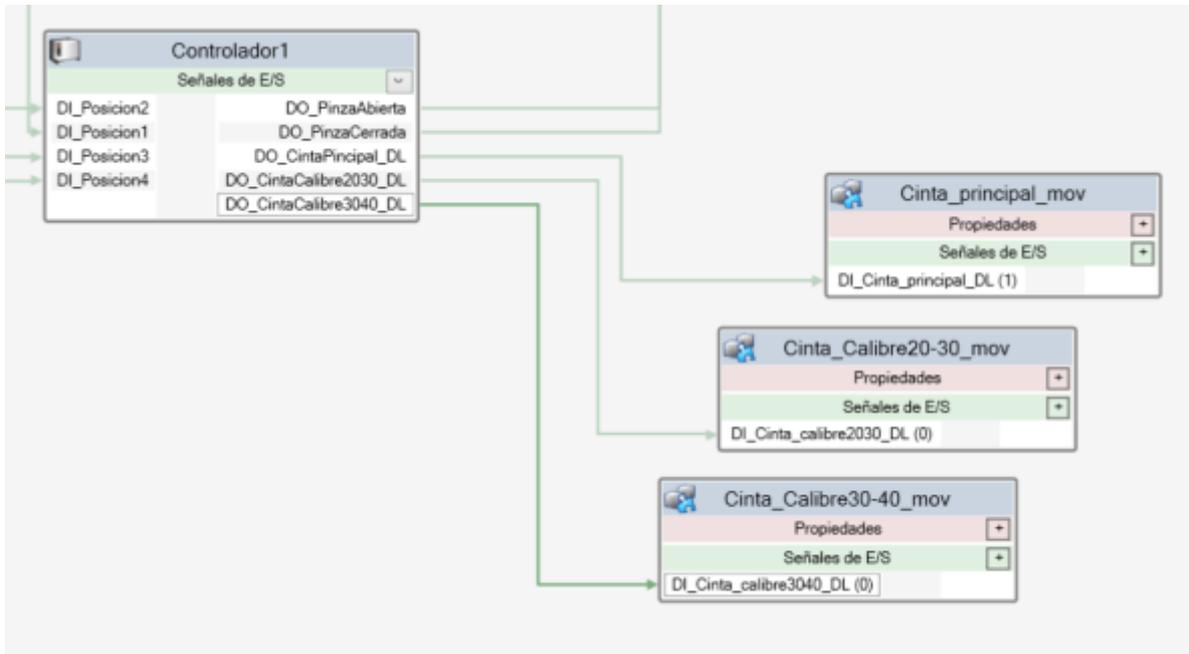


Fig. 32. Lógica de estación.

Las tres señales son: DI_Cinta_principal_DL, DI_Cinta_calibre2030_DL y DI_Cinta_calibre3040_DL, y se están conectadas respectivamente a las salidas digitales del controlador: DO_CintaPrincipal_DL, DO_CintaCalibre2030_DL y DO_CintaCalibre3040_DL.

Cada uno de los componentes inteligentes está compuesto por los siguientes componentes subordinados (como se observa en la Fig. 33, que expone como ejemplo la cinta principal):

- LogicSRLatch: Ante un pulso positivo en la entrada "Set" (Set = 1), emite una salida positiva constante (Output = 1) y ante un pulso positivo en la entrada "Reset" (Reset = 1), emite una salida negativa constante (Output = 0).
- LinearMover: Mueve en línea recta un objeto (en este caso la zanahoria) a una velocidad determinada (en este caso 200 mm/s) en una dirección y sentido determinados (estos se pueden observar en la Fig. 34). Necesita una señal de entrada constante, por eso se emplea el LogicSRLatch como se observa en la Fig. 35.
- LogicGate [NOT]: Emite la salida inversa a la entrada. Como se observa en la Fig. 35, se emplea para que el componente LinearMover reciba una señal de 0.

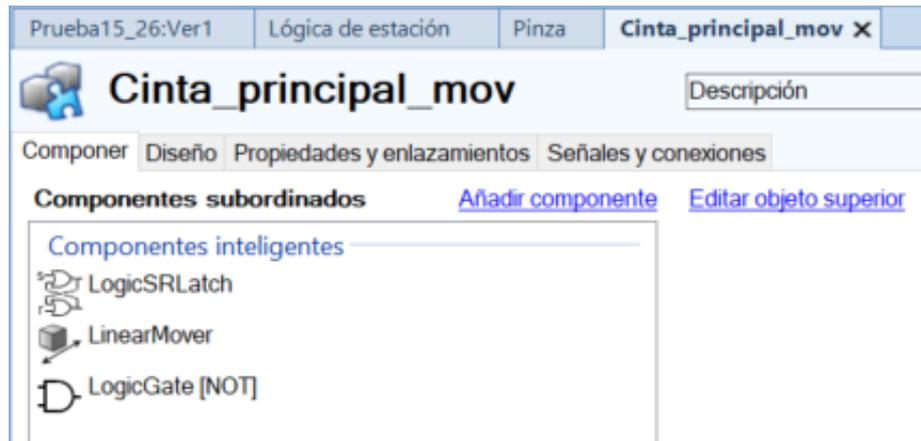


Fig. 33. Componentes subordinados del componente inteligente Cinta Principal.

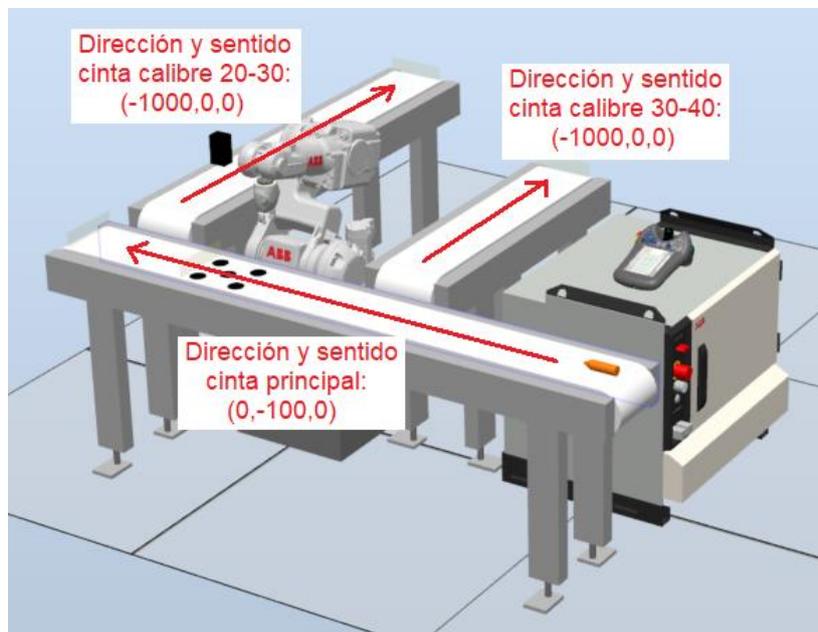


Fig. 34. Dirección y sentido de las cintas funcionando hacia delante.

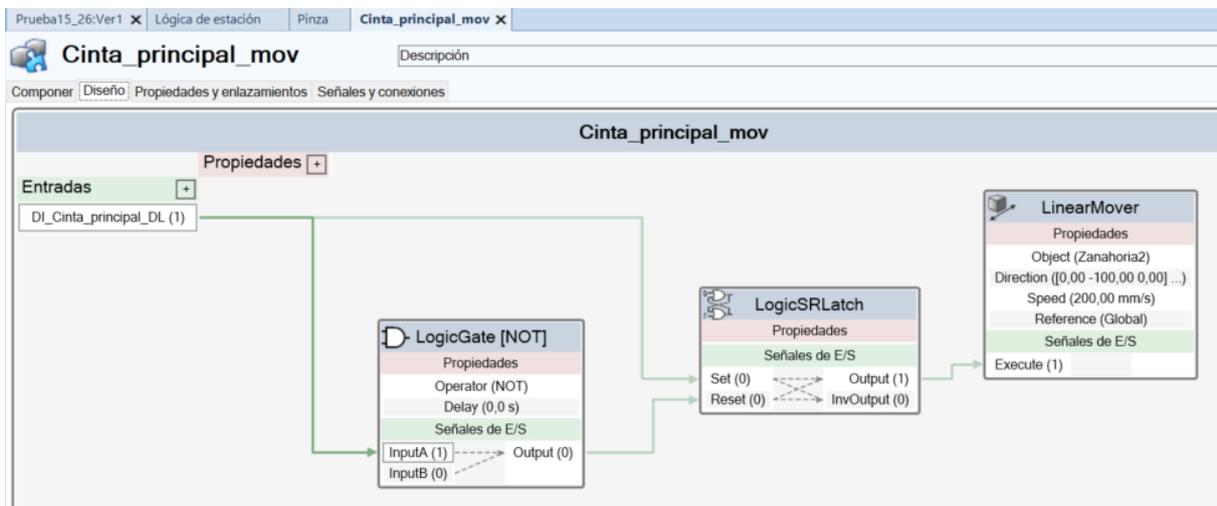


Fig. 35. Diseño del componente inteligente Cinta Principal.

1.6.3. Simulación del sensor de proximidad en RobotStudio

El sensor de proximidad (Fig. 14), que detiene la zanahoria delante del robot, para que la cámara tome una imagen a partir de la cual se decida su calibre y su destino, se simula de la misma forma que los sensores de presencia expuestos en el apartado 1.6.1.

La salida del sensor (SensorOut) está conectada a la entrada digital del controlador DI_Posición1, como se observa en la Fig. 36. De esta manera, cuando el sensor detecta un objeto, la entrada digital DI_Posicion1 marca 1.

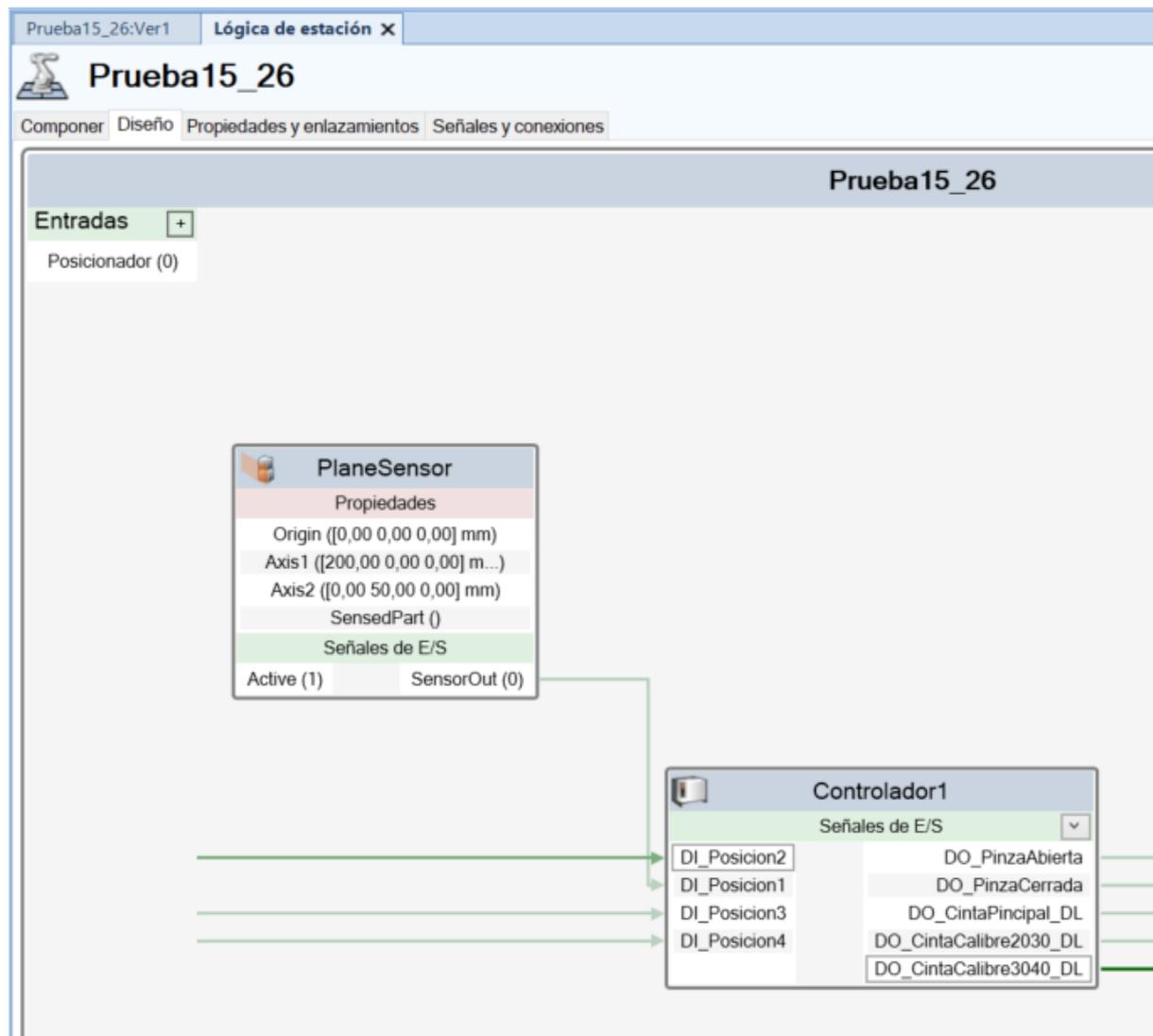


Fig. 36. Lógica de estación.

1.6.4. Diseño pinza y su simulación en RobotStudio

Como se expone en el apartado 1.5.3.1. la pinza está diseñada para coger zanahorias de calibres de entre 20 y 40 mm. Se diseñan dos partes de la pinza: la forma de las garras y las posiciones del eje lineal del servo, que es el mecanismo que provoca el desplazamiento de las garras.

El objetivo es obtener una herramienta con 3 señales digitales de entrada: pinza abierta, pinza cerrada para zanahorias de calibres entre 20 y 30 mm, y pinza cerrada para zanahorias de calibres entre 30 y 40 mm.

- Garras

Las dos garras son idénticas. Como se muestra en la Fig. 37, están compuestas por una estructura metálica y una espuma. Los materiales con los que están fabricadas pueden entrar en contacto con los alimentos, por lo que siguen la normativa europea indicada en el apartado 1.3.2.

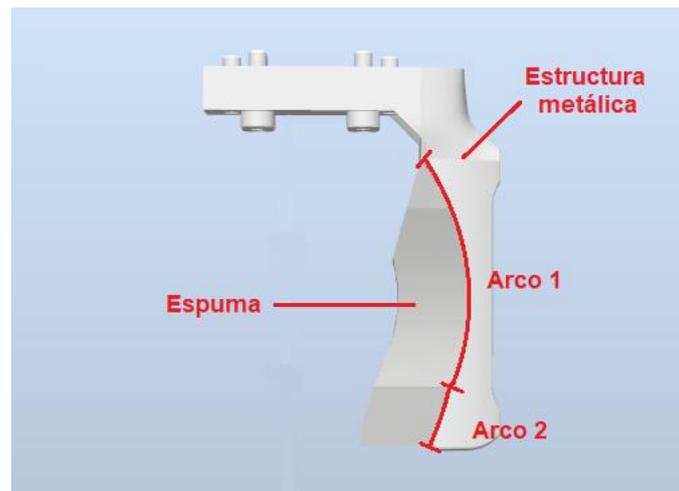


Fig. 37. Partes garra.

La estructura metálica está fabricada con acero inoxidable AISI 316 [29], el cual tiene una resistencia a la tracción de 585 MPa y soporta un esfuerzo de fluencia de 235 MPa. Así puede resistir la presión ejercida para sostener la zanahoria. En el Anexo 2 se puede observar el cálculo de la resistencia de la estructura metálica.

Para poder sujetar zanahorias de entre 20 y 30 mm de diámetro en una misma posición de cerrado fija o zanahorias de entre 30 y 40 mm en otra posición de cerrado fija, la cara de la estructura metálica que debe sostener la zanahoria está compuesta por dos arcos de distintos radios como se observa en la Fig. 37 (más detalles en el plano nº 3). El primer arco de 25,46 mm de radio está adaptado para zanahorias de calibres grandes dentro del mismo rango y el arco 2, de 38,25 mm de radio, está adaptado para zanahorias de calibres pequeños dentro del rango.

La espuma está fabricada con Polietilenglicol, que es un material firme, pero con alto poder de compresión. De esta manera, cuando las garras se cierran para coger una zanahoria de calibre del margen inferior del rango, la espuma contrarresta la holgura entre las estructuras metálicas, como se muestra en la Fig. 24 y cuando la pinza se cierra sobre una zanahoria del margen superior de calibre dentro del rango, la espuma se contrae hasta ocupar solamente 2 mm de grosor, cogiendo la zanahoria sin dañarla, como se observa en la Fig. 22.

- Servo

Se ha simulado el servo como un componente inteligente con tres entradas que responden a tres posiciones: pinza abierta, pinza cerrada (calibre 30-40) y pinza cerrada 2 (calibre 20-30) como se observa en la Fig. 38.

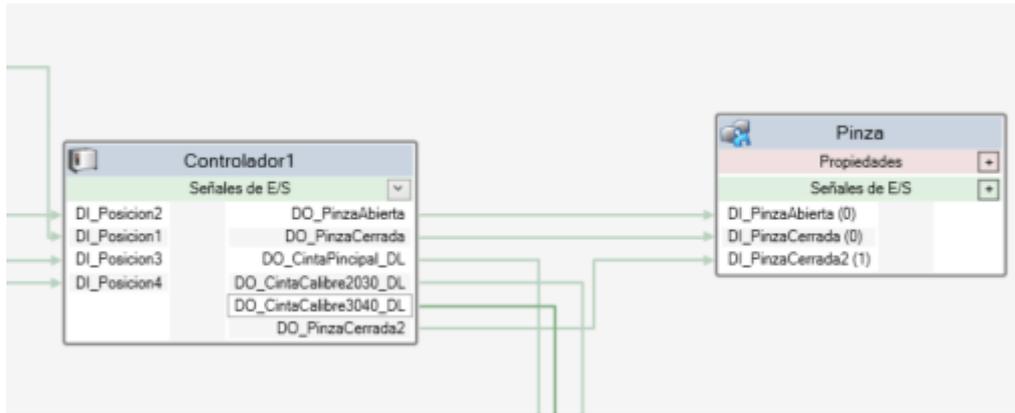


Fig. 38. Lógica de estación.

Cada una de las señales de entrada de la pinza está conectada a la señal de salida del controlador como se observa en la Fig. 38.

El componente inteligente Pinza está compuesto por los siguientes componentes subordinados (como se observa en la Fig. 39):

- PoseMover, PoseMover_2 y PoseMover_3: Mueven los ejes de un mecanismo hasta una posición predefinida. En este caso el mecanismo que se mueve es el servo y las posiciones predefinidas (Fig. 40) son Pinza_Abierta, Pinza_Cerrada y Pinza_Cerrada2.
- Attacher: Conecta un objeto hijo a un objeto padre. En este caso conecta la zanahoria al servo (a la pinza).
- Detacher: Desconecta un objeto conectado. En este caso la zanahoria.



Fig. 39. Componentes subordinados del componente inteligente Pinza.

| Poses | |
|------------------------|-----------------|
| Nombre de pose | Valores de pose |
| Pose de sincronización | [0,00] |
| Pose inicial | [6,80] |
| Pinza_Cerrada | [15,50] |
| Pinza_Abierta | [25,00] |
| Pinza_Cerrada2 | [9,50] |

Fig. 40. Posiciones predefinidas del servo.

Cuando la pinza recibe una señal del controlador para cerrar la pinza, según sea el rango de calibre, la pinza se cierra a dos posiciones diferentes, pero en ambos rangos, para coger la zanahoria, ésta se une al servo con el Attacher, como se puede observar en la Fig. 41.

Cuando la pinza recibe una señal del controlador para abrir la pinza, la pinza se abre hasta su correspondiente posición predefinida y desconecta la zanahoria del servo para soltarla.

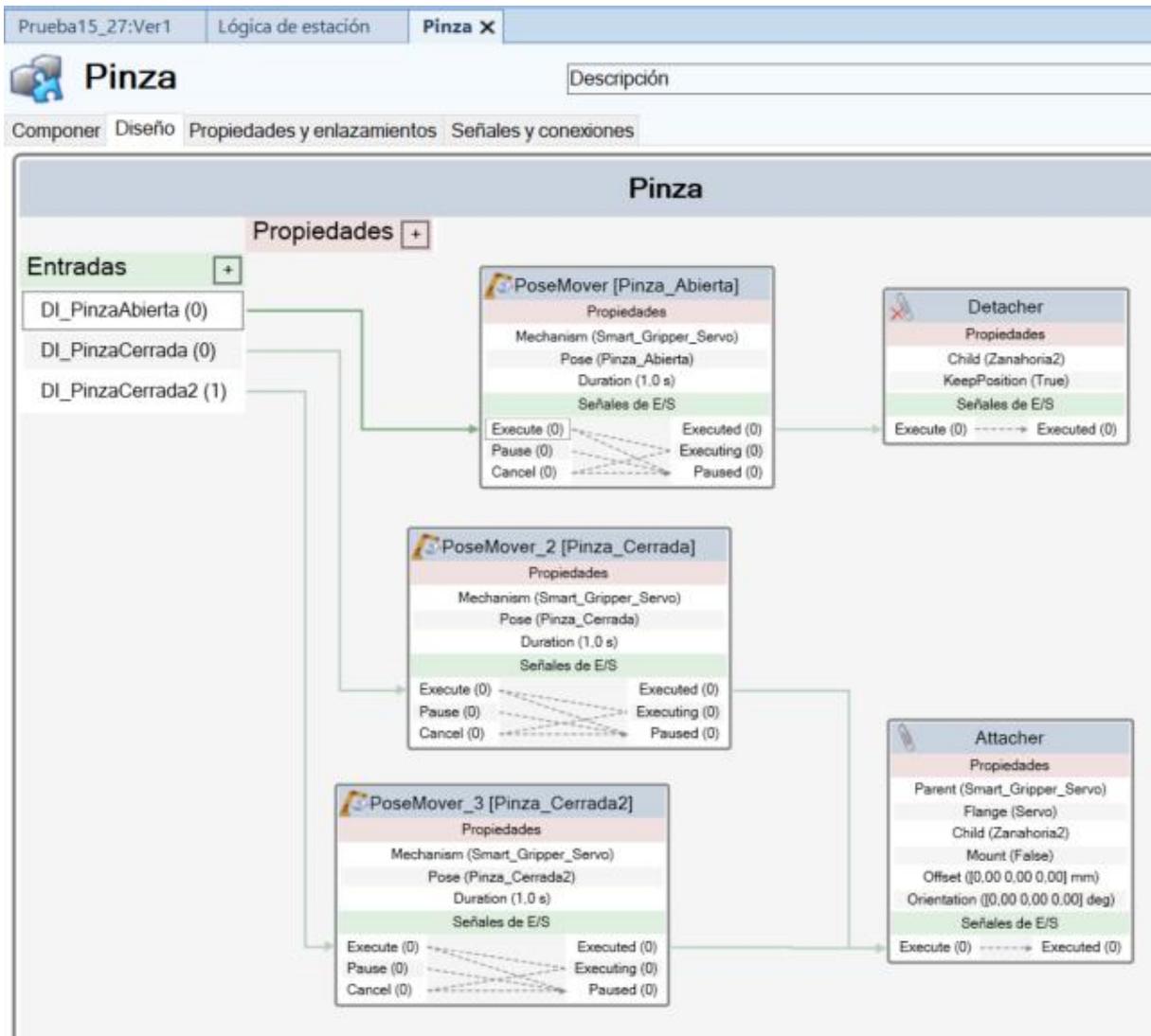


Fig. 41. Diseño del componente inteligente Pinza.

Las posiciones de pinza cerrada, pinza cerrada 2 y pinza abierta que se observan en la Fig. 40 están seleccionadas dentro del rango de movimiento del eje lineal del servo.

Como se indica en la página 63 de las especificaciones del servo [22], el rango de movimiento es de 0 a 50 mm, 25 mm por garra. Las garras se mueven de forma simétrica. El rango de movimiento del servo se puede apreciar en la Fig. 42 (a).

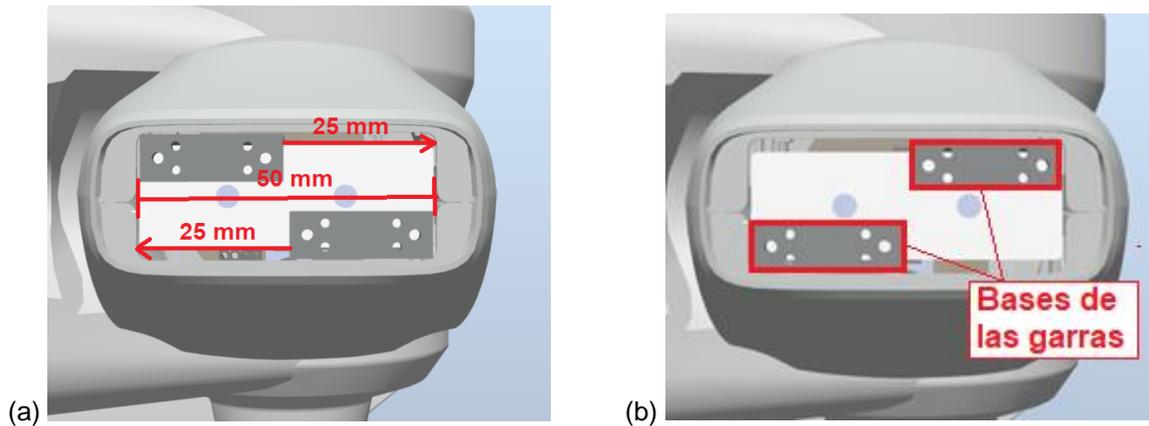


Fig. 42. Rango de movimiento eje servo. (a) Posición predeterminada de sincronización [0,00].
(b) Posición predeterminada Pinza_Abierta [25,00].

En la Fig. 42 (b) se observa el servo en posición de pinza abierta. La distancia mínima entre las partes metálicas es de 52,4 mm (Fig. 43), por lo que no hay ningún problema de accesibilidad para acercarse a zanahorias de calibres grandes como las de 40 mm.

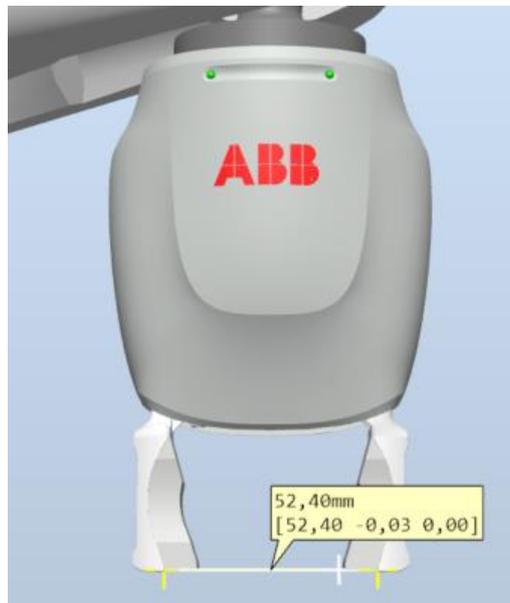


Fig. 43. Distancia mínima entre estructuras metálicas con la pinza abierta.

Las posiciones predeterminadas de cierre están seleccionadas para poder sostener zanahorias del mismo grupo de calibre. Estas son : Pinza_Cerrada2 [9,50] para calibres de 20 a 30 mm y Pinza_Cerrada [15,50] para calibres de 30 a 40 mm.

En la Fig. 23 y en la Fig. 25 (apartado 1.5.3.1) se muestran las distancias máximas y mínimas que quedan entre las garras con estas posiciones respectivamente.

1.6.5. Distancia del sensor de la cámara a la cinta principal

Es necesario calcular la distancia de trabajo entre el sensor de la cámara y la cinta principal, que es el objeto del cual se toman las imágenes.

La cámara empleada para tomar las imágenes es el modelo CV-M77 de la marca Jai [30], cuyas características principales son:

- Distancia focal = 8 mm
- Tamaño del sensor CCD = 1/3" = 4,8 (h) x 3,6 (v) mm

Se desea tener un campo de visión en el eje X igual a 200 mm la dirección de los ejes de coordenadas en RobotStudio.

Para obtener la distancia de trabajo se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Distancia de trabajo} = \frac{\text{Distancia focal} \cdot \text{Campo de visión en eje X}}{\text{Tamaño del sensor (v)}} \quad (1)$$

$$\text{Distancia de trabajo} = \frac{8 \cdot 200}{3,6} = 444,5 \text{ mm} \quad (2)$$

La distancia entre el sensor de la cámara y la cinta principal debe ser de 444,5 mm.

Una vez se conoce la distancia de trabajo, se puede calcular el campo de visión en el eje Y con la siguiente fórmula:

$$\text{Campo de visión en el eje Y} = \frac{\text{Distancia de trabajo} \cdot \text{Tamaño del sensor (v)}}{\text{Distancia focal}} \quad (3)$$

$$\text{Campo de visión en el eje Y} = \frac{444,5 \cdot 4,8}{8} = 266,7 \text{ mm} \quad (4)$$

El campo de visión que se obtiene es de 266,7 x 200 mm.

Para saber la altura absoluta a la que se debe colocar el sensor de la cámara se debe sumar la distancia de trabajo a la altura de la cinta principal, que es de 700 mm.

$$\text{Altura absoluta del sensor} = \text{Distancia de trabajo} + \text{Altura cinta principal} \quad (5)$$

$$\text{Altura absoluta del sensor} = 444,5 + 700 = 1\ 144,5 \text{ mm} \quad (6)$$

La altura absoluta a la que se debe colocar el sensor de la cámara es de 1 144,5 mm.

1.6.6. Calibración de la imagen en Sherlock para sincronizar con RobotStudio

El origen de coordenadas principal del proyecto corresponde con el origen de coordenadas de la simulación en RobotStudio, el cual se puede observar en el plano nº 6. Las coordenadas en RobotStudio coinciden con las coordenadas en la realidad (escala 1:1).

El origen de coordenadas del robot IRB 140 se encuentra en la base y corresponde con las coordenadas absolutas (47,972;0;250) mm. El origen de coordenadas del controlador es el mismo que el del robot.

La imagen en Sherlock se va a procesar con el objetivo de obtener el calibre de la zanahoria y la posición y orientación en la que se encuentra. Para ello, se necesita calibrar la imagen en Sherlock.

Para simplificar la programación del movimiento del robot en código Rapid se establece el origen de coordenadas (0,0) de la imagen en Sherlock en la posición (375,0), como se observa en la Fig. 44. Al ser un plano, no tiene coordenada en el eje Z, solo tiene coordenadas en los ejes X e Y.

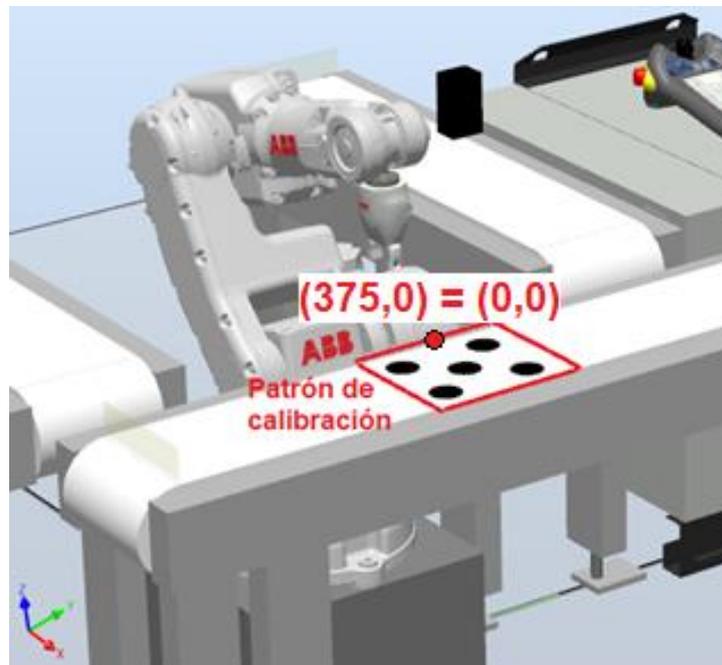


Fig. 44. Patrón de calibración en RobotStudio + Equivalencia del origen de coordenadas en Sherlock

El método que se emplea para calibrar la imagen en Sherlock es la calibración por puntos [31]. En el cual se emplea un patrón de calibración como el que se observa en la Fig. 45.

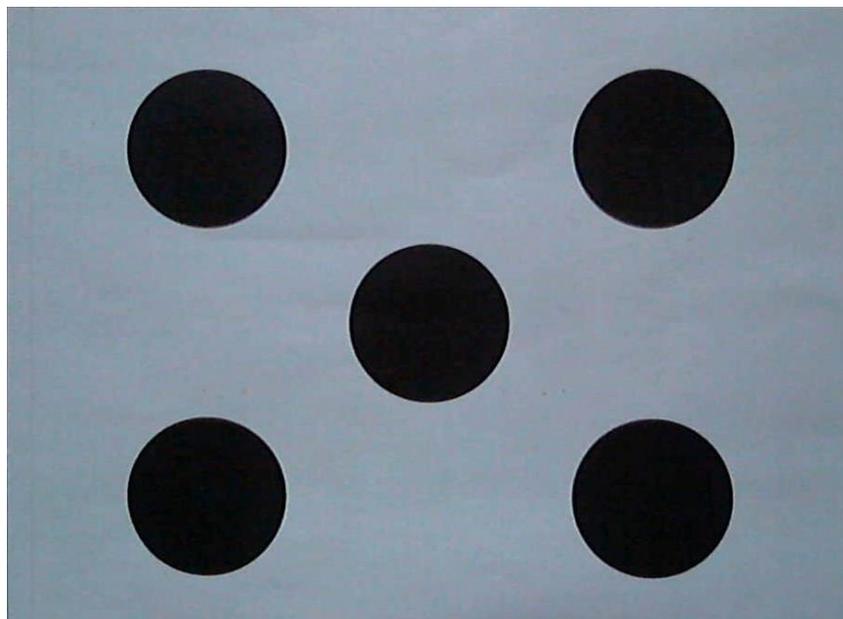


Fig. 45. Patrón de calibración.

Para realizar este método se obtienen las coordenadas de los centroides de los cinco círculos tanto en RobotStudio (Fig. 46) como en Sherlock (Fig. 47).

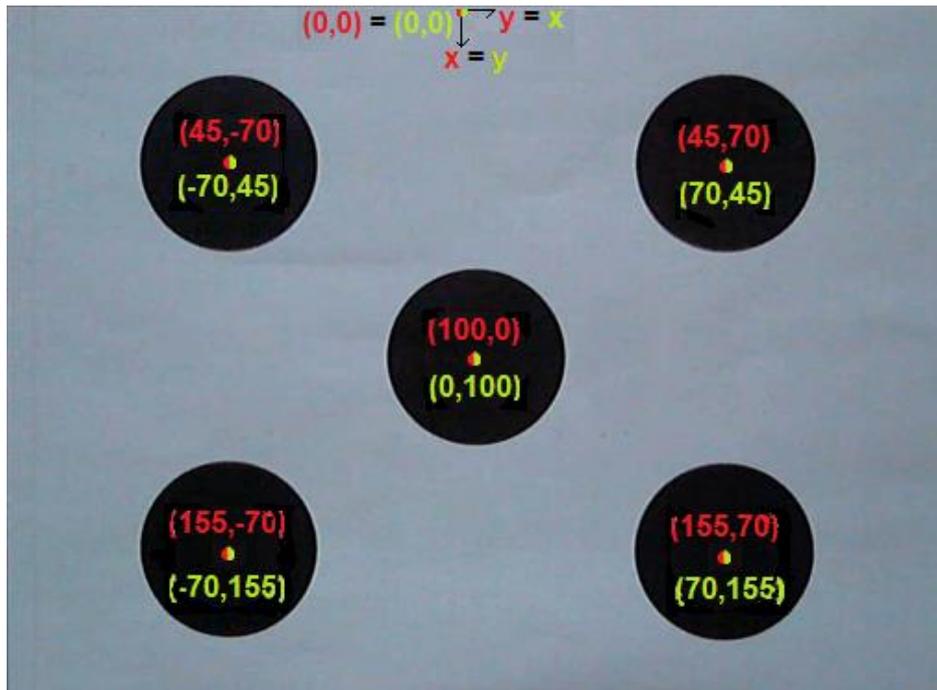


Fig. 46. Coordenadas de los centroides de los círculos en RobotStudio.

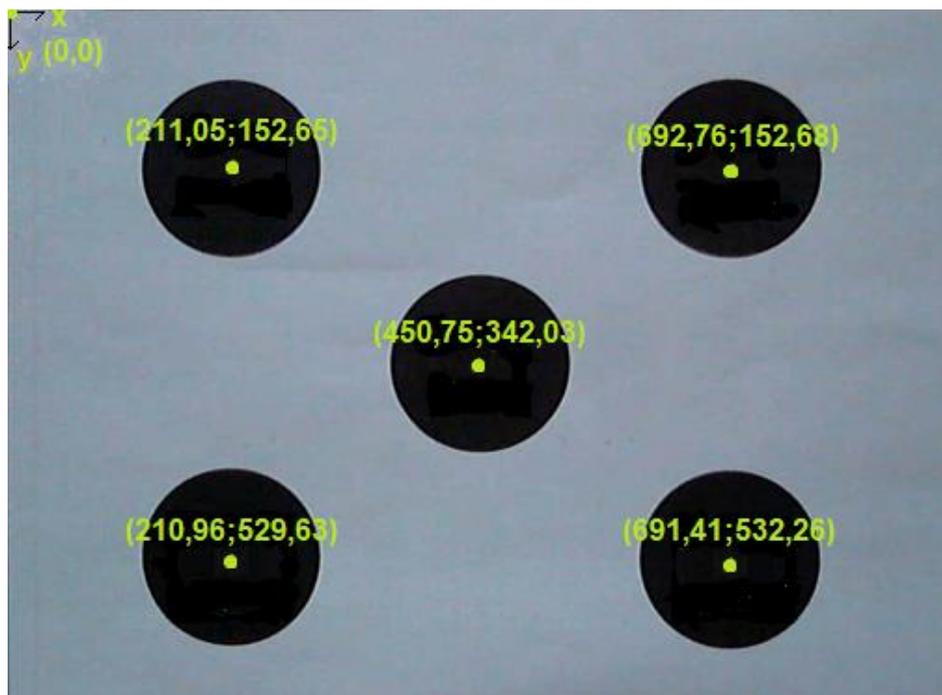
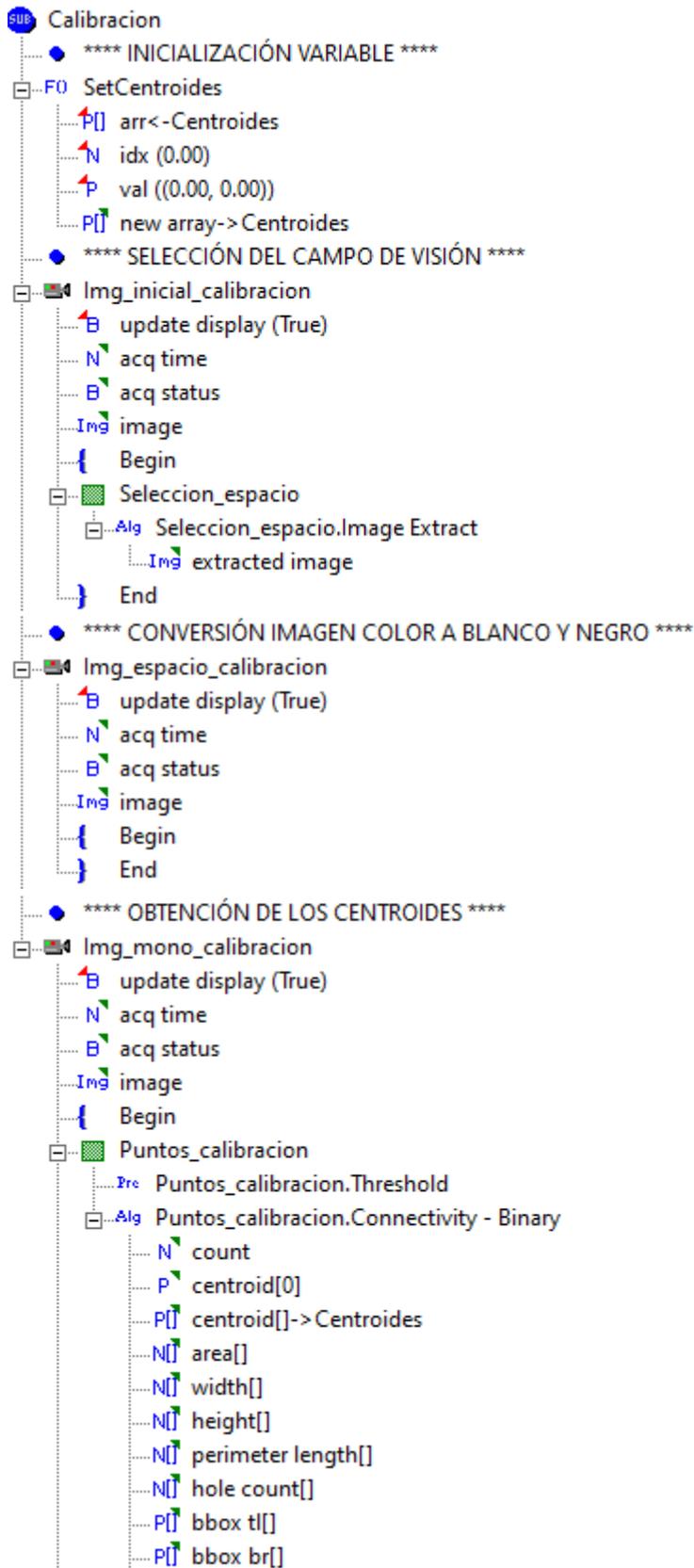


Fig. 47. Coordenadas de los centroides de los círculos en Sherlock.

Las coordenadas en RobotStudio están referidas al origen de coordenadas relativo que se muestra en la Fig. 44. Como se puede observar en la Fig. 46, las direcciones de los ejes de coordenadas X e Y en RobotStudio (rojo) no coinciden con las direcciones de los ejes de Sherlock (verde). Esto no acarrea un problema, pues los valores se reasignan en el código del programa principal de Sherlock que se puede observar en el Anexo 3. Para realizar el método de calibración por puntos, se utilizan las coordenadas referidas a los ejes de Sherlock (verde).

Para obtener los centroides de los círculos en Sherlock (Fig. 47), se ejecuta el siguiente código en Sherlock:



```

...N[] elongation[]
...N[] fiber width[]
...N[] fiber length[]
...N[] form factor[]
...N[] ellipse major[]
...N[] ellipse minor[]
...N[] ellipse angle[]
...N[] ellipse axes ratio[]
...N[] ellipse roundness[]
...N[] feret bounding box angle[]
...P[] feret bounding box center[]
...P[] feret bounding box lt[]
...P[] feret bounding box lr[]
...P[] feret bounding box br[]
...P[] feret bounding box bl[]
} End
    
```

La imagen `Img_inicial_calibracion` se puede observar en la Fig. 48, la imagen `Img_espacio_calibracion` se puede observar en la Fig. 49 y la imagen `Img_mono_calibracion` se puede observar en la Fig. 50.

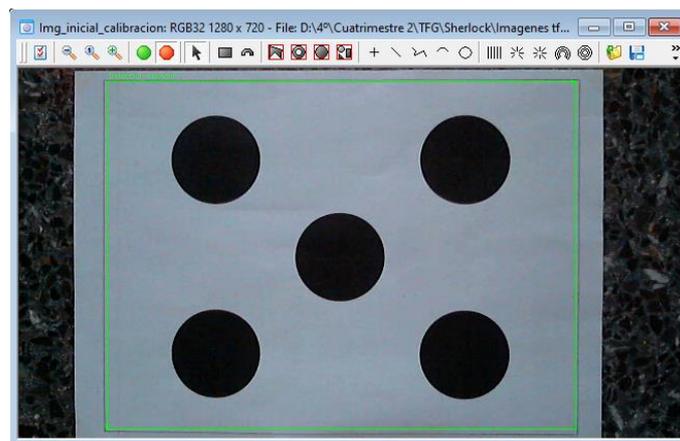


Fig. 48. `Img_inicial_calibracion`.

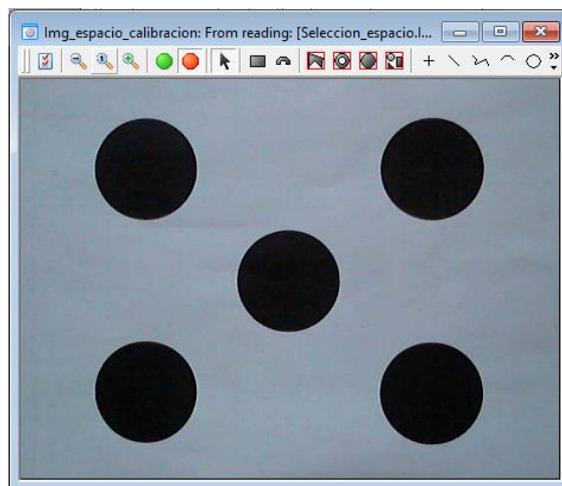


Fig. 49. `Img_espacio_calibracion`.

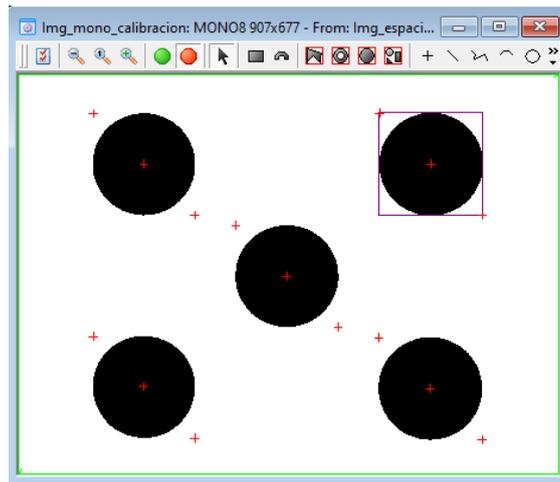


Fig. 50. Img_mono_calibracion.

Los centroides obtenidos con el algoritmo Connectivity-Binary se almacenan en la variable Centroides como se puede ver en la Fig. 51.

| Index | x | y |
|-------|------------|------------|
| 0000 | 692.764893 | 152.667587 |
| 0001 | 691.409973 | 532.260132 |
| 0002 | 450.747223 | 342.026794 |
| 0003 | 211.051346 | 152.647003 |
| 0004 | 210.962265 | 529.634094 |

Fig. 51. Variable Centroides.

A partir de la imagen Img_mono_calibración de Sherlock, entrando en las opciones (Fig. 52), se realiza la calibración por puntos introduciendo las coordenadas de los centroides según Sherlock y según RobotStudio como se observa en la Fig. 53.

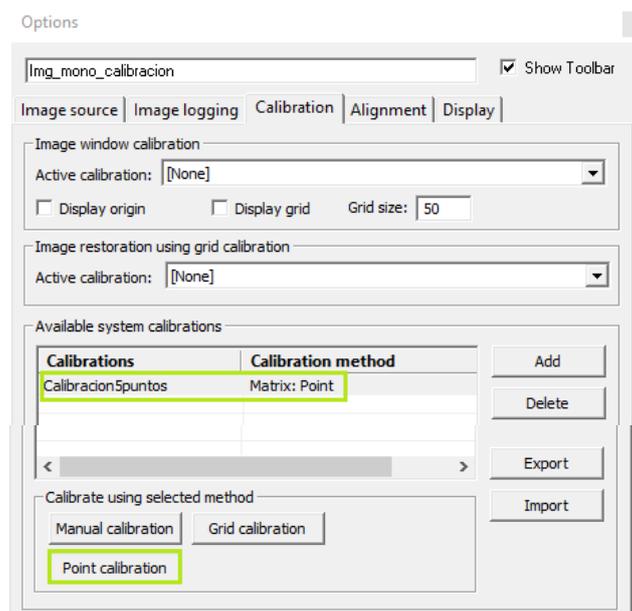


Fig. 52. Opciones Img_mono_calibración.

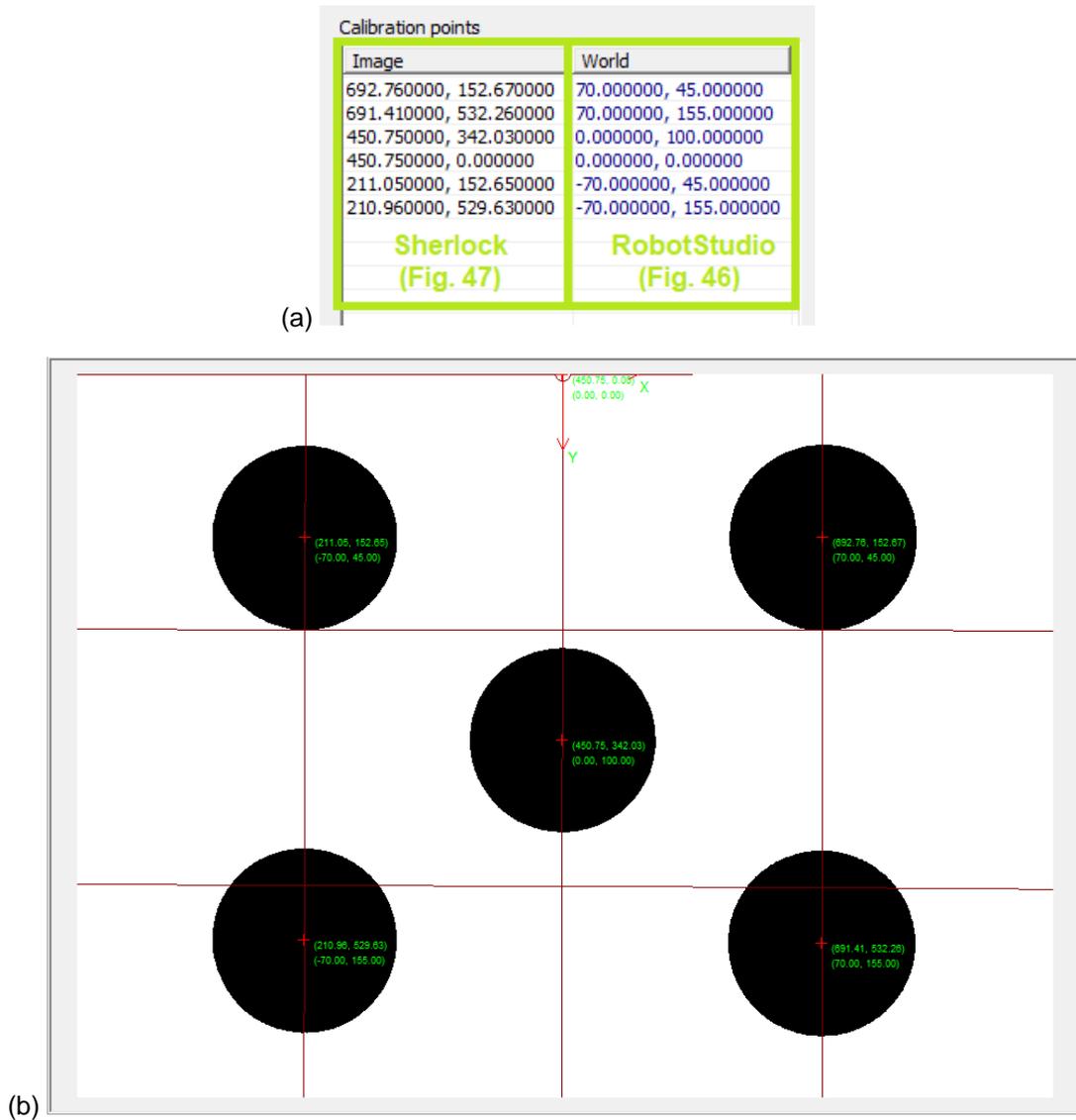


Fig. 53. Calibración por puntos. (a) Tabla de los puntos de calibración. (b) Gráfico de los puntos de calibración.

La posición final de los centroides aplicando la calibración realizada se puede observar en la Fig. 54.

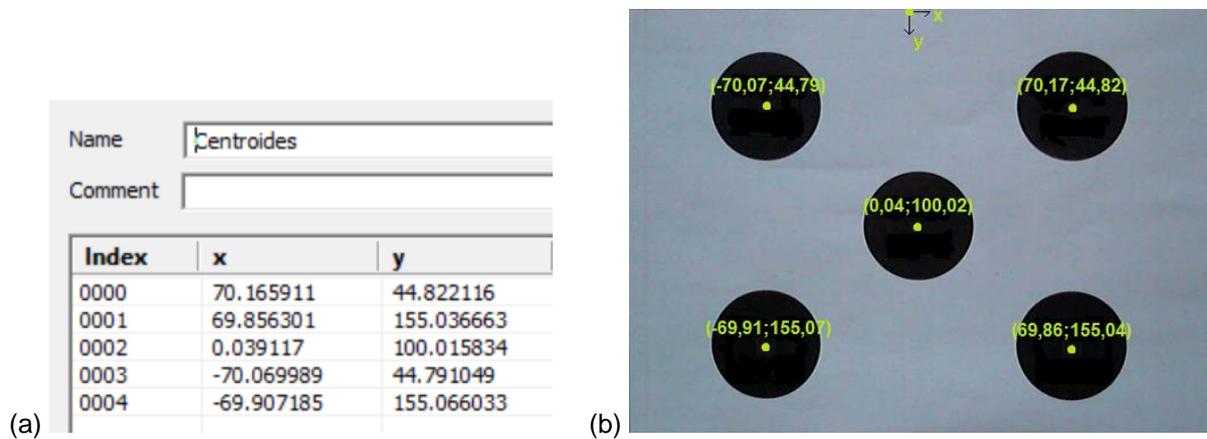


Fig. 54. (a) Variable Centroides con la imagen calibrada. (b) Coordenadas de los centroides de los círculos con la imagen calibrada.

Calculando la diferencia entre las coordenadas de los centroides de la imagen calibrada (Fig. 54 (b)), con las coordenadas reales (Fig. 46 (verde)) obtenemos el error de la calibración. Los puntos siguen el índice marcado en la Fig. 54 (a).

$$\text{Error de calibración} = \text{Coordenadas imagen calibrada} - \text{Coordenadas reales} \quad (7)$$

$$\text{Error de calibración} = \begin{bmatrix} 70,17 & 44,82 \\ 69,86 & 155,04 \\ 0,04 & 100,02 \\ -70,07 & 44,79 \\ -69,91 & 155,07 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 70 & 45 \\ 70 & 155 \\ 0 & 100 \\ -70 & 45 \\ -70 & 155 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,17 & 0,18 \\ 0,14 & 0,04 \\ 0,04 & 0,02 \\ 0,07 & 0,21 \\ 0,09 & 0,07 \end{bmatrix} \text{ mm} \quad (8)$$

En Sherlock, la diferencia máxima en el eje X es de $\pm 0,17$ mm y la máxima diferencia en el eje Y es de $\pm 0,21$ mm. Así que el error de calibración es $\pm (0,17;0,21)$ mm.

Si se tienen en cuenta las direcciones de los ejes de la simulación en RobotStudio (Fig. 46 (rojo)), el error de calibración es $\pm (0,21;0,17)$ mm.

Aplicando la calibración realizada a la imagen de una zanahoria se puede obtener el calibre real de dicha zanahoria y su posición respecto al origen de coordenadas reflejado en la Fig. 44.

1.6.7. Procesado de la imagen en Sherlock

Para obtener el calibre, la posición y la orientación de la zanahoria, cuando Sherlock recibe una imagen se ejecuta el código que se puede observar en el Anexo 3.

En primer lugar, el procesado de la imagen consiste en interpretar la existencia del color naranja de la zanahoria para distinguir el espacio que ocupa mediante el algoritmo Color Map. A continuación, se hace una conversión de la imagen a binario: negro para la zanahoria y blanco para el resto.

A modo de ejemplo, si a la Fig. 55 se le aplica este procesado, se obtiene la Fig. 56. Img_zanahoria.Fig. 56.

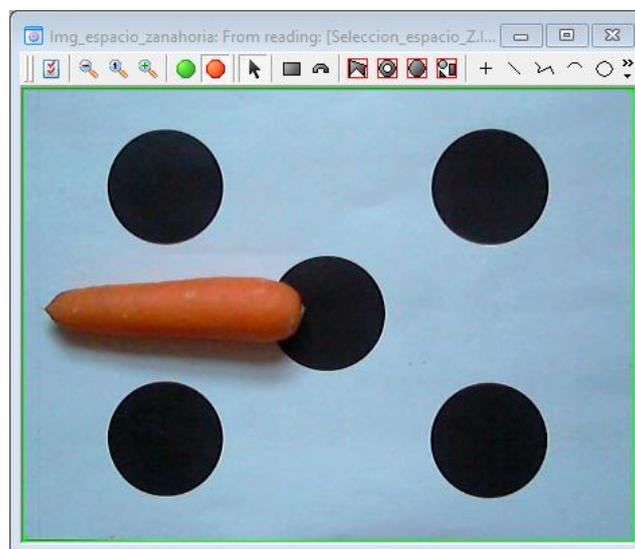


Fig. 55. Img_espacio_zanahoria.

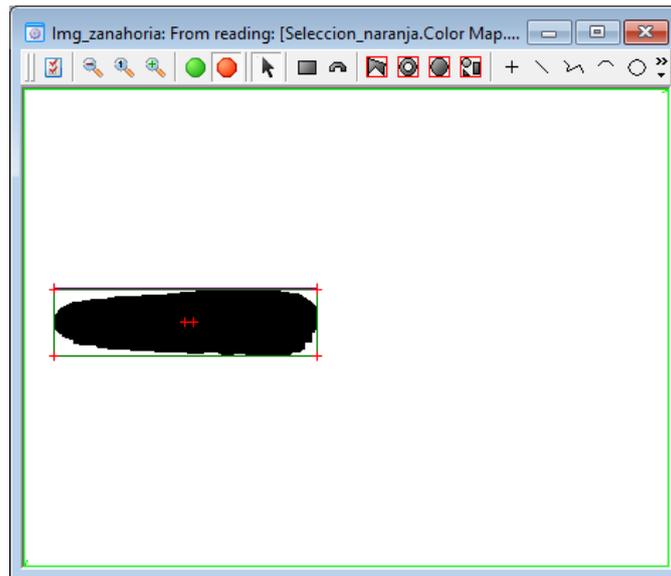


Fig. 56. Img_zanahoria.

El algoritmo Color Map filtra los colores, que se han entrenado previamente, de una imagen. En este caso se ha entrenado el color naranja como se observa en la Fig. 57. El proceso de entrenamiento consiste en seleccionar varios tonos de naranja de distintas imágenes con el objetivo de que el programa reconozca dicho color.

Available colors
Double-click a color to change its status

| Used | Name | Colors | Points | Map Id |
|------|---------|--------|--------|--------|
| Yes | naranja | | 4 | 0 |

Fig. 57. Tonos seleccionados en el entrenamiento del color naranja.

Para obtener la posición, la orientación y el calibre de la zanahoria se emplea el algoritmo Connectivity-Binary sobre la Img_zanahoria (Fig. 56). En la Fig. 58 se puede observar con más detalle los resultados obtenidos a partir del algoritmo.

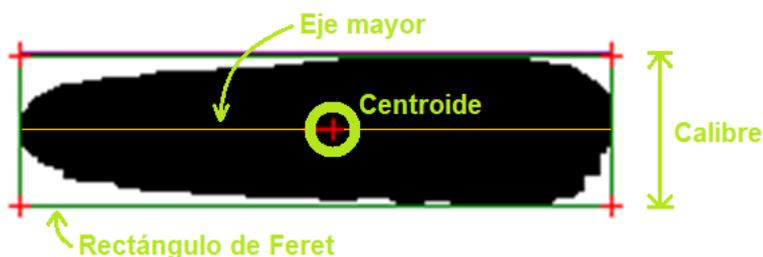


Fig. 58. Resultados del Connectivity-Binary.

El centroide es el punto que marca la posición de la zanahoria. Es el punto al que acude el robot a coger la zanahoria. Como se expone en el apartado 1.6.6, las direcciones de los ejes en Sherlock (Fig. 46 (verde)) no coinciden con las direcciones de los ejes en RobotStudio (Fig. 46 (rojo)). Como se puede observar en el Anexo 3, donde se encuentra el código de Sherlock, esto se solventa asignando la coordenada Y de Sherlock a la coordenada X de RobotStudio y viceversa.

Calculando el lado menor del rectángulo de Feret se obtiene el calibre de la zanahoria. El rectángulo de Feret es el rectángulo de menor tamaño que contiene el contorno, con los dos lados paralelos al eje mayor del contorno, siendo este la mayor línea que se puede trazar dentro del objeto.

La orientación de la zanahoria es el ángulo del eje mayor (Fig. 58).

Los valores asignados a las variables tras el cálculo de la posición, la orientación y el calibre de la zanahoria, que se puede observar en la Fig. 55, se muestran en la Fig. 59.

| | | |
|---|--------------------------------|------------------------|
| N | AnguloZanahoria | 90.00 |
| N | AnguloZanahoriaCalibrado | 180.00 |
| S | S_AnguloZanahoriaCalibrado | 180.000 |
| N | CalibreZanahoria | 27.70 |
| P | CentroideZanahoria_Sherlock | (-61.53, 97.02) |
| S | CentroideZanahoria_RobotStudio | 94.571,-61.532 |
| S | CentroideAnguloZanahoria_Robot | 94.571,-61.532,180.000 |

Fig. 59. Valores de la posición, el ángulo y el calibre de la Fig. 55.

1.6.8. Error en la detección de la posición, el ángulo y el calibre de la zanahoria.

El error en la detección del calibre, la posición y la orientación tiene dos causas: el error de la calibración de la imagen y el error del algoritmo Color Map.

- Error del calibre

En la detección del calibre, el error de calibración puede afectar, ya que, como se puede observar en (8), el error de calibración es distinto dependiendo de la zona de la imagen. Si se repara sencillamente en el error máximo de calibración, su valor es de $\pm 0,21$ mm.

El error causado por el algoritmo Color Map es complejo de evaluar. Sin embargo, es más sencillo comprobar el error total del calibre. Para ello se comparan las medidas obtenidas por Sherlock de cada una de las zanahorias con el valor medido empleando un pie de rey, como se observa en la Fig. 60.



Fig. 60. Calibre de la zanahoria medido con un pie de rey.

En la TABLA I se listan todas las medidas empleadas para el cálculo de los errores en el calibre.

TABLA I
Calibres y sus errores (datos en mm)

| | Pie de rey | Sherlock | | | Media Sherlock | Error | Error sin desviación |
|---------------|------------|----------|-------|-------|----------------|-------|----------------------|
| Calibre 20-30 | 27,10 | 29,53 | 29,42 | 28,30 | 29,08 | 1,98 | 0,63 |
| | 24,82 | 26,39 | 25,42 | 26,97 | 26,26 | 1,44 | 0,09 |
| | 26,02 | 27,70 | 28,31 | 28,04 | 28,02 | 2,00 | 0,65 |
| Calibre 30-40 | 33,42 | 35,20 | 34,47 | 33,65 | 34,44 | 1,02 | - 0,33 |
| | 35,34 | 36,36 | 37,27 | 35,15 | 36,26 | 0,92 | - 0,43 |
| | 33,30 | 34,90 | 33,98 | 33,75 | 34,21 | 0,91 | - 0,44 |
| Destrío | 15,86 | 16,94 | 17,82 | 16,32 | 17,02 | 1,16 | - 0,19 |

La primera columna corresponde al calibre medido con el pie de rey (precisión $\pm 0,02$ mm). Las columnas 2 a 4 corresponden con las medidas obtenidas por Sherlock correspondientes a distintas imágenes de la misma zanahoria. La columna 5 es el valor medio de los calibres obtenidos por Sherlock. La columna 6 es el error en el calibre. Cabe destacar que el error es siempre positivo y varía entre 0,91 mm y 2,00 mm. De ello se deduce que hay un error sistemático de desviación en la medida del calibre. Calculando el valor medio del error, se obtiene una desviación media de 1,35 mm. Finalmente, en la columna 7 se muestra el error en la medida sin tener en cuenta el error sistemático de la desviación. El valor de error obtenido es de $\pm 0,65$ mm.

El error sistemático obtenido es debido al procesado de la imagen con el algoritmo Color Map porque el error debido a la calibración ya se ha visto que no tiene desviación.

Si $\pm 0,65$ mm es el error total, y $\pm 0,21$ mm es el error de la calibración, suponiendo que los errores suman de forma cuadrática, se puede despejar el valor del error debido al algoritmo de procesado.

$$Error\ total = \sqrt{Error\ calibración^2 + Error\ Color\ Map^2} \quad (9)$$

$$Error\ Color\ Map = \sqrt{Error\ total^2 - Error\ calibración^2} \quad (10)$$

$$Error\ Color\ Map = \sqrt{0,65^2 - 0,21^2} = \pm 0,62\ mm \quad (11)$$

En el código de Sherlock (Anexo 3), dado que se ha detectado un error sistemático de 1,35 mm, se resta este valor para eliminar este error sistemático de la medida.

- Error de posición

De igual forma que en la detección del calibre, el error de calibración puede afectar a la posición. Así que también el error máximo de posición debido a la calibración es de $\pm 0,21$ mm.

Para conocer el error total en la posición, se debe averiguar la posición por otro método que sirva de referencia de forma similar a como se ha procedido con el pie de rey para estimar el error en el calibre.

En este caso se van a ubicar varias zanahorias en posiciones conocidas (Fig. 61) y procesarlas con Sherlock.

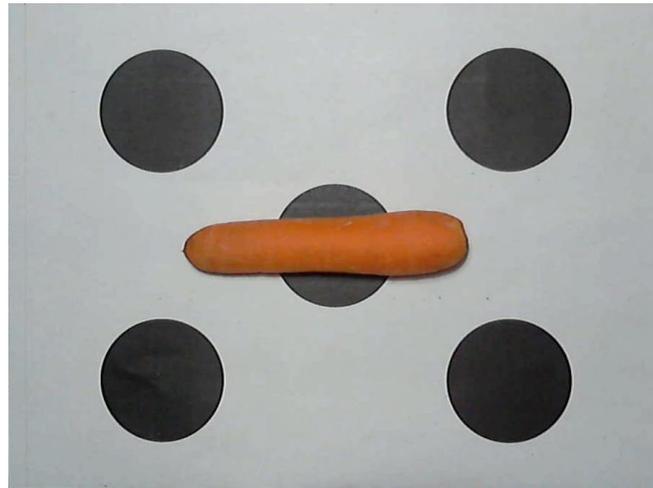


Fig. 61. Zanahoria en ubicación conocida.

Siguiendo un proceso similar al realizado para el caso del calibre, se obtiene que no hay un desplazamiento en el error de posición y, únicamente, el error máximo registrado es de $\pm (1,12;1,33)$ mm (según la dirección de los ejes de Sherlock, los cuales se observan de color verde en la Fig. 46). Los valores obtenidos en estas pruebas están en la TABLA II.

TABLA II
Posiciones y sus errores (datos en mm)

| Posición conocida | Posición Media Sherlock | Error |
|-------------------|-------------------------|--------------|
| (0,100) | (0,25;101,33) | (0,25;1,33) |
| (70,45) | (69,30;45,65) | (-0,70;0,65) |
| (70,155) | (70,98;156,07) | (0,98;1,07) |
| (-70,45) | (-68,88;44,12) | (1,12;-0,88) |
| (-70,155) | (-69,07;154,57) | (0,93;-0,43) |

Como conclusión, el error obtenido a la hora de detectar la posición no es relevante para que el robot coja la zanahoria, pues, como se observa en la Fig. 43, el espacio entre las garras abiertas es suficiente para coger la zanahoria sin tropezar con ella, ya que el espacio sobrante es mayor que el error de posición. Lo único que pasaría es que, al cerrar las pinzas, la zanahoria se desplazaría ligeramente, pero este desplazamiento no afecta al agarre.

- Error de orientación

En este caso, el origen del error proviene de una combinación entre el error de calibración y el error del calibre, puesto que ambos errores afectan a la determinación del eje mayor, que es el eje a partir del cual se obtiene el ángulo que marca la orientación de la zanahoria. Cabe recordar, que la longitud del eje mayor se corresponde con la longitud de la zanahoria.

La posición de cada uno de los dos extremos del eje mayor tiene un error similar al error de calibre. Por lo tanto, el error máximo en el ángulo del eje mayor se da cuando en ambos extremos del eje, el error en los puntos conduzca a una mayor desviación angular, como se observa en la Fig. 62. Este error es inversamente proporcional a la longitud de la zanahoria.

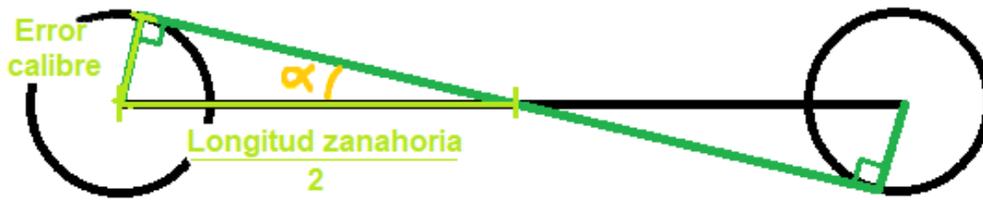


Fig. 62. Error de orientación máximo.

A partir de la Fig. 62, por geometría se obtiene la siguiente relación:

$$\sin(\alpha) = \frac{\text{Error de calibre}}{\frac{\text{Longitud de la zanahoria}}{2}} \tag{12}$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{\text{Error de calibre}}{\frac{\text{Longitud de la zanahoria}}{2}}\right) \tag{13}$$

Suponiendo un valor de longitud de zanahoria de 140 mm y teniendo en cuenta que el error de calibre es $\pm 0,65$ mm, el error de orientación es de $\pm 0,53^\circ$.

1.6.9. Comunicación entre Sherlock y el controlador

La comunicación entre Sherlock y el controlador simulado en RobotStudio se realiza por vía TCP/IP [32].

En Sherlock, este tipo de conexión se configura seleccionando a Sherlock como servidor y seleccionando el puerto, que en este caso es 1 024, como se observa en la Fig. 63. También es necesario saber la dirección IP del ordenador en el que se ejecuta el Sherlock, que en este caso es 192.168.1.169. Esta configuración se realiza de forma manual fuera del código.

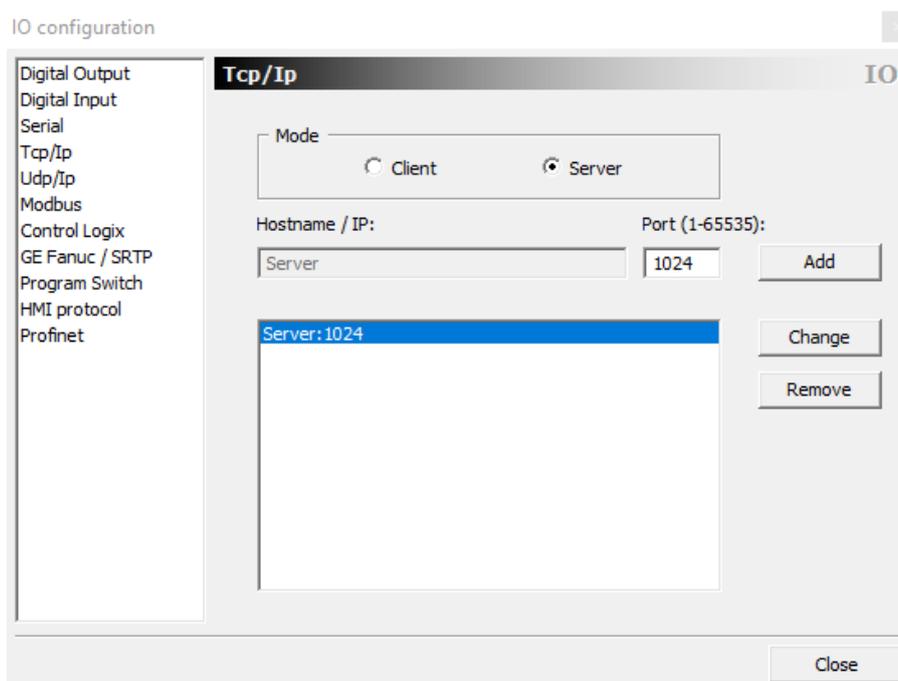


Fig. 63. Ventana de configuración de Entradas/Salidas en Sherlock.

Controlador en RobotStudio (Anexo 3)



Sherlock (Anexo 2)

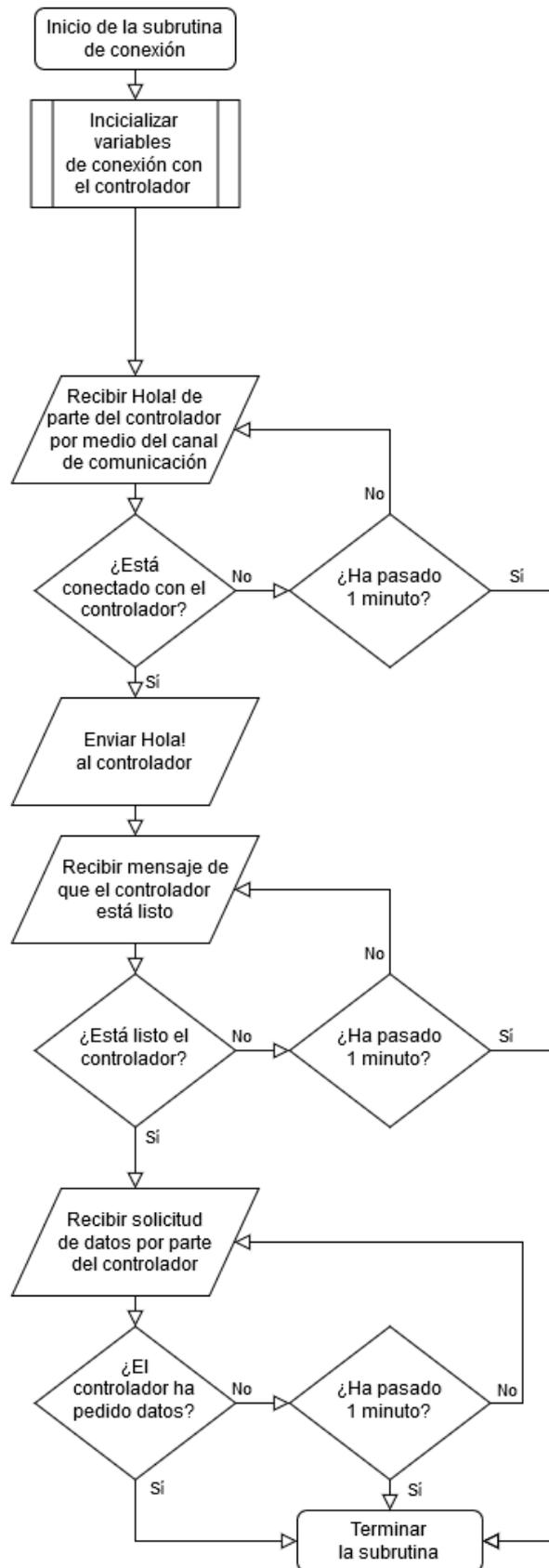


Fig. 64. Diagramas de flujo conexión inicial Sherlock-Controlador.

Para poder comunicarse mediante el protocolo TCP/IP, el controlador emplea canales de comunicación o zócalos (sockets). Para crear un nuevo canal, en el código Rapid se usa la instrucción SocketCreate. Para realizar la conexión con el ordenador donde se ejecuta el Sherlock, se utiliza la instrucción SocketConnect. Finalmente, para cerrar el canal de comunicación se emplea la instrucción SocketClose.

Antes de empezar a ejecutar el código principal del programa se establece la conexión entre Sherlock y el controlador. Para ello se ejecutan la subrutina de conexión en Sherlock expuesta en el Anexo 2 y las instrucciones de conexión en el código del controlador simulado en RobotStudio expuestas en el Anexo 3.

Para enviar un mensaje al controlador, Sherlock emplea la instrucción Send Line y para recibir un mensaje del controlador, Sherlock emplea la instrucción Receive Line.

Para enviar un mensaje a Sherlock, en el código Rapid del controlador se usa la instrucción SocketSend y para recibir un mensaje de Sherlock utiliza el comando SocketReceive.

El proceso de conexión se ve reflejado en el diagrama de flujo de la Fig. 64.

1.6.10. Código de comunicación

Para enviar al controlador de una sola vez todos los datos sobre las zanahorias calculados en Sherlock de una sola vez, se utiliza un código. Cuando el controlador recibe este código, mediante la programación establecida (Anexo 4) interpreta los datos.

El código tiene la siguiente estructura:

$X + "," + Y + "," + A + S$

Siendo X la coordenada de la zanahoria en el eje X, Y la coordenada de la zanahoria en el eje Y, A el ángulo de la zanahoria y S el símbolo de la clasificación por calibre correspondiente.

El ángulo de la zanahoria se envía siguiendo la referencia de la Fig. 65.



Fig. 65. Ángulo zanahoria.

Los símbolos según la clasificación del calibre son tres: \$, @ y #. Si el calibre de la zanahoria pertenece al rango de 20 a 30 mm se envía el símbolo \$, si el calibre de la zanahoria pertenece al rango de 30 a 40 mm se envía el símbolo @ y si la zanahoria es de destrío se envía el símbolo #.

Por ejemplo, para una zanahoria con calibre de 27,50 mm (rango 20-30 mm), cuya posición es (140,52;-69,29) mm y su orientación es de 27,50°, el código es: "140.52,-69.29,27.50\$".

1.6.11. Capacidad del sistema

El sistema simulado en RobotStudio es una versión del sistema real limitada para tener una sola zanahoria en circulación, pues para realizar la prueba del correcto funcionamiento del sistema de clasificación es suficiente.

Tras unas pruebas de simulación, se puede afirmar que una zanahoria con calibre de entre 20 y 30 mm tarda un tiempo medio de 16,15 s (segundos) en realizar un ciclo completo, es decir, desde que entra al sistema hasta que sale. Por otra parte, una zanahoria con calibre de entre 30 y 40 mm tarda un tiempo medio de 13,68 s en realizar un ciclo y una zanahoria de destrío tarda 8,84 s. Esto se debe al uso o no del brazo robótico en el proceso y a la distancia que la zanahoria debe recorrer después de su clasificación.

Conociendo estos datos y suponiendo que la proporción de zanahorias de cada clase es equiparable, se llega a la conclusión de que el tiempo medio que necesita una zanahoria para realizar un ciclo completo es de 12,89 s.

En el sistema real no solo hay una zanahoria en funcionamiento. Por la cinta principal las zanahorias entran de forma constante y cuando el brazo robótico acaba de llevar una zanahoria a su cinta, el controlador ya está enviándole al robot su siguiente movimiento para clasificar la siguiente zanahoria según el código que reciba por parte de Sherlock.

Por este motivo, el tiempo a medir es el que tarda el sistema desde que el brazo robótico empieza a moverse para coger la zanahoria hasta que el vuelve a la posición inicial, en los casos en que la zanahoria se clasifique como calibre 20-30 o calibre 30-40. En el caso de que la zanahoria sea de destrío, se debe medir el tiempo desde que toca el sensor una zanahoria hasta que la siguiente toca el sensor (este tiempo incluye el avance de la cinta y el procesado de la imagen).

Para clasificar zanahorias dentro de los dos rangos de calibres, el tiempo necesario es prácticamente el mismo:

- Tiempo medio para clasificar una zanahoria de calibre entre 20 y 30 mm: 2,59 s
- Tiempo medio para clasificar una zanahoria de calibre entre 30 y 40 mm: 2,65 s

En cambio, para la clasificación de las zanahorias de destrío solo son necesarios 0,52 s.

Suponiendo de nuevo que la proporción de zanahorias de cada tipo es igual, el tiempo medio para clasificar una zanahoria es de 1,92 s.

Tomando que un peso estándar de 80 g/zanahoria, el sistema real tiene una capacidad de clasificar 150 kg/h de zanahorias gourmet.

1.7. Tiempo de desarrollo

El tiempo de desarrollo del proyecto es de 10 semanas. Trabajando 6 días a la semana suman un total de 60 días. Con una jornada de trabajo de 6 h/día, el total de horas es de 360.

En la Fig. 66 se puede observar el porcentaje del tiempo total que se dedica a cada documento del proyecto y la presentación de éste.

Documentos del proyecto y Presentación

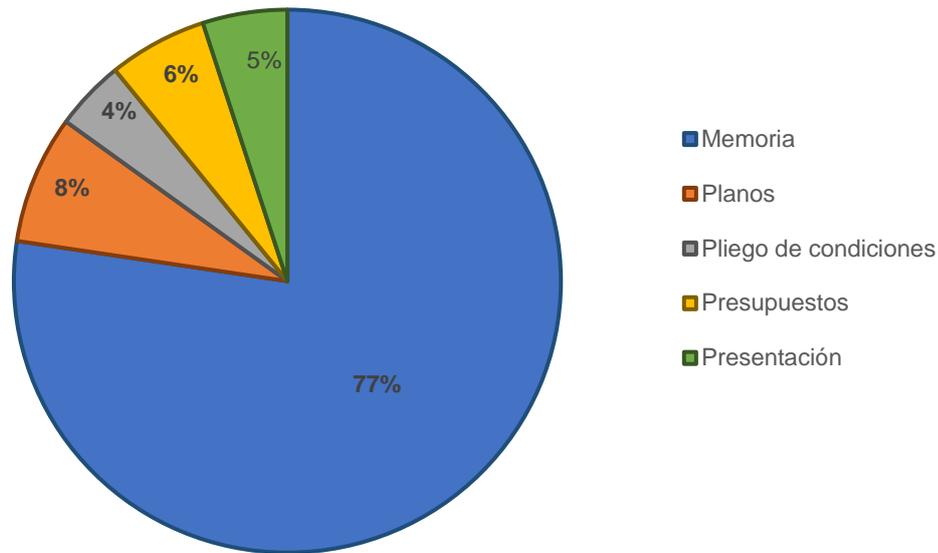


Fig. 66. Porcentajes del tiempo de desarrollo de los documentos del proyecto y la presentación.

Como se puede apreciar, la memoria es el documento que más tiempo necesita (278,52 horas). Es razonable, ya que engloba todo el tiempo dedicado a la investigación y el diseño del sistema. En la Fig. 67 se expone el porcentaje de tiempo dedicado a cada parte de la memoria.

Partes de la memoria

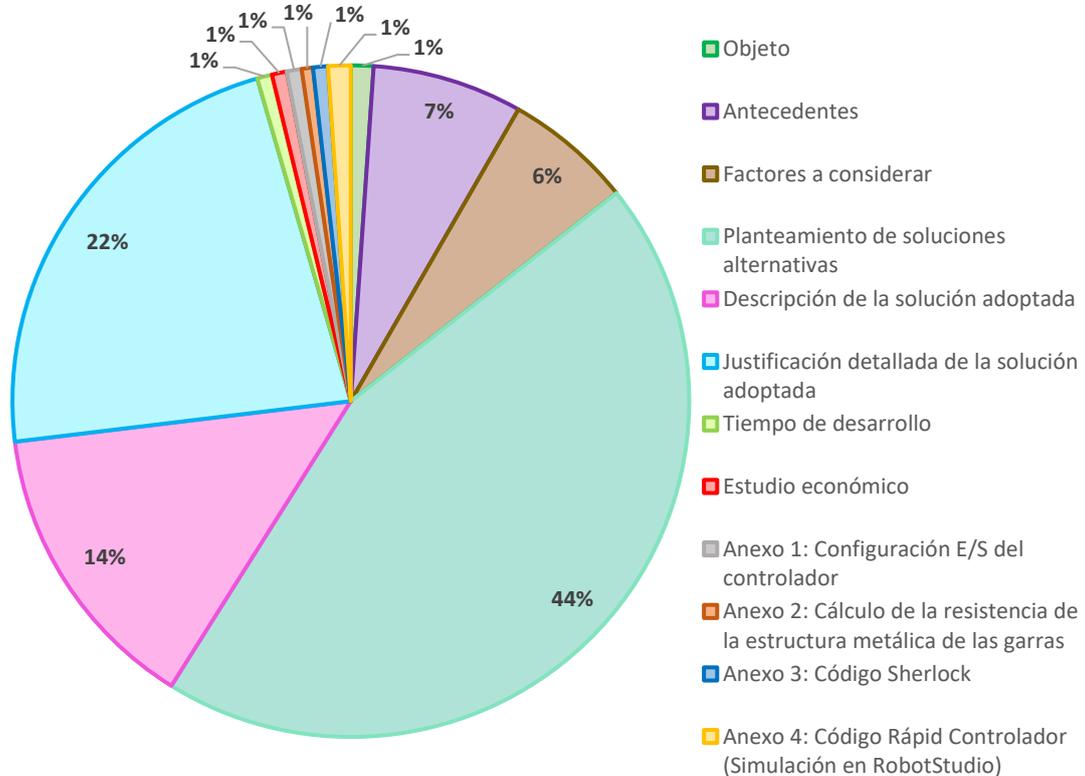


Fig. 67. Porcentajes del tiempo de desarrollo de las partes de la memoria.

El apartado que más tiempo necesita es el Planteamiento de soluciones alternativas, pues engloba toda la investigación que se realiza previamente al diseño del sistema. En este punto se averiguan las distintas opciones que pueden satisfacer las necesidades del cliente y se estudian las opciones para decidir la más conveniente.

Otro apartado que también abarca una gran cantidad de tiempo es la Justificación detallada de la solución adoptada. En este punto se expresa de forma exhaustiva el diseño realizado del sistema de clasificación.

Cabe recalcar que debido a las circunstancias que se viven con el COVID-19 se desestimó la opción inicial de hacer el sistema real y se optó por realizar la simulación con un programa. En este caso RobotStudio.

Por este motivo, gran parte del tiempo se emplea para aprender a utilizar el programa RobotStudio y a simular todos los componentes.

1.8. Estudio económico

En la TABLA III se realizan los cálculos correspondientes al estudio económico de este proyecto.

TABLA III
Estudio económico

| | | | |
|---|--------------------|-----------------------------|------------------------|
| Coste del equipamiento sin IVA: | 20.652,55 € | Producción horaria: | 150,00 kg/h |
| Plazo de amortización: | 15,00 años | Horas al día de producción: | 8,00 h/día |
| Producción anual: | 120.000,00 kg/año | Días de producción al año: | 100,00 días/año |
| | | | |
| Destrío: | 10 % | | |
| | | | |
| Porcentaje gourmet: | 50,00 % | Precio gourmet: | 0,98 €/kg |
| Producción gourmet anual: | 60.000,00 kg/año | Ingresos brutos gourmet: | 58.800,00 €/año |
| | | | |
| Porcentaje normal: | 40,00 % | Precio normal: | 0,52 €/kg |
| Producción normal anual: | 48.000,00 kg/año | Ingresos brutos normal: | 24.960,00 €/año |
| | | | |
| | | Ingresos brutos totales: | 83.760,00 €/año |
| | | | |
| Gastos: | | | |
| Compra: | | Precio lonja: | 0,20 €/kg |
| | | Producción anual: | 24.000,00 €/año |
| Costes indirectos: | 20 % | Costes indirectos anuales: | 16.752,00 €/año |
| Amortización: | | Amortización anual: | 1.376,84 €/año |
| Otros costes (bolsas plástico, personal, mantenimiento, ...): | 20 % | Otros anuales: | 16.752,00 €/año |
| | | | |
| | | TOTAL: | 58.881,04 €/año |
| | | | |
| | | Beneficios sin IVA: | 24.878,96 €/año |

Con un plazo de 15 años de amortización del sistema se pueden mantener los beneficios mientras se mantenga una venta continuada.

Referencias

- [1] Martin Maq, «Calibradora diametral serie CDI1045», 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.martinmaq.com/es/calibrado-diametral-longitudinal/calibradoras-diametrales-serie-cdi1045/p-177>. [Último acceso: 16 junio 2020].
- [2] *Reglamento (CE) nº 1221/2008 de la Comisión, de 5 de diciembre de 2008, que modifica, en lo que atañe a las normas de comercialización, el Reglamento (CE) nº 1580/2007 por el que se establecen disposiciones de aplicación de los Reglamentos (CE) nº 2200/96*, DOUE-L-2008-82484, «DOUE» núm. 336, de 13 de diciembre de 2008, pp. 1-80.
- [3] *Norma UNE 155122:2012, de 14 de noviembre de 2012. Hortalizas frescas. Producción controlada. Zanahoria*, AENOR.
- [4] *Reglamento (CE) nº 1935/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre de 2004, sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos y por el que se derogan las Directivas 80/590/CEE y 89/109/CEE*, DOUE-L-2004-82656, «DOUE» núm. 338, de 13 de noviembre de 2004, pp. 4-17.
- [5] *Reglamento (CE) nº 2023/2006 de la Comisión, de 22 de diciembre de 2006, sobre buenas prácticas de fabricación de materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos*, DOUE-L-2006-82723, «DOUE» núm. 384, de 29 de diciembre de 2006, pp. 75-78.
- [6] *ISO 8373:2012 Robots and robotic devices - Vocabulary*, 2 ed.
- [7] *Reglamento (CE) nº 730/1999 de la Comisión, de 7 de abril de 1999, por el que se establecen las normas de comercialización de las zanahorias*, DOUE-L-1999-80637, «DOUE» núm. 93, de 8 de abril de 1999, pp. 14-19.
- [8] *Reglamento (CE) nº 1234/2007 del Consejo, de 22 de octubre de 2007, por el que se crea una organización común de mercados agrícolas y se establecen disposiciones específicas para determinados productos agrícolas (Reglamento único para las OCM)*, DOUE-L-2007-82055, «DOUE» núm. 299, de 16 de noviembre de 2007, pp. 1-149.
- [9] *Reglamento (UE) nº 10/2011 de la Comisión, de 14 de enero de 2011, sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos*, DOUE-L-2011-80033, «DOUE» núm. 12, de 15 de enero de 2011, pp. 1-89.
- [10] *Real Decreto 847/2011, de 17 de junio, por el que se establece la lista positiva de sustancias permitidas para la fabricación de materiales poliméricos destinados a entrar en contacto con los alimentos*, BOE-A-2011-11828, «BOE» núm. 164, de 11 de julio de 2011, pp. 76316-76330.
- [11] *Real Decreto 397/1990, de 16 de marzo, por el que se aprueban las condiciones generales de los materiales, para uso alimentario, distintos de los poliméricos*, BOE-A-1990-7739, «BOE» núm. 74, de 27 de marzo de 1990, pp. 8562-8564.
- [12] *UNE-EN ISO 10218-1:2012 Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 1: Robots. (ISO 10218-1:2011)*.

- [13] *UNE-EN ISO 10218-2:2011 Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 2: Sistemas robot e integración. (ISO 10218-2:2011).*
- [14] *UNE-EN ISO 13857:2008 Seguridad de las máquinas. Distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores e inferiores (ISO 13857:2008).*
- [15] *UNE-EN ISO 13850:2016 Seguridad de las máquinas. Función de parada de emergencia. Principios para el diseño. (ISO 13850:2015).*
- [16] *ISO 9283:1998 Manipulating industrial robots - Performance criteria and related test methods, 2 ed.*
- [17] *ISO 9409-1:2004 Manipulating industrial robots - Mechanical interfaces - Part 1: Plates, 3 ed.*
- [18] *ISO 9409-2:2002 Manipulating industrial robots - Mechanical interfaces - Part 2: Shafts, 2 ed.*
- [19] *ISO 14539:2000 Manipulating industrial robots - Object handling with grasp-type grippers - Vocabulary and presentation of characteristics, 1 ed.*
- [20] ABB, «RobotStudio», 2020. [En línea]. Disponible en: <https://new.abb.com/products/robotics/es/robotstudio>. [Último acceso: 5 junio 2020].
- [21] Coppelia Robotics, «CoppeliaSim». [En línea]. Disponible en: <https://www.coppeliarobotics.com/>. [Último acceso: 5 junio 2020].
- [22] ABB, «Technical data IRB 14000 YuMi», 1 junio 2020. [En línea]. Disponible en: <https://library.e.abb.com/public/7b249f42706f4e15b980bfa520867e85/3HAC052982%20PS%20IRB%2014000-en.pdf?x-sign=6ayPZfzH2hCR+OA1UFsMMspP+qnapMEhpKF5zAGxUCszhn/vXD2F/P14Q3xTE0c1>. [Último acceso: 5 junio 2020].
- [23] ABB, «Technical data IRB 14000 YuMi», 30 octubre 2018. [En línea]. Disponible en: <https://abb.sluzba.cz/Pages/Public/IRC5UserDocumentationRW6/en/3HAC054949%20PM%20IRB%2014000%20Gripper-en.pdf>. [Último acceso: 5 junio 2020].
- [24] ABB, «Technical data IRB 14000 YuMi», 2020. [En línea]. Disponible en: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-14000-yumi/irb-14000-yumi-data>. [Último acceso: 5 junio 2020].
- [25] Teledyne Dalsa, «Sherlock. Vision system software», 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.teledynedalsa.com/en/products/imaging/vision-software/sherlock/>. [Último acceso: 24 junio 2020].
- [26] ABB, «Vision integrada», 2020. [En línea]. Disponible en: <https://new.abb.com/products/robotics/es/equipamiento-accesorios-aplicaciones/sistemas-de-vision/visi%C3%B3n-integrada>. [Último acceso: 24 junio 2020].

- [27] LP Conveyors, «Transportadores de rodillos». [En línea]. Disponible en: <https://www.lpconveyors.com/transporte-y-manutencion/transportadores-de-rodillos/>. [Último acceso: 8 junio 2020].
- [28] milanuncios, «Cinta transportadora con lona PVC». [En línea]. Disponible en: <https://www.milanuncios.com/otros-motor/cinta-transportadora-con-lona-pvc-181102983.htm>. [Último acceso: 8 junio 2020].
- [29] American Iron and Steel Institute, «Stainless Steel AISI 316», 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.steel.org/aisi-316>. [Último acceso: 26 junio 2020].
- [30] Jai, «CV-M77 Progressive Scan RGB Color CCD Camera», 2011. [En línea]. Disponible en: http://www.ni.com/third_party/jai/pdf/cv_m77db.pdf. [Último acceso: 26 junio 2020].
- [31] C. Ricolfe Viala, «Caracterización y optimización del proceso de calibrado de cámaras basado en plantilla bidimensional», Universidad Politécnica de Valencia, 2006. [Tesis doctoral no publicada]. Disponible en: <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/1858>. [Último acceso: 26 junio 2020].
- [32] C. Valdivia Miranda, Sistemas informáticos y redes locales, ISBN 9788497324496, Ed. Madrid: Paraninfo, 2016.

REALIZADO POR

Laura Rodrigo Pérez



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

SISTEMA AUTOMÁTICO DE CLASIFICACIÓN DE ZANAHORIAS EMPLEANDO UN ROBOT INDUSTRIAL Y VISIÓN ARTIFICIAL

Documento 1: ANEXOS DE LA MEMORIA

TRABAJO FINAL DEL

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

REALIZADO POR

Laura Rodrigo Pérez

TUTORIZADO POR

Carlos Ricolfe Viala

CURSO ACADÉMICO: 2019/2020

Contenido

Anexo 1: Configuración Entradas/Salidas del controlador

Anexo 2: Cálculo de la resistencia de la estructura metálica de las garras

Anexo 3: Código Shelock

Anexo 4: Código Rapid Controlador (Simulación en RobotStudio)



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE CLASIFICACIÓN DE ZANAHORIAS
EMPLEANDO UN ROBOT INDUSTRIAL Y VISIÓN ARTIFICIAL**

ANEXO 1: CONFIGURACIÓN ENTRADAS/SALIDAS DEL CONTROLADOR

TRABAJO FINAL DEL

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

REALIZADO POR

Laura Rodrigo Pérez

TUTORIZADO POR

Carlos Ricolfe Viala

CURSO ACADÉMICO: 2019/2020

Índice de tablas

TABLA I Entradas del controlador 3

TABLA II Salidas del controlador 4

La tarjeta de entradas y salidas del controlador IRC5 [1] tiene 16 entradas digitales (DI), 16 salidas digitales (DO).

En las siguientes tablas (TABLA I y TABLA II) se asignan las conexiones digitales del sistema a las conexiones del controlador, exponiendo la función de cada una.

TABLA I
Entradas del controlador

| Señal | Etiqueta | Función |
|---------|--------------|--|
| DI10_0 | DI_Posicion1 | Sensor de detección de piezas. Si detecta marca 1, si no detecta marca 0. Señal del sensor de proximidad del sistema. |
| DI10_1 | DI_Posicion2 | Sensor de detección de piezas. Si detecta marca 1, si no detecta marca 0. Señal de la simulación: Final de la cinta principal. |
| DI10_2 | DI_Posicion3 | Sensor de detección de piezas. Si detecta marca 1, si no detecta marca 0. Señal de la simulación: Final de la cinta calibre 20-30 mm. |
| DI10_3 | DI_Posicion4 | Sensor de detección de piezas. Si detecta marca 1, si no detecta marca 0. Señal de la simulación: Final de la cinta calibre 30-40 mm. |
| DI10_4 | --- | No conectado. |
| DI10_5 | --- | No conectado. |
| DI10_6 | --- | No conectado. |
| DI10_7 | --- | No conectado. |
| DI10_8 | --- | No conectado. |
| DI10_9 | --- | No conectado. |
| DI10_10 | --- | No conectado. |
| DI10_11 | --- | No conectado. |
| DI10_12 | --- | No conectado. |
| DI10_13 | --- | No conectado. |
| DI10_14 | --- | No conectado. |
| DI10_15 | --- | No conectado. |

Cabe recalcar, que como se expresa en su función, las señales de entrada DI_Posicion2, DI_Posicion3 y DI_Posicion4 son señales empleadas en la simulación. La única entrada digital del sistema real es la DI_Posicion1, que corresponde al sensor de proximidad colocado en la cinta principal.

TABLA II
Salidas del controlador

| Señal | Etiqueta | Función |
|---------|------------------------|---|
| DO10_0 | --- | No conectado. |
| DO10_1 | DO_PinzaAbierta | Abre la pinza en su estado 1. |
| DO10_2 | DO_PinzaCerrada | Cierra la pinza en su estado 1 para coger zanahorias del calibre 30-40 mm. |
| DO10_3 | DO_PinzaCerrada | Cierra la pinza en su estado 1 para coger zanahorias del calibre 20-30 mm. |
| DO10_4 | DO_CintaPrincipal_DL | Mueve hacia delante la cinta principal en su estado 1 y para la cinta principal en su estado 0. |
| DO10_5 | DO_CintaCalibre2030_DL | Mueve hacia delante la cinta calibre 20-30 en su estado 1 y para la cinta calibre 20-30 en su estado 0. |
| DO10_6 | DO_CintaCalibre3040_DL | Mueve hacia delante la cinta calibre 30-40 en su estado 1 y para la cinta calibre 30-40 en su estado 0. |
| DO10_7 | --- | No conectado. |
| DO10_8 | --- | No conectado. |
| DO10_9 | --- | No conectado. |
| DO10_10 | --- | No conectado. |
| DO10_11 | --- | No conectado. |
| DO10_12 | --- | No conectado. |
| DO10_13 | --- | No conectado. |
| DO10_14 | --- | No conectado. |
| DO10_15 | --- | No conectado. |

Hay que tener en cuenta la siguiente observación:

- Cuando se quiera activar (1) la señal DO_PinzaCerrada o la señal DO_PinzaCerrada2, la señal DO_PinzaAbierta debe estar desactivada (0) y cuando se quiera activar (1) la señal DO_PinzaAbierta, las señales DO_PinzaCerrada y DO_PinzaCerrada2 deben estar desactivadas (0).

Referencias

- [1] ABB, «IRC5 Industrial Robot Controller», 2020. [En línea]. Disponible en: <https://new.abb.com/products/robotics/controllers/irc5>. [Último acceso: 28 junio 2020].

REALIZADO POR
Laura Rodrigo Pérez



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE CLASIFICACIÓN DE ZANAHORIAS
EMPLEANDO UN ROBOT INDUSTRIAL Y VISIÓN ARTIFICIAL**

ANEXO 2: CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DE LAS GARRAS

TRABAJO FINAL DEL

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

REALIZADO POR

Laura Rodrigo Pérez

TUTORIZADO POR

Carlos Ricolfe Viala

CURSO ACADÉMICO: 2019/2020

Índice de figuras

| | |
|---|---|
| Fig. 1. Superficies de sujeción. | 3 |
| Fig. 2. Tensión máxima de Von Mises en el punto crítico. | 3 |
| Fig. 3. Factor de seguridad en el punto crítico. | 4 |
| Fig. 4. Deformación máxima. | 4 |

En el siguiente anexo se expone el cálculo con el programa Autodesk Inventor de la resistencia de la estructura metálica de la garra fabricada con acero inoxidable AISI 316.

Las condiciones de contorno del estudio son:

- La garra está sujeta por la superficie cilíndrica de los 6 agujeros de la base como se observa en la Fig. 1.

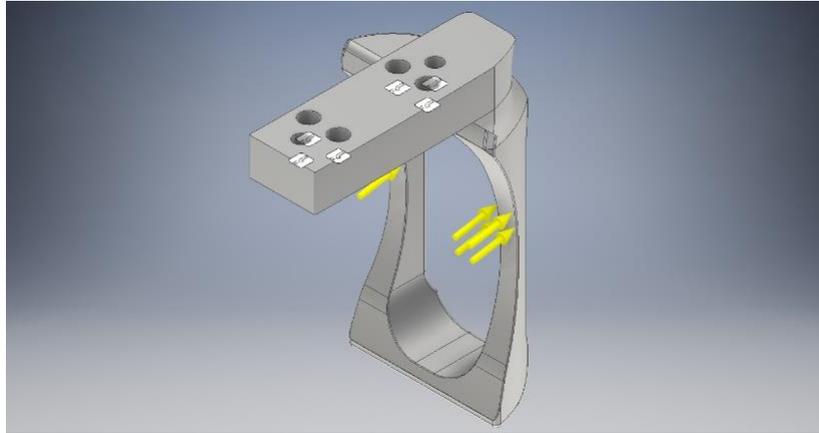


Fig. 1. Superficies de sujeción.

- Se le aplica una fuerza de 20 N a cada una de las superficies laterales (área = 84,315 mm²). Siendo la carga igual a la división de la fuerza entre el área ($Q = F/A$) se obtiene que la carga aplicada es de 0,24 N/mm², lo que es equivalente a 0,24 MPa.

Se realiza el cálculo siguiendo las hipótesis marcadas por el programa Autodesk Inventor [1].

El criterio empleado para calcular la tensión máxima es el criterio de Von Mises, el cual tiene en cuenta las tensiones principales. Según [2], es uno de los métodos que más se ajusta a los resultados experimentales.

En la Fig. 2 se puede observar que el punto crítico soporta una tensión máxima de Von Mises de 62,21 MPa.

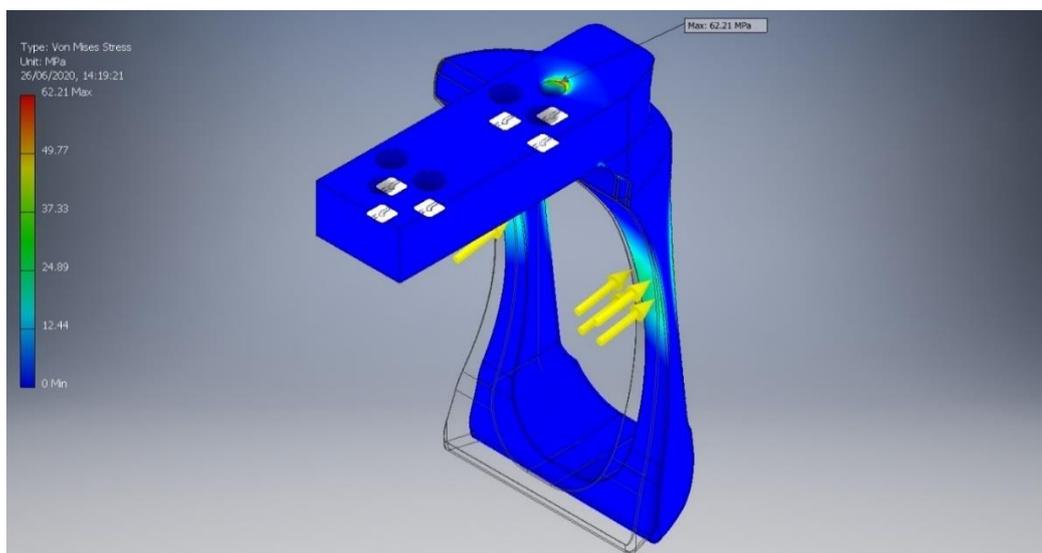


Fig. 2. Tensión máxima de Von Mises en el punto crítico.

En la Fig. 3 se observa que el punto crítico tiene un factor de seguridad de 3,46. El factor de seguridad es el cociente entre la tensión máxima de elasticidad y la tensión de Von Mises obtenida. Que el punto crítico tenga un factor de seguridad de 3,46 significa que puede soportar más del triple de la tensión ejercida.

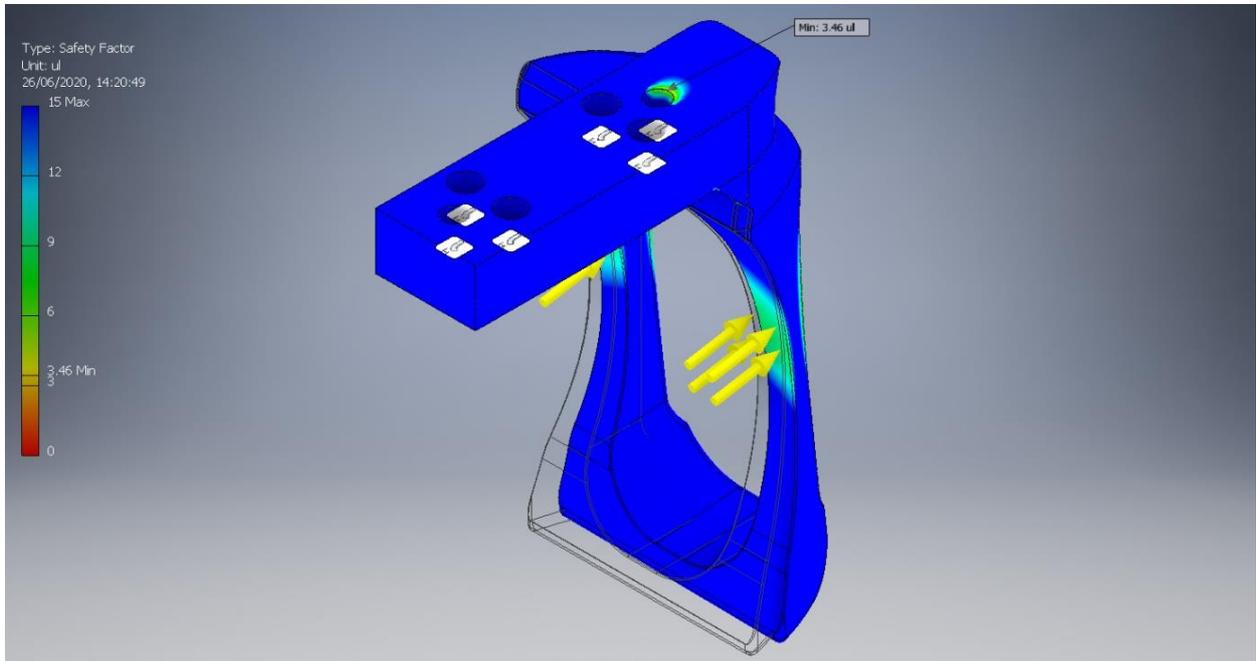


Fig. 3. Factor de seguridad en el punto crítico.

Al aplicar la carga repartida equivalente a una fuerza de 20 N, la deformación máxima sufrida será de 0,044 mm, como se observa en la Fig. 4.

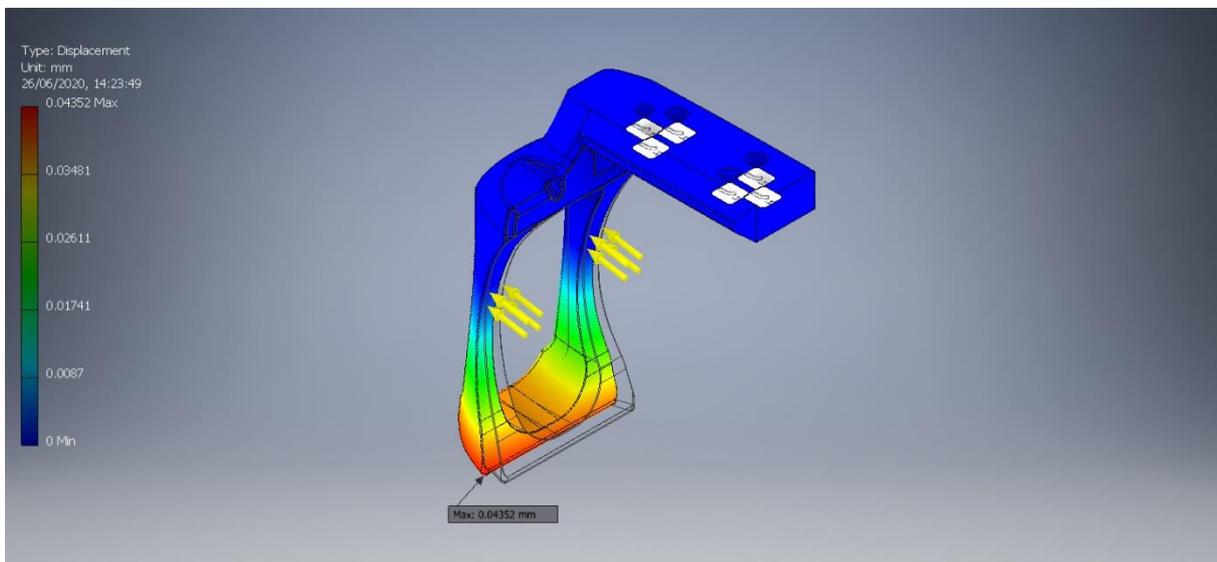


Fig. 4. Deformación máxima.

Referencias

- [1] Autodesk, «Autodesk Inventor: Stress analysis assumptions», 02 noviembre 2014. [En línea]. Disponible en: <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor/learn-explore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Stress-analysis-assumptions.html>. [Último acceso: 26 junio 2020].
- [2] M. Gasch Salvador, I. Gasch Molina, J. L. Galdón Ribes, P. E. Martín Concepción y I. Ferrer Ballester, Elasticidad, ISBN: 978-84-8363-800-2, UPV, 2012.

REALIZADO POR

Laura Rodrigo Pérez



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE CLASIFICACIÓN DE ZANAHORIAS
EMPLEANDO UN ROBOT INDUSTRIAL Y VISIÓN ARTIFICIAL**

ANEXO 3: CÓDIGO SHERLOCK

TRABAJO FINAL DEL

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

REALIZADO POR

Laura Rodrigo Pérez

TUTORIZADO POR

Carlos Ricolfe Viala

CURSO ACADÉMICO: 2019/2020

Índice de figuras

| | |
|---|---|
| Fig. 1. Diagrama de flujo del código de Sherlock. | 3 |
| Fig. 2. Variables del código de Sherlock. (a) Rutina principal. (b) Subrutina de conexión. .. | 4 |

El diagrama de flujo del código de Sherlock se observa en la Fig. 1.

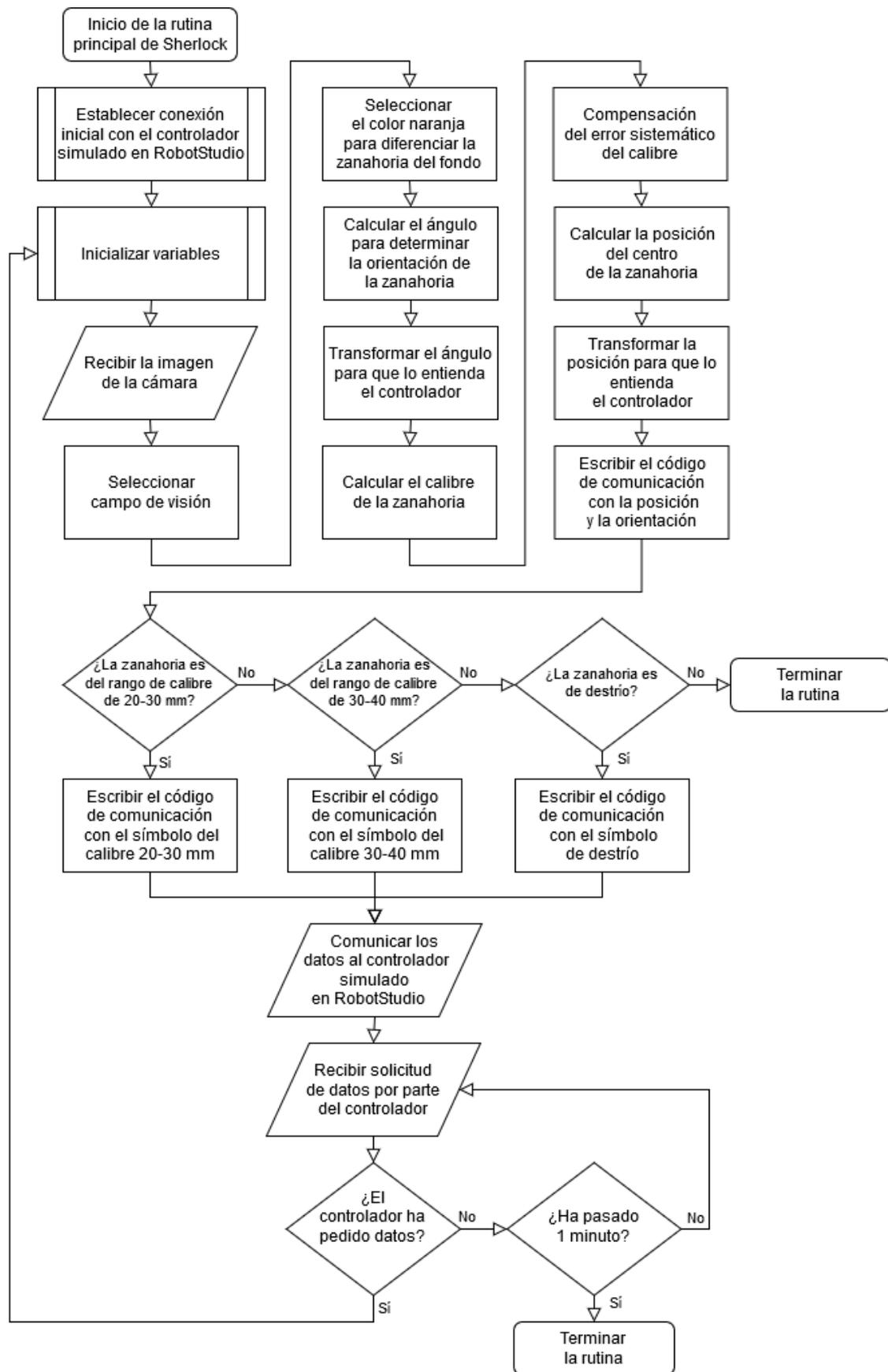


Fig. 1. Diagrama de flujo del código de Sherlock.

La lista de las variables empleadas en este código se observa en la Fig. 2. En ella se expresa el tipo de variable: N (number), S (string), B (boolean) o P (point).

| Variables | |
|-----------|--------------------------------|
| | Name |
| N | AnguloZanahoria |
| N | AnguloZanahoriaCalibrado |
| S | S_AnguloZanahoriaCalibrado |
| N | CalibreZanahoria |
| P | CentroideZanahoria_Sherlock |
| S | CentroideZanahoria_RobotStudio |
| S | CentroideAnguloZanahoria_Robot |
| S | ClasificacionCalibreZanahoria |
| S | DatosZanahoria_RobotStudio |
| B | DatosZ_Enviados |
| S | RobotPideMasDatos |
| B | ConexionRMasDatos |

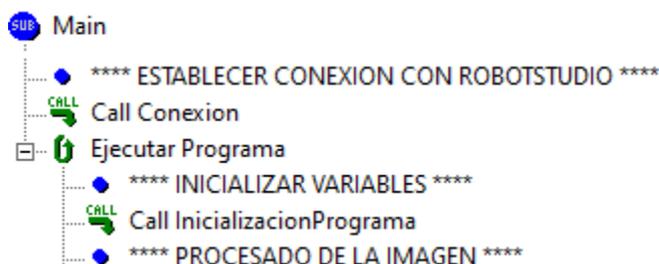
(a)

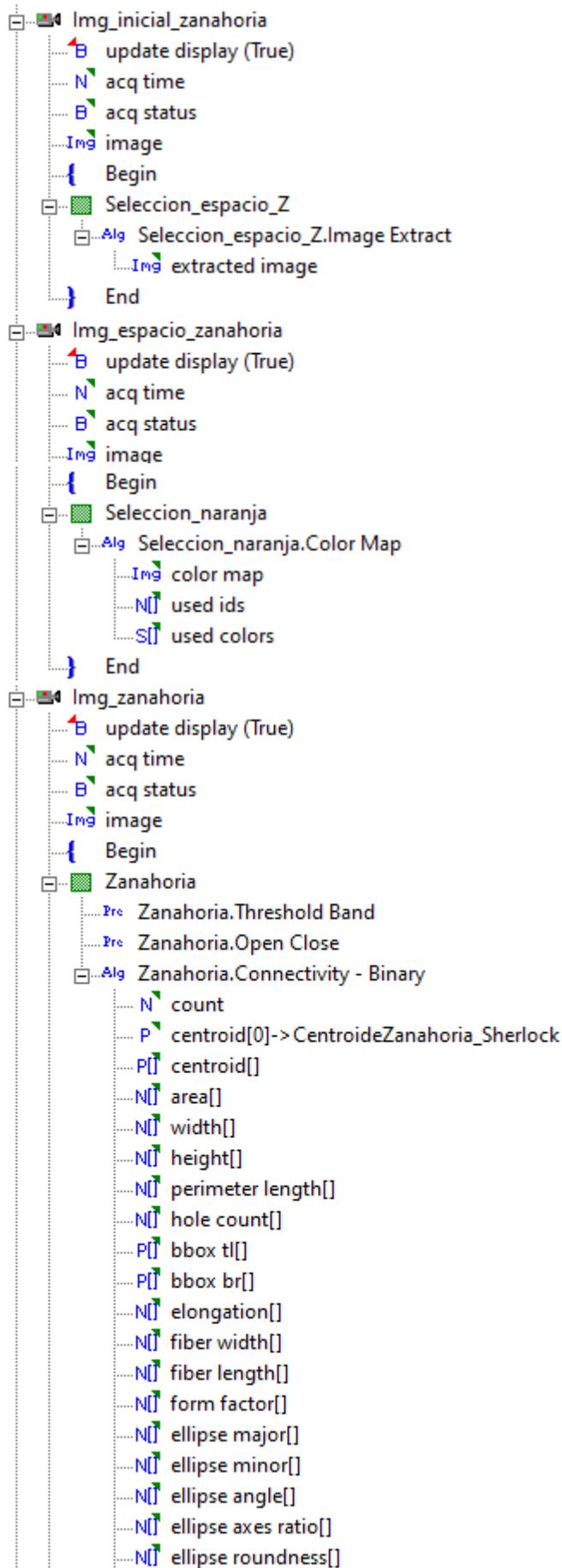
| Variables | |
|-----------|----------------|
| | Name |
| S | HolaRobot |
| B | ConexionIRS |
| B | ConexionISR |
| S | RobotListo |
| B | ConexionRListo |
| S | RobotPideDatos |
| B | ConexionRDatos |

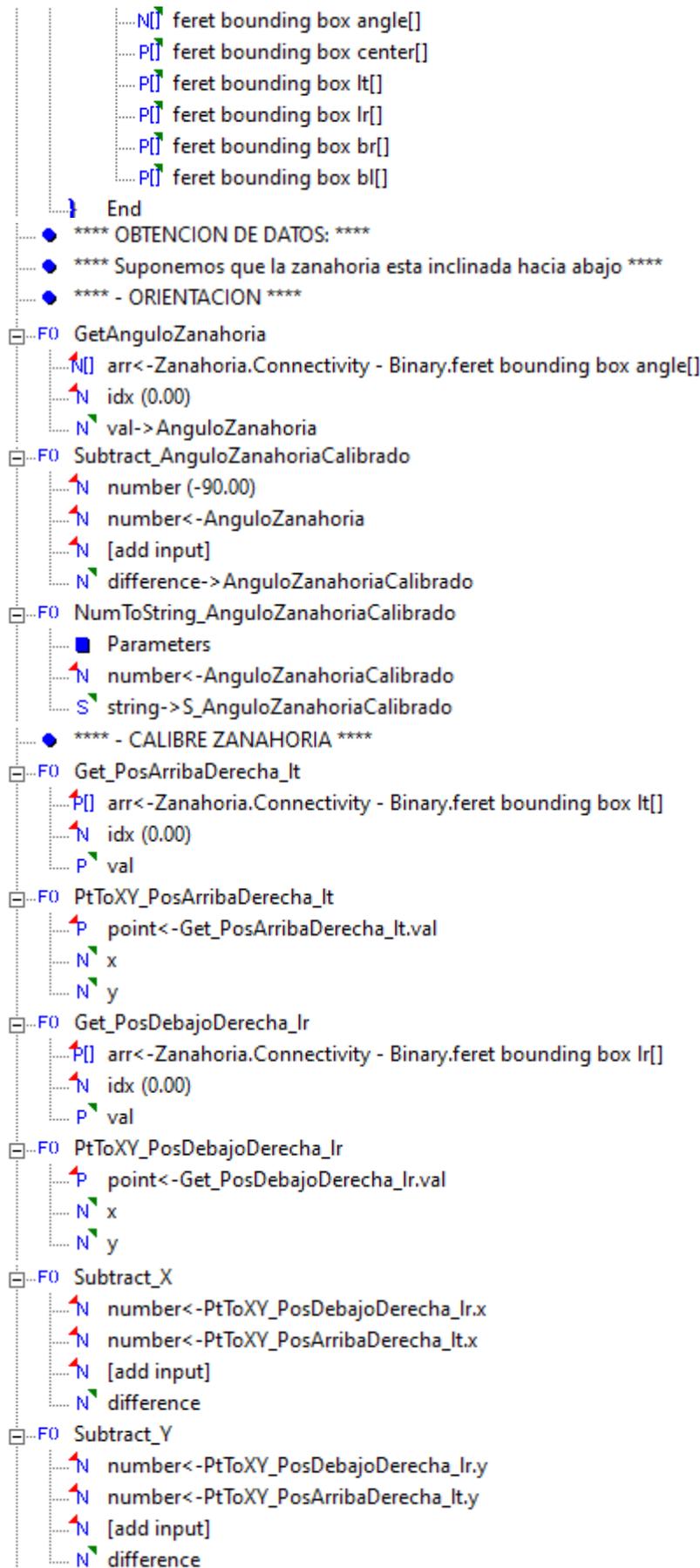
(b)

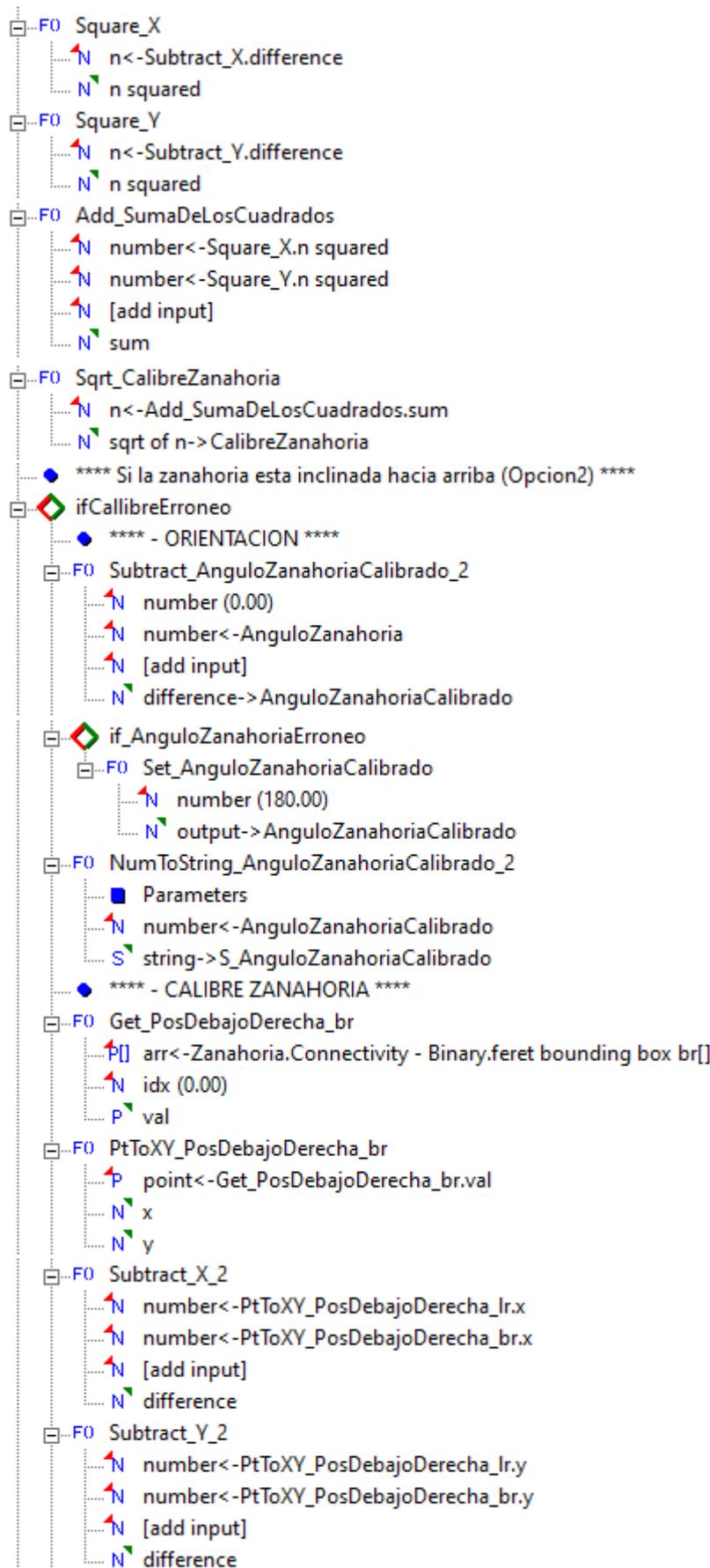
Fig. 2. Variables del código de Sherlock. (a) Rutina principal. (b) Subrutina de conexión.

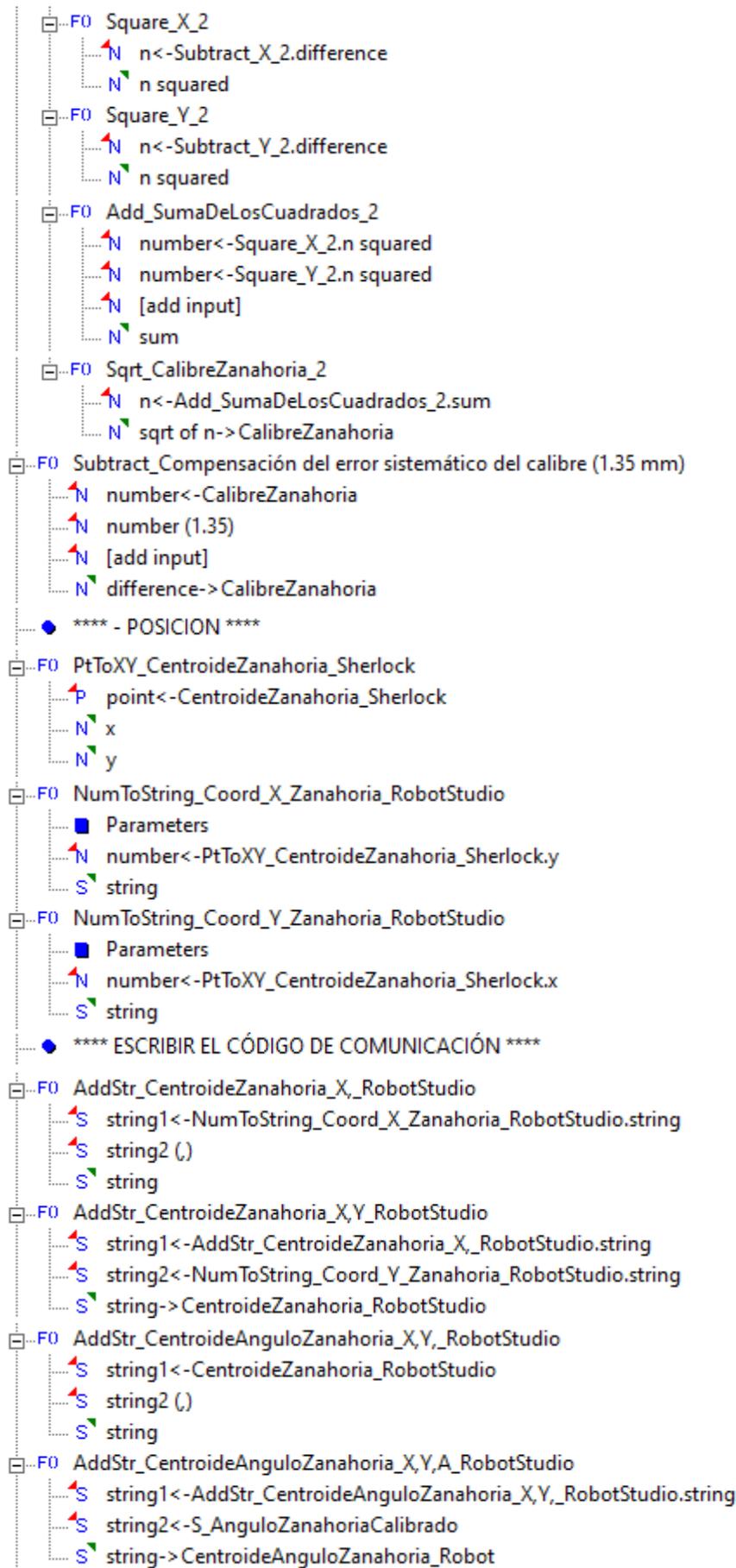
El código de la rutina principal (Main) ejecutada de Sherlock [1] es el siguiente:

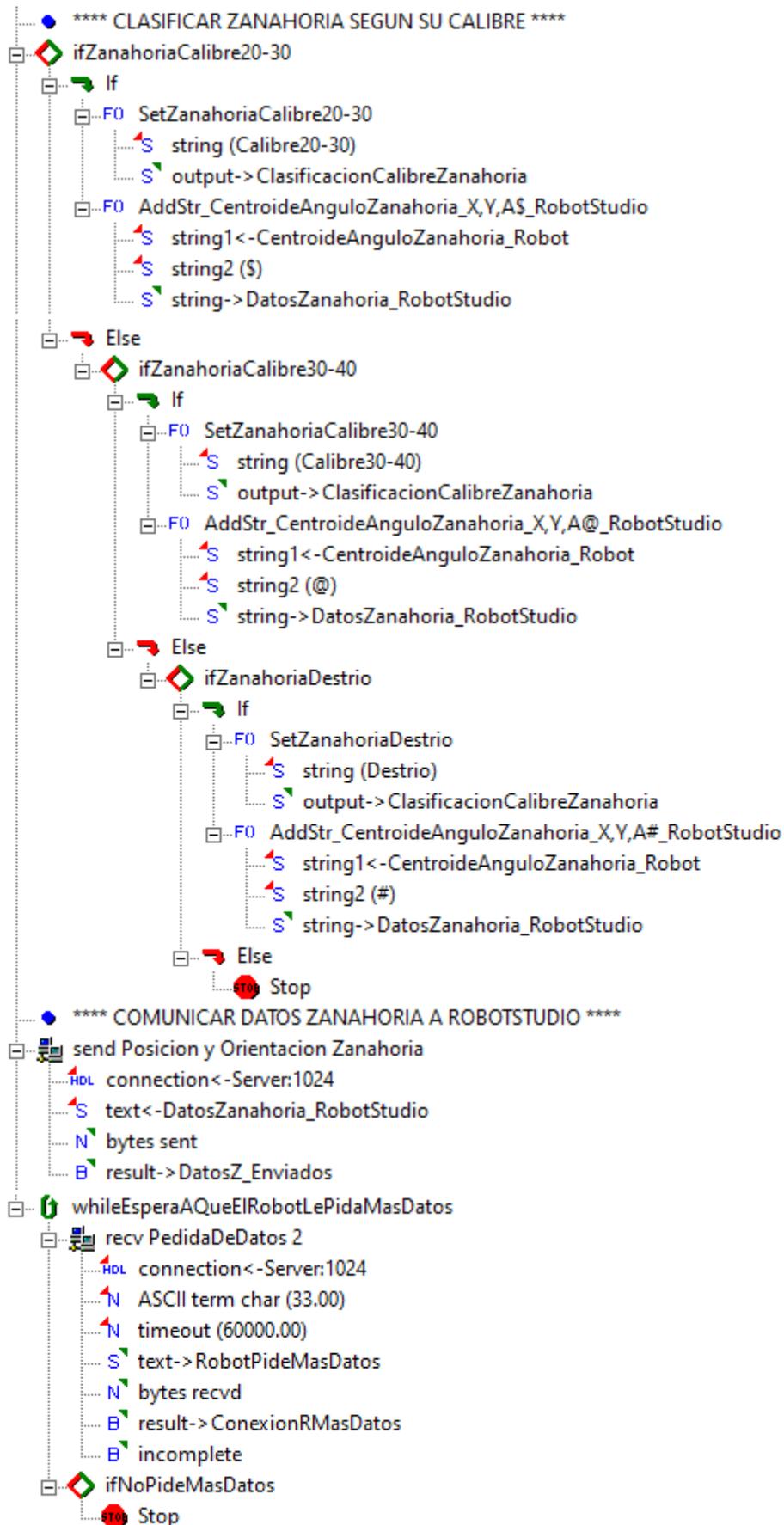






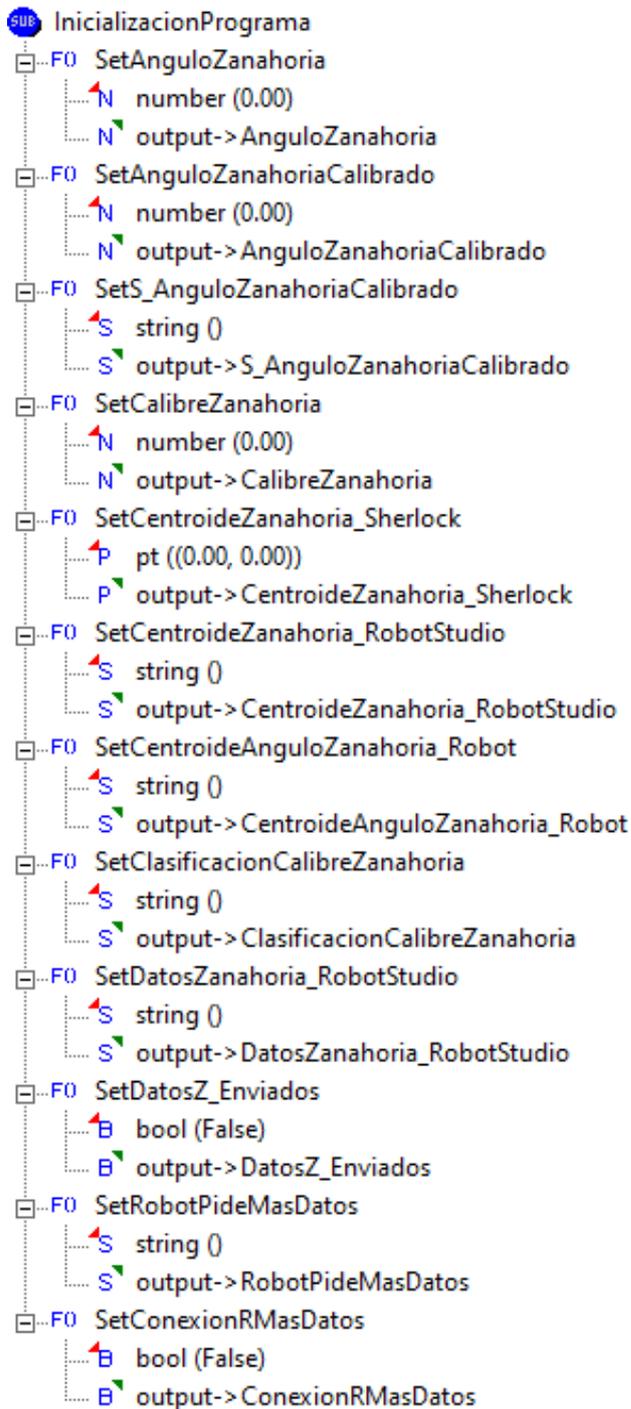




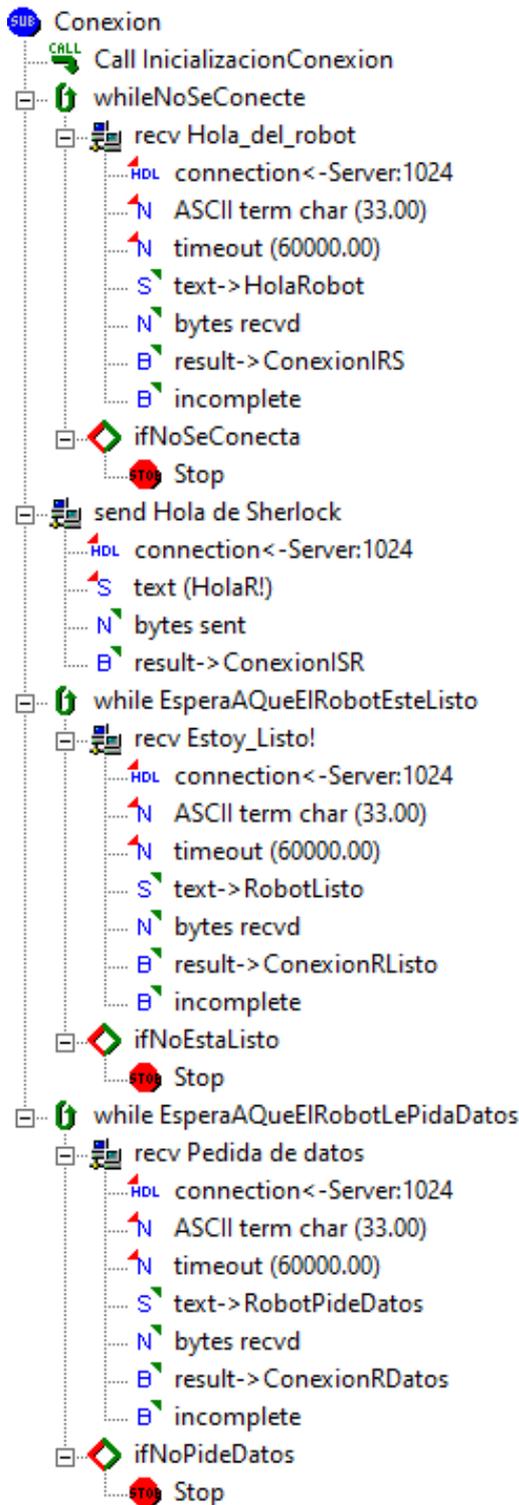


En la rutina principal se hace una llamada a la subrutina InicializaciónPrograma para, como bien dice su nombre, inicializar todas las variables empleadas en la rutina principal (Fig. 2 (a)).

El código de la subrutina InicializaciónPrograma es el siguiente:



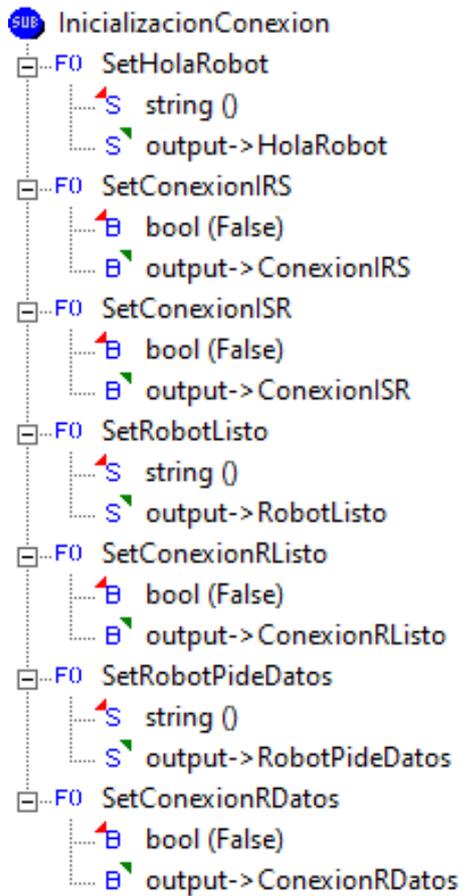
Desde la rutina principal (Main) también se realiza otra llamada a la subrutina Conexión [2], cuyo código es el siguiente:



El diagrama de flujo que explica este código se puede observar en el apartado 1.6.9 de la memoria (Fig. 64).

En esta subrutina también se hace una llamada a otra subrutina (InicializaciónConexion) para inicializar las variables (Fig. 2 (b)).

El código de la subrutina InicializaciónConexion es el siguiente:



Referencias

- [1] Teledyne Dalsa, «Sherlock. Vision system software», 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.teledynedalsa.com/en/products/imaging/vision-software/sherlock/>. [Último acceso: 24 junio 2020].
- [2] C. Valdivia Miranda, Sistemas informáticos y redes locales, ISBN 9788497324496, Ed. Madrid: Paraninfo, 2016.

REALIZADO POR
Laura Rodrigo Pérez



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE CLASIFICACIÓN DE ZANAHORIAS
EMPLEANDO UN ROBOT INDUSTRIAL Y VISIÓN ARTIFICIAL**

ANEXO 4: CÓDIGO RÁPID CONTROLADOR (SIMULACIÓN EN ROBOTSTUDIO)

TRABAJO FINAL DEL

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

REALIZADO POR

Laura Rodrigo Pérez

TUTORIZADO POR

Carlos Ricolfe Viala

CURSO ACADÉMICO: 2019/2020

Índice de figuras

| | |
|---|---|
| Fig. 1. Diagramas de flujo. (a) Module1. (b) Rutina principal (main)..... | 3 |
| Fig. 2. Diagrama de flujo de la subrutina de clasificación..... | 4 |

El código Rápido del sistema de clasificación de zanahorias que ejecuta el controlador simulado en el programa RobotStudio se llama Module1. Su diagrama de flujo se puede observar en la Fig. 1 (a).

Al declarar las variables, se expresa el tipo: num (number), string, bool (boolean), orient o robtarget. Una variable de tipo orient expresa una orientación tridimensional mediante cuaterniones. Una variable tipo robtarget es una matriz 1x4 que engloba cuatro tipos de variables: pos (posición en x,y,z), orient, confdata (datos de configuración de los ejes del robot) y extjoint (posiciones de eje respecto a los ejes externos).

Tras declarar las variables que se emplean en todo el código del controlador, se ejecuta la rutina principal (main) del programa, cuyo diagrama de flujo se puede observar en la Fig. 1 (b).

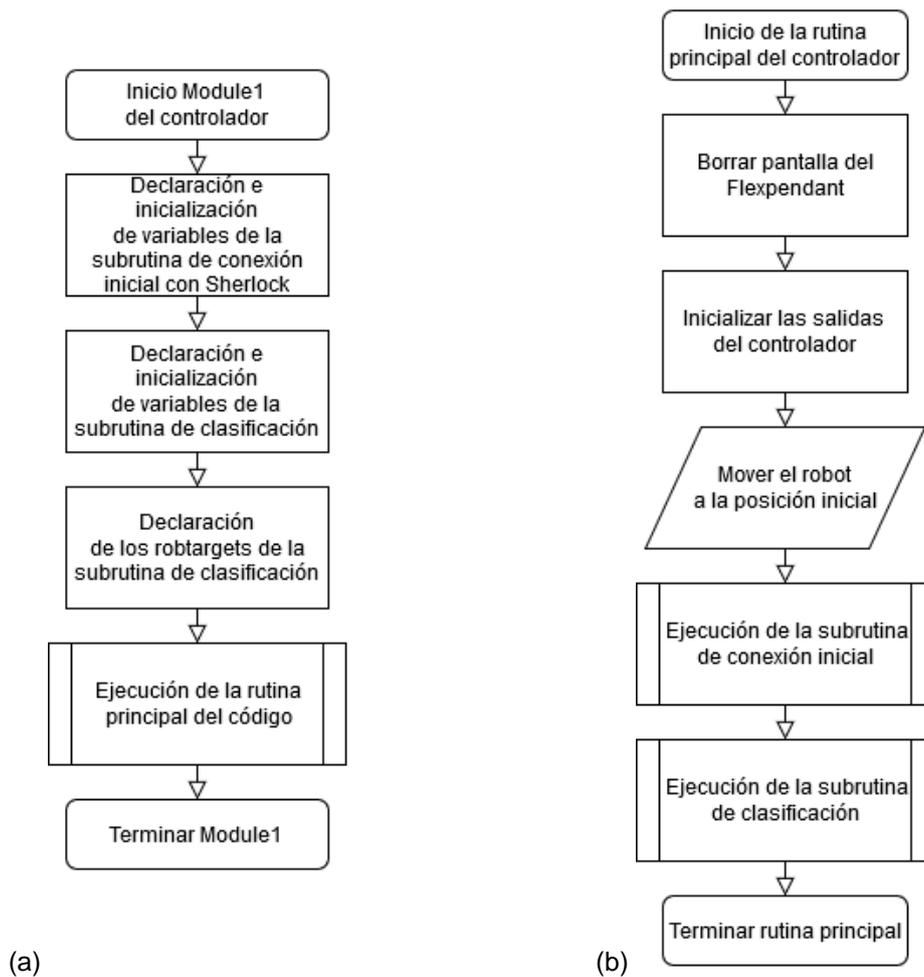


Fig. 1. Diagramas de flujo. (a) Module1. (b) Rutina principal (main).

En la rutina principal se ejecutan dos subrutinas: la de conexión inicial [1], cuyo diagrama de flujo se puede observar en el apartado 1.6.9 de la memoria (Fig. 64), y la de clasificación, cuyo diagrama de flujo se presenta en la Fig. 2.

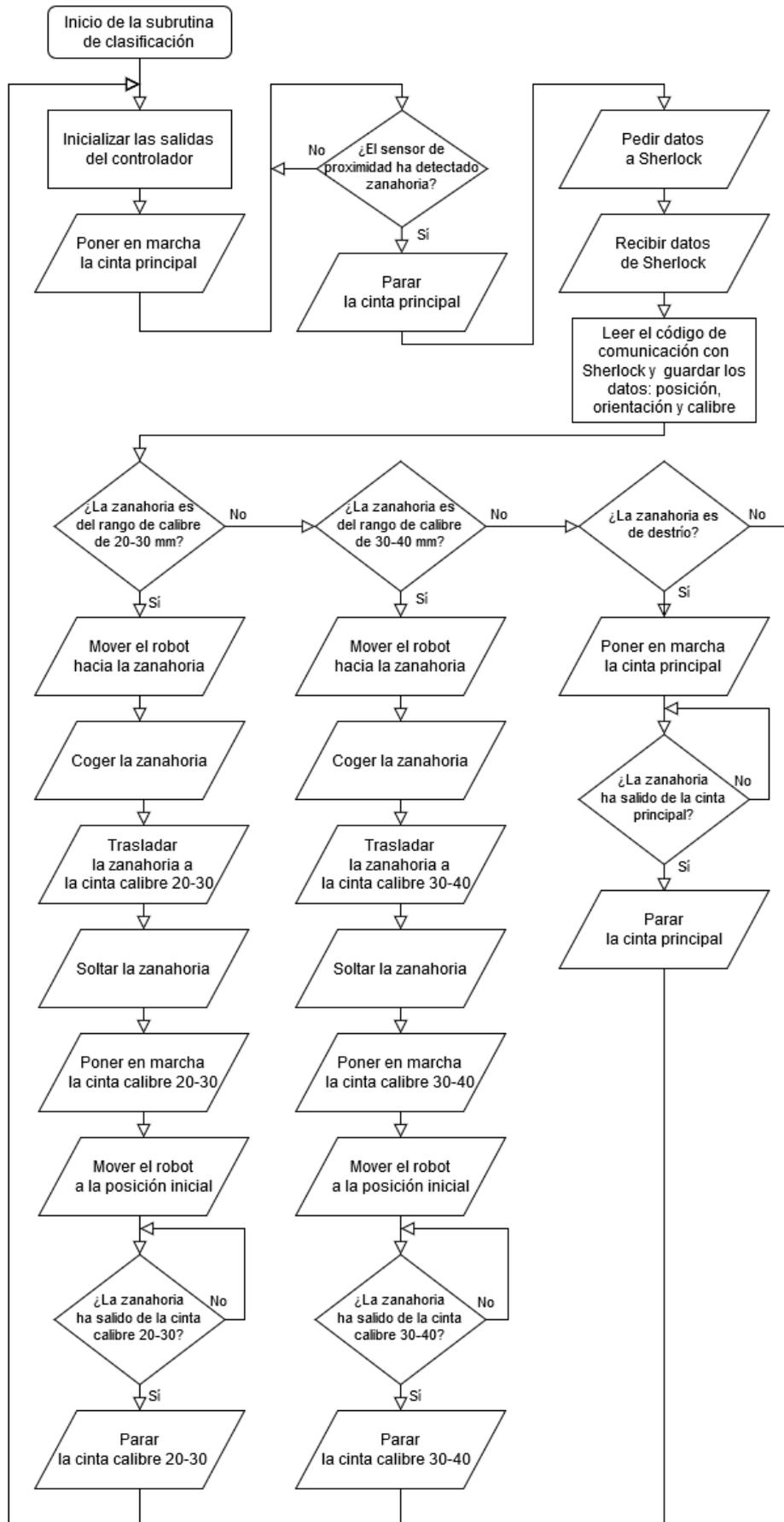


Fig. 2. Diagrama de flujo de la subrutina de clasificación.

A continuación, se expone el código Rapid [2] completo del controlador:

```

1  MODULE Module1
2      !Declaración e inicialización de variables de la subrutina de conexión inicial
3      VAR socketdev canal1;
4      VAR string Mensaje_Sherlock:="";
5
6      !Declaración e inicialización de variables subrutina de clasificación
7      VAR num longitud_trama:=0;
8      VAR num posicion_string_inicial:=0;
9      VAR num posicion_string_final:=0;
10     VAR num vuelta:=0;
11     VAR num ChPos1:=0;
12     VAR string v:="";
13     VAR num Len2:=0;
14     VAR num ChPos2:=0;
15     VAR string trozo:="";
16     VAR bool ok:=FALSE;
17     VAR num posx:=0;
18     VAR num posy:=0;
19     VAR num angulo:=0;
20     VAR orient orientacion_zanahoria:=[0,0,0,0];
21
22     !Declaración de robtargets subrutina clasificación
23     CONST robtarget Inicio:=[[224.528,0,593],[0,0,1,0],[0,0,0,0],
24         [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
25     CONST robtarget Target_20:=[[276.451,-380.357,550],[0.134731114,0.447852302,
26         0.881216872,-0.068794376],[-1,-1,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
27     CONST robtarget Target_30:=[[-2.245,-450,495],[0,0.707106781,0.707106781,0],
28         [-2,0,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
29     CONST robtarget Target_40:=[[276.451,380.357,550],[0.134996851,-0.447772272,
30         0.881257541,0.06827144],[0,-1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
31     CONST robtarget Target_50:=[[-2.245,450,495],[0,-0.707106781,0.707106781,0],
32         [1,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
33     CONST robtarget Target_60:=[[327.028,0,495],[0,0,1,0],[0,0,0,0],
34         [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
35
36     !Rutina principal
37     PROC main()
38         !Borrar Flexpendant
39         TPErase;
40
41         !Inicializar salidas del controlador
42         SetDO DO_PinzaAbierta,0;
43         SetDO DO_PinzaCerrada,0;
44         SetDO DO_PinzaCerrada2,0;
45         SetDO DO_CintaPincipal_DL,0;
46         SetDO DO_CintaCalibre2030_DL,0;
47         SetDO DO_CintaCalibre3040_DL,0;
48
49         !Mover el robot a la posición inicial
50         MoveL Inicio,v1000,fine,Servo\WObj:=wobj0;
51
52         !Ejecución de la subrutina de conexión inicial
53         Conexion;
54
55         !Ejecución de la subrutina de clasificación
56         Path_10;
57     ENDPROC
58

```

```

59     !Conexión inicial con Sherlock
60     PROC Conexion()
61         SocketCreate canal1;
62         SocketConnect canal1, "192.168.1.169", 1024;
63         SocketSend canal1\Str:="Hola!";
64         SocketReceive canal1\Str:=Mensaje_Sherlock;
65         SocketSend canal1\Str:="Estoy_listo!";
66         WaitTime 0.25;
67         TPWrite Mensaje_Sherlock;
68     ENDPROC
69
70     !Subrutina de clasificación
71     PROC Path_10()
72         INI:
73         !Inicializar salidas del controlador
74         SetDO DO_PinzaAbierta,0;
75         SetDO DO_PinzaCerrada,0;
76         SetDO DO_PinzaCerrada2,0;
77         SetDO DO_CintaPincipal_DL,0;
78         SetDO DO_CintaCalibre2030_DL,0;
79         SetDO DO_CintaCalibre3040_DL,0;
80
81         !Poner en marcha de la cinta principal
82         SetDO DO_CintaPincipal_DL,1;
83         !Esperar a que el sensor de la cinta principal detecte una zanahoria
84         WaitDI DI_Posicion1,1;
85         !Parar la cinta principal
86         SetDO DO_CintaPincipal_DL,0;
87
88         !Comunicación con Sherlock
89         SocketSend canal1\Str:="Enviame datos!";
90         SocketReceive canal1\Str:=Mensaje_Sherlock;
91
92         !Lectura del código de comunicación con Sherlock
93         longitud_trama:=StrLen(Mensaje_Sherlock);
94         TPWrite Mensaje_Sherlock;
95         TPWrite "Longitud trama = "\Num:=longitud_trama;
96     IF longitud_trama>0 THEN
97         posicion_string_inicial:=0;
98         posicion_string_final:=1;
99         vuelta:=0;
100        WHILE vuelta<3 DO
101            ChPos1:=posicion_string_inicial+posicion_string_final;
102            v:=StrPart(Mensaje_Sherlock,ChPos1,1);
103            WHILE v<>"", " AND v<>"$" AND v<>"@" AND v<>"#" DO
104                posicion_string_final:=posicion_string_final+1;
105                ChPos1:=ChPos1+1;
106                v:=StrPart(Mensaje_Sherlock,ChPos1,1);
107            ENDWHILE
108            Len2:=posicion_string_final-1;
109            ChPos2:=posicion_string_inicial+1;
110            trozo:=StrPart(Mensaje_Sherlock,ChPos2,Len2);
111            IF vuelta=0 THEN
112                ok:=StrToVal(trozo,posx);
113                TPWrite "Posicion x = "\Num:=posx;
114            ELSEIF vuelta=1 THEN
115                ok:=StrToVal(trozo,posy);
116                TPWrite "Posicion y = "\Num:=posy;
117            ELSEIF vuelta=2 THEN
118                ok:=StrToVal(trozo,angulo);
119                TPWrite "Angulo = "\Num:=angulo;
120            ENDIF

```

```

121     IF v="," THEN
122         posicion_string_inicial:=posicion_string_inicial+posicion_string_final;
123         posicion_string_final:=1;
124     ENDIF
125     vuelta:=vuelta+1;
126 ENDWHILE
127 TPWrite v;
128 !Transformación de la orientación de la zanahoria
129 orientacion_zanahoria := OrientZYX(180-angulo, 0, 180);
130 TPWrite "orientacion_zanahoria = "\Orient:=orientacion_zanahoria;
131 ENDIF
132
133 !Clasificación de la zanahoria segun Sherlock
134 IF v="$" THEN
135     !ZANAHORIA CALIBRE 20-30
136     !Mover el robot hacia la zanahoria
137     ConfJ \Off;
138     MoveJ [[327.028+posx, posy, 495+98], orientacion_zanahoria, [0,0,0,0],
139         [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]], v1000, z20, Servo\WObj:=wobj0;
140     MoveJ [[327.028+posx, posy, 495], orientacion_zanahoria, [0,0,0,0],
141         [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]], v1000, fine, Servo\WObj:=wobj0;
142     !Coger zanahoria
143     SetDO DO_PinzaCerrada2,1;
144     WaitTime 1;
145     !Trasladar zanahoria a la cinta calibre 20-30
146     MoveJ [[327.028+posx, posy, 495+98], orientacion_zanahoria, [0,0,0,0],
147         [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]], v1000, z20, Servo\WObj:=wobj0;
148     ConfJ \On;
149     MoveL Target_20, v1000, z20, Servo\WObj:=wobj0;
150     MoveL Target_30, v1000, fine, Servo\WObj:=wobj0;
151     !Soltar zanahoria
152     SetDO DO_PinzaCerrada2,0;
153     SetDO DO_PinzaAbierta,1;
154     WaitTime 1;
155     SetDO DO_PinzaAbierta,0;
156     !Poner en marcha cinta calibre 20-30
157     SetDO DO_CintaCalibre2030_DL,1;
158     !Mover el robot a la posición inicial
159     MoveL Inicio, v1000, fine, Servo\WObj:=wobj0;
160     !Esperar a que el sensor de la cinta calibre 20-30 detecte una zanahoria
161     WaitDI DI_Posicion2,1;
162     !Parar cinta calibre 20-30
163     SetDO DO_CintaCalibre2030_DL,0;
164
165 ELSEIF v="@" THEN
166     !ZANAHORIA CALIBRE 30-40
167     !Mover el robot hacia la zanahoria
168     ConfJ \Off;
169     MoveJ [[327.028+posx, posy, 495+98], orientacion_zanahoria, [0,0,0,0],
170         [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]], v1000, z20, Servo\WObj:=wobj0;
171     MoveJ [[327.028+posx, posy, 495], orientacion_zanahoria, [0,0,0,0],
172         [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]], v1000, fine, Servo\WObj:=wobj0;
173     !Coger zanahoria
174     SetDO DO_PinzaCerrada,1;
175     WaitTime 1;
176     !Trasladar zanahoria a la cinta calibre 30-40
177     MoveJ [[327.028+posx, posy, 495+98], orientacion_zanahoria, [0,0,0,0],
178         [9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09, 9E+09]], v1000, z20, Servo\WObj:=wobj0;
179     ConfJ \On;
180     MoveL Target_40, v1000, z20, Servo\WObj:=wobj0;
181     MoveL Target_50, v1000, fine, Servo\WObj:=wobj0;

```

```
182         !Soltar zanahoria
183         SetDO DO_PinzaCerrada,0;
184         SetDO DO_PinzaAbierta,1;
185         WaitTime 1;
186         SetDO DO_PinzaAbierta,0;
187         !Poner en marcha cinta calibre 30-40
188         SetDO DO_CintaCalibre3040_DL,1;
189         !Mover el robot a la posición inicial
190         MoveL Inicio,v1000,fine,Servo\WObj:=wobj0;
191         !Esperar a que el sensor de la cinta calibre 30-40 detecte una zanahoria
192         WaitDI DI_Posicion3,1;
193         !Parar cinta calibre 30-40
194         SetDO DO_CintaCalibre3040_DL,0;
195
196     ELSEIF v="#" THEN
197         !ZANAHORIA DESTRIO
198         !Poner en marcha la cinta principal
199         SetDO DO_CintaPincipal_DL,1;
200         !Esperar a que el sensor final de la cinta principal detecte una zanahoria
201         WaitDI DI_Posicion4,1;
202         !Parar la cinta principal
203         SetDO DO_CintaPincipal_DL,0;
204     ENDIF
205     GOTO INI;
206 ENDPROC
207 ENDMODULE
```

Referencias

- [1] C. Valdivia Miranda, Sistemas informáticos y redes locales, ISBN 9788497324496, Ed. Madrid: Paraninfo, 2016.
- [2] ABB, «Technical reference manual Rapid,» 2010. [En línea]. Disponible en: https://library.e.abb.com/public/688894b98123f87bc1257cc50044e809/Technical%20reference%20manual_RAPID_3HAC16581-1_revJ_en.pdf. [Último acceso: 16 junio 2020].

REALIZADO POR

Laura Rodrigo Pérez



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

SISTEMA AUTOMÁTICO DE CLASIFICACIÓN DE ZANAHORIAS EMPLEANDO UN ROBOT INDUSTRIAL Y VISIÓN ARTIFICIAL

Documento 2: PLANOS

TRABAJO FINAL DEL

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

REALIZADO POR

Laura Rodrigo Pérez

TUTORIZADO POR

Carlos Ricolfe Viala

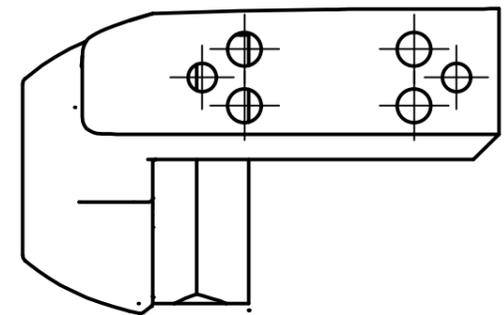
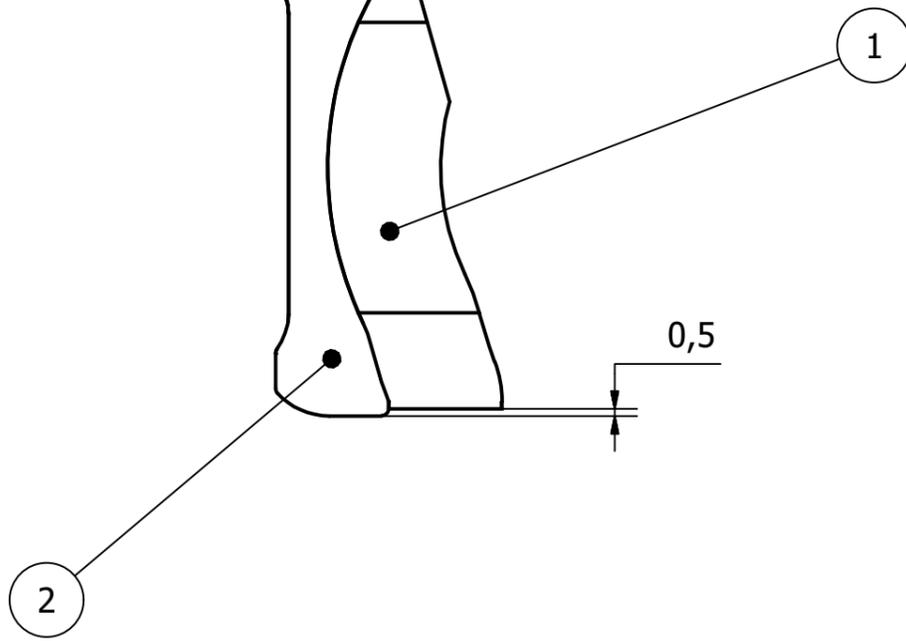
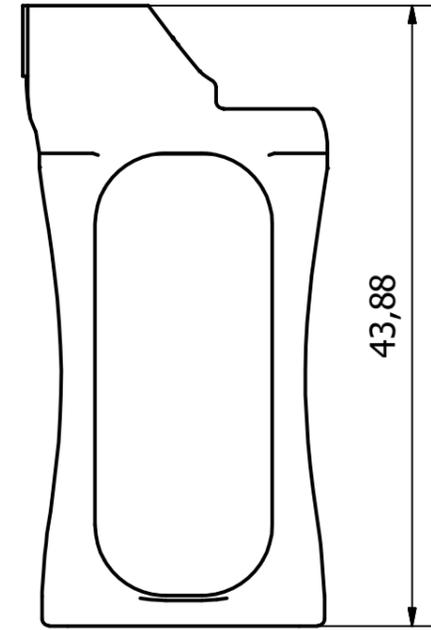
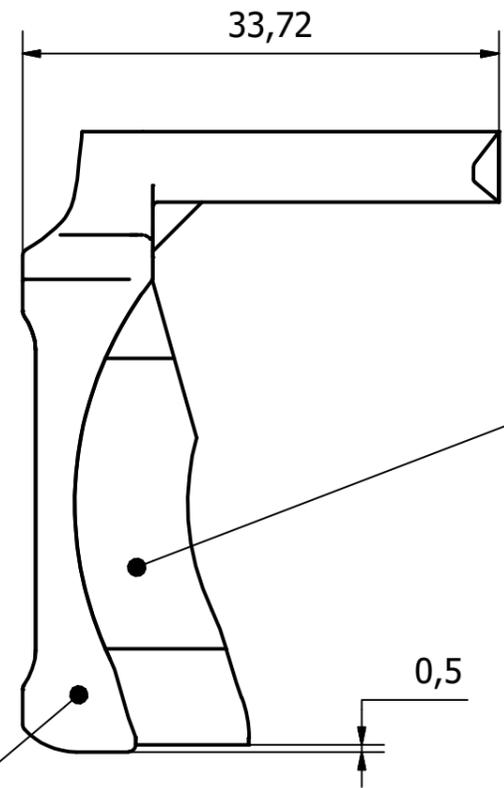
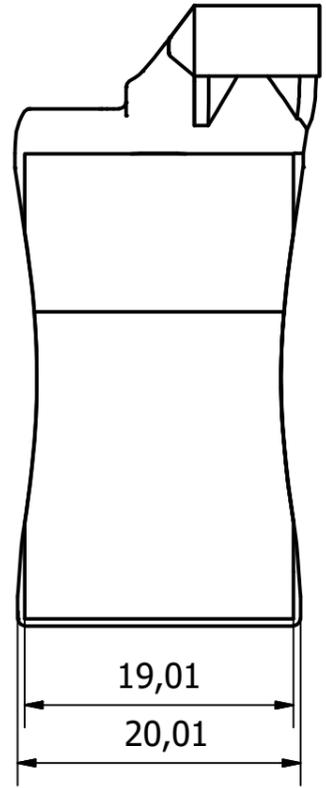
CURSO ACADÉMICO: 2019/2020

Contenido

| | Nº plano |
|--|----------|
| 2.1. Conjunto garra..... | 1 |
| 2.1.1. Espuma garra..... | 2 |
| 2.1.2. Estructura metálica garra | 3 |
| 2.2. Sistema de clasificación de zanahorias..... | 4 |
| 2.2.1. Disposición del sistema de clasificación de zanahorias..... | 5 |
| 2.2.2. Origen de coordenadas – Simulación RobotStudio..... | 6 |

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

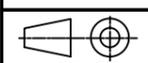
D
C
B
A



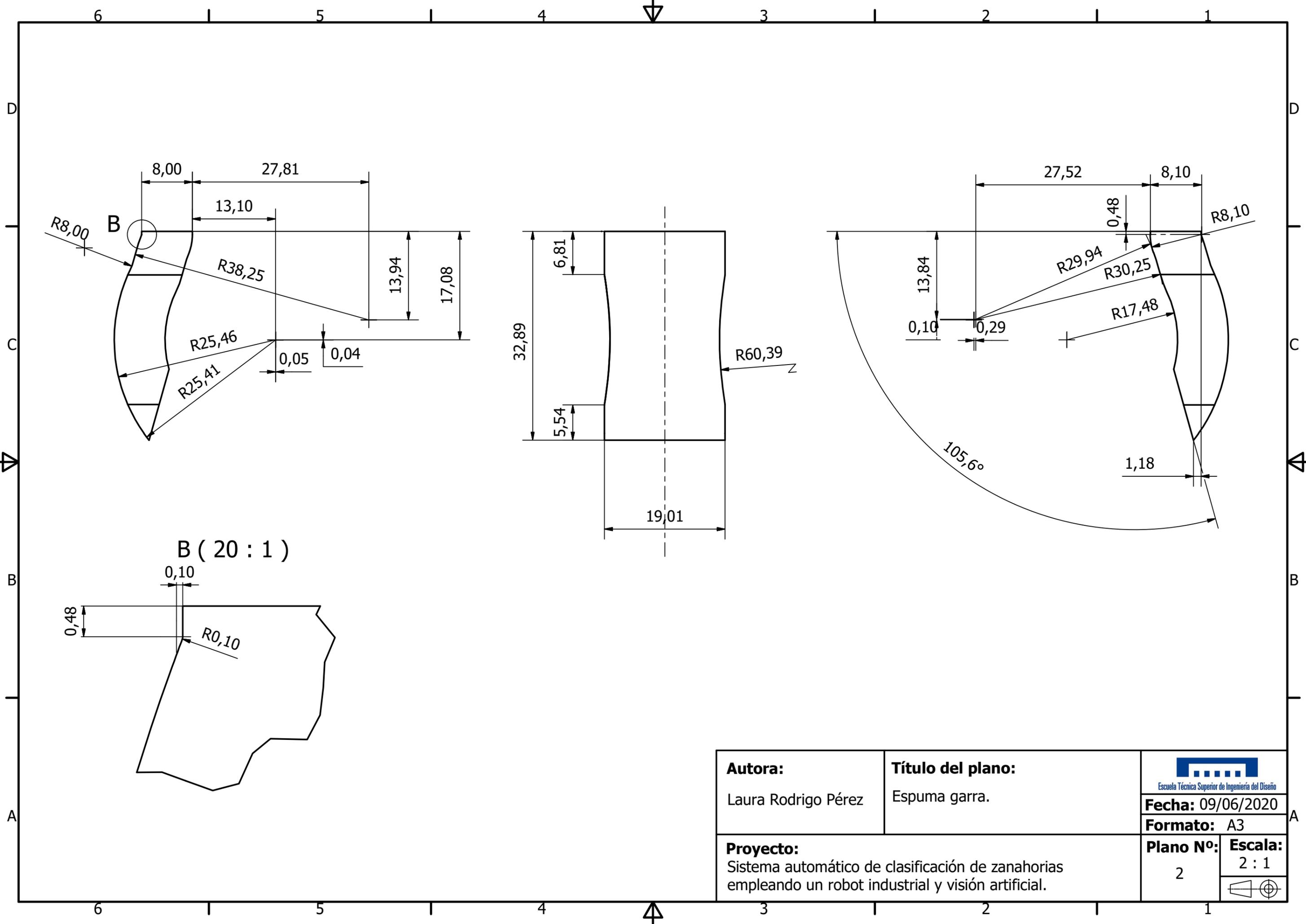
| 2 | 1 | Cuerpo garra | Acero Inoxidable AISI 304 | Plano 2 |
|-------|----------|--------------------|---------------------------|-------------|
| 1 | 1 | Cubierta garra | Polietilengligol | Plano 3 |
| Marca | Cantidad | Nombre de elemento | Material | Referencias |

Listado de elementos

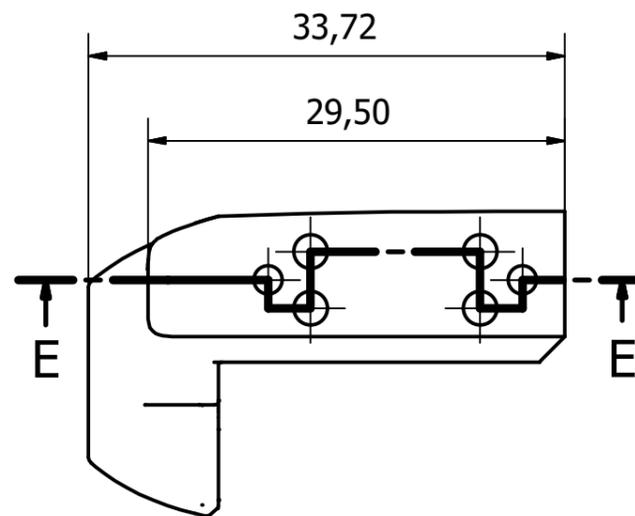
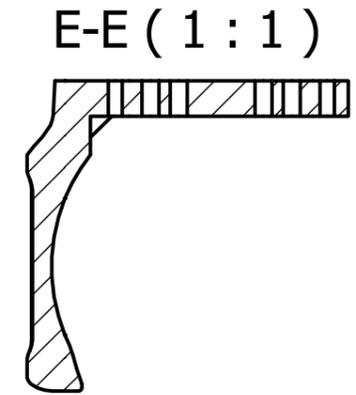
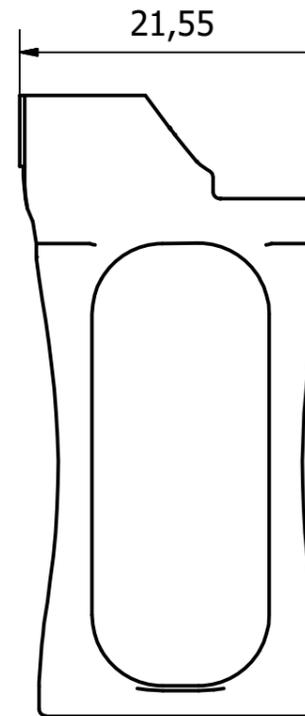
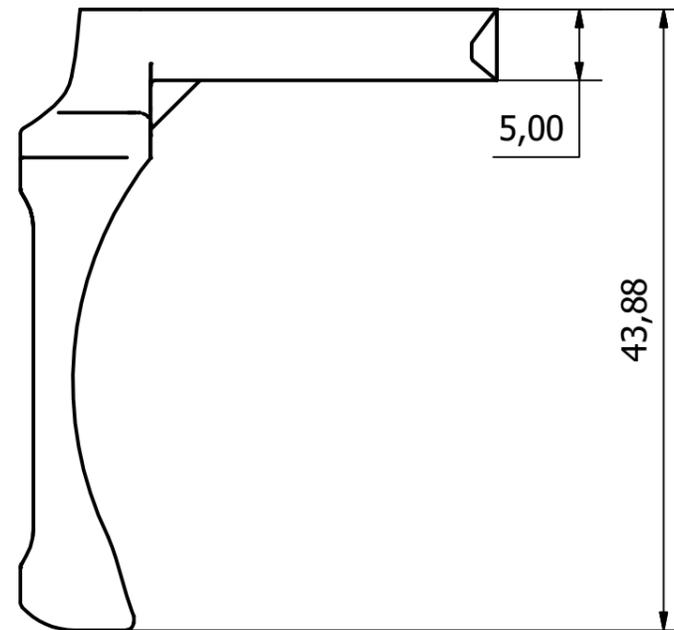
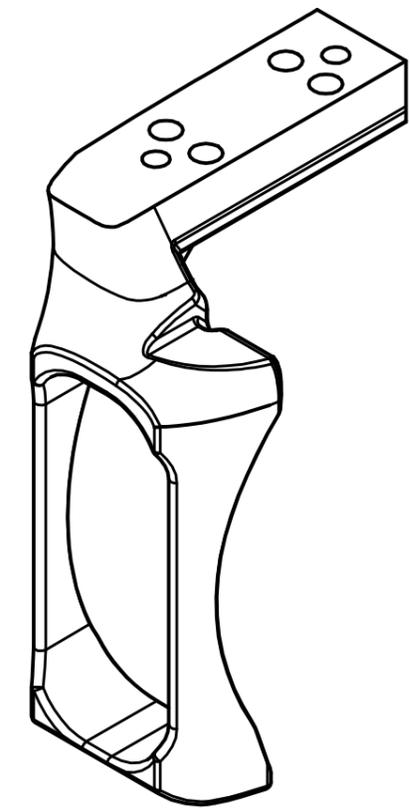
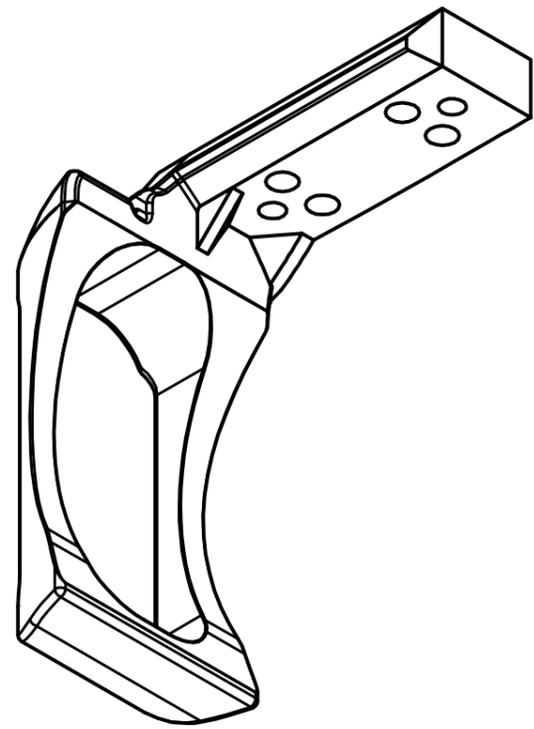
| | | | |
|--|---|--|------------------------|
| Autora: Laura Rodrigo Pérez | Título del plano: Conjunto garra. |  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño | |
| | | Fecha: 09/06/2020 | |
| Proyecto: Sistema automático de clasificación de zanahorias empleando un robot industrial y visión artificial. | | Formato: A3 | |
| | | Plano N°: 1 | Escala: 2: 1 |



6 1 5 1 4 3 1 2 1 1



| | | | |
|--|---|--|-------------------------|
| Autora: Laura Rodrigo Pérez | Título del plano: Espuma garra. |  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño | |
| | | Fecha: 09/06/2020 | |
| Proyecto: Sistema automático de clasificación de zanahorias empleando un robot industrial y visión artificial. | | Formato: A3 | |
| | | Plano N°: 2 | Escala: 2 : 1 |
| | |  | |

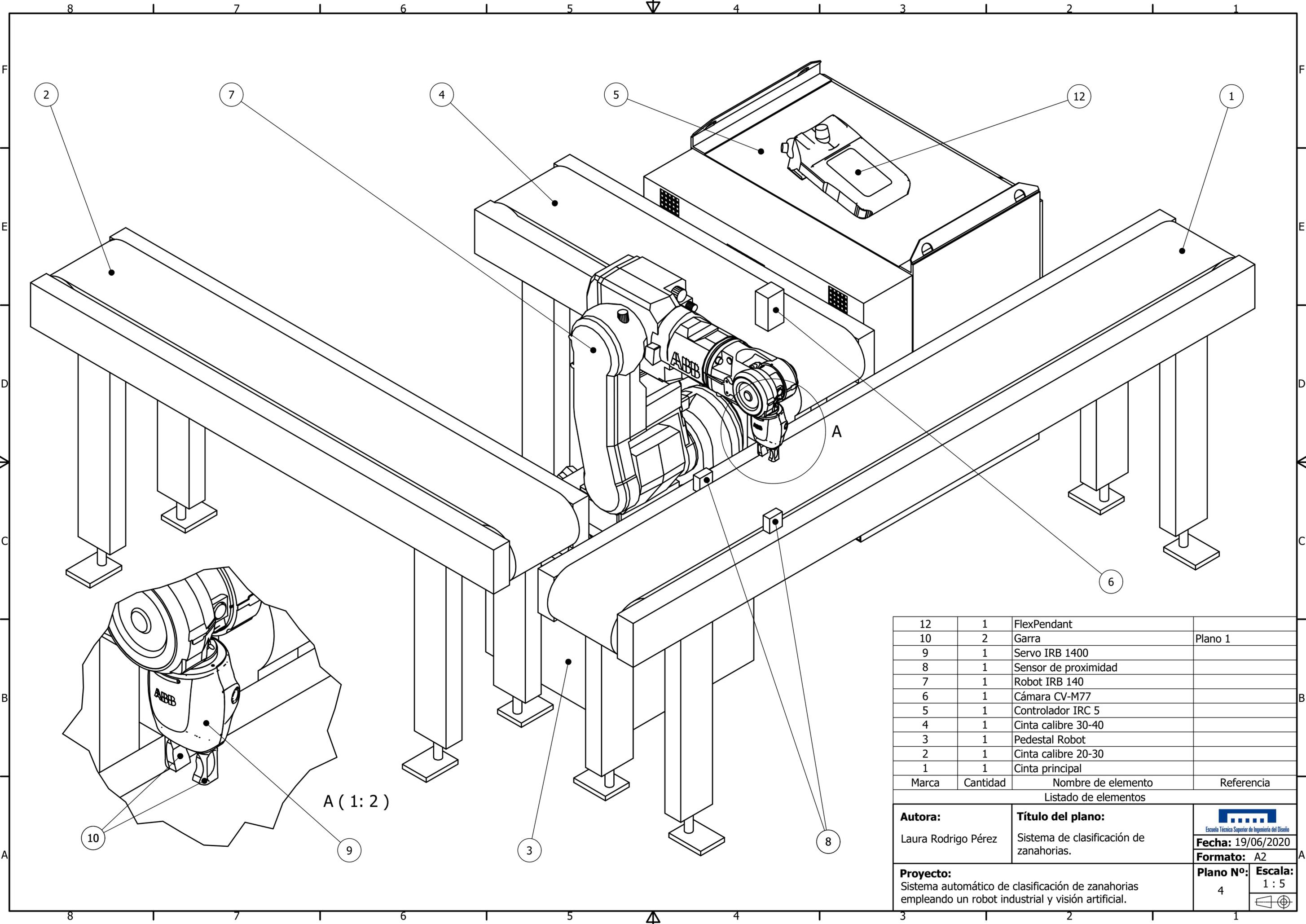


NOTA:
Fabricación mediante impresión 3D metálica. Su impresión se realizará por mallado en el archivo de CAD .stl adjuntado en el proyecto.

Parámetros de mallado:

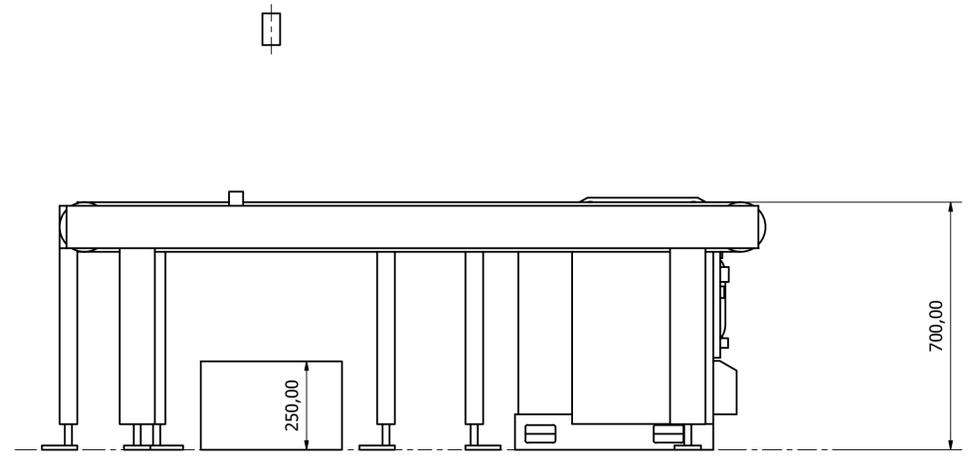
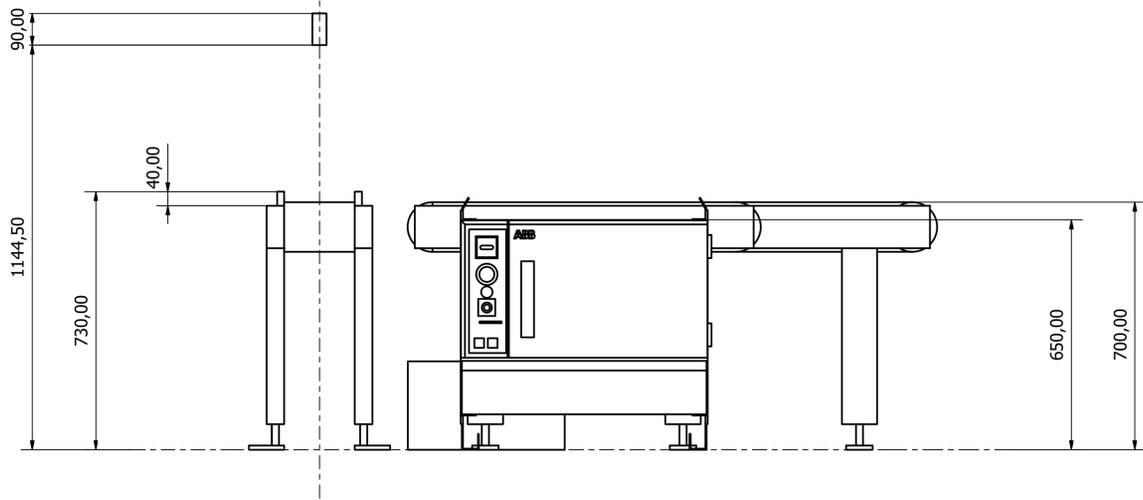
- Grosor de capa: 50 μm .
- Desviación de superficie: 0.005 %
- Desviación normal: 10 %
- Longitud de borde máxima: 100 %
- Ratio: 21.50

| | | | |
|--|--|---|--|
| Autora: Laura Rodrigo Pérez | Título del plano: Estructura metálica garra. |  Fecha: 10/06/2015 | |
| | | | Formato: A3 |
| Proyecto: Sistema automático de clasificación de zanahorias empleando un robot industrial y visión artificial. | | Plano N°: 3 | Escala: 2:1  |

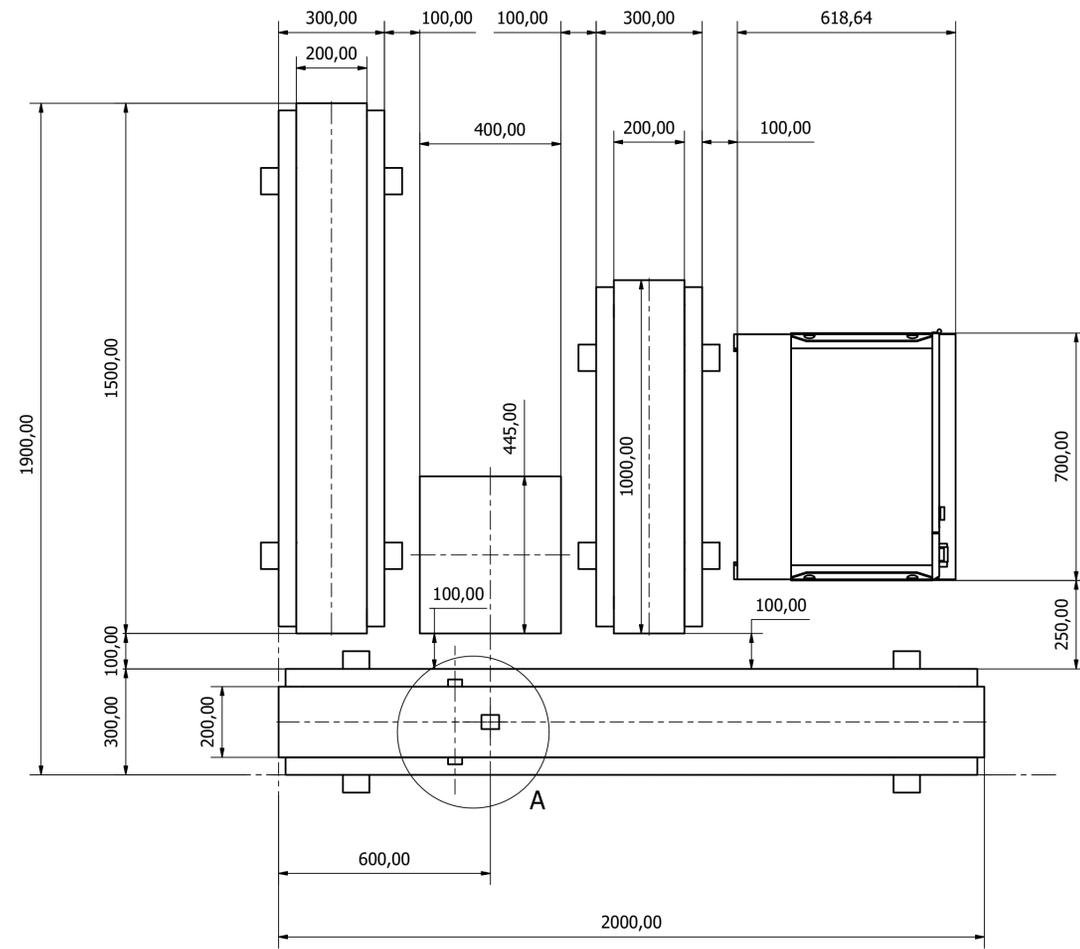
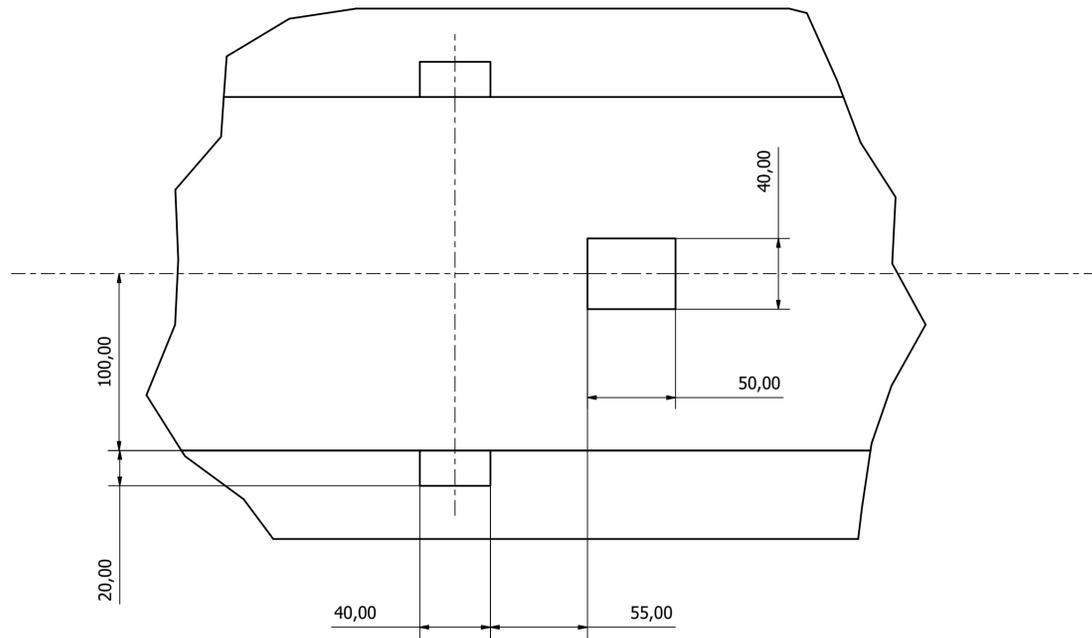


| | | | |
|----------------------|----------|----------------------|------------|
| 12 | 1 | FlexPendant | |
| 10 | 2 | Garra | Plano 1 |
| 9 | 1 | Servo IRB 1400 | |
| 8 | 1 | Sensor de proximidad | |
| 7 | 1 | Robot IRB 140 | |
| 6 | 1 | Cámara CV-M77 | |
| 5 | 1 | Controlador IRC 5 | |
| 4 | 1 | Cinta calibre 30-40 | |
| 3 | 1 | Pedestal Robot | |
| 2 | 1 | Cinta calibre 20-30 | |
| 1 | 1 | Cinta principal | |
| Marca | Cantidad | Nombre de elemento | Referencia |
| Listado de elementos | | | |

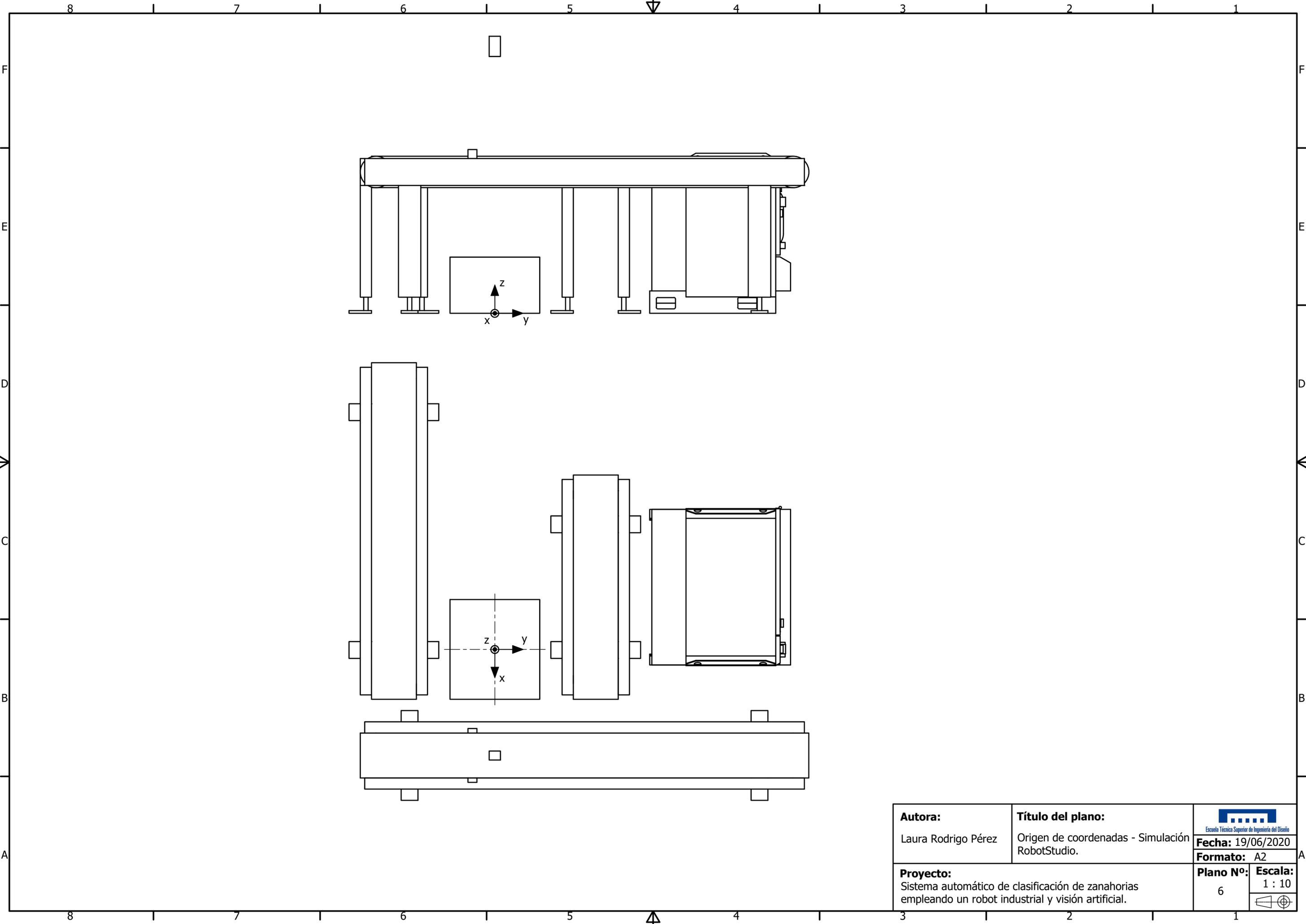
| | | |
|--|---|---|
| Autora: Laura Rodrigo Pérez | Título del plano: Sistema de clasificación de zanahorias. |  Fecha: 19/06/2020 Formato: A2 |
| Proyecto: Sistema automático de clasificación de zanahorias empleando un robot industrial y visión artificial. | Plano N°: 4 | |



A (1:2)



| | | |
|--|---|---|
| Autora: Laura Rodrigo Pérez | Título del plano: Disposición del sistema de clasificación de zanahorias. |  Fecha: 19/06/2020 |
| Proyecto: Sistema automático de clasificación de zanahorias empleando un robot industrial y visión artificial. | Plano N°: 5 | Formato: A1 Escala: 1:10 |



| | | | |
|--|---|--|---|
| Autora: Laura Rodrigo Pérez | Título del plano: Origen de coordenadas - Simulación RobotStudio. |  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño | |
| | | Fecha: 19/06/2020 | Formato: A2 |
| Proyecto: Sistema automático de clasificación de zanahorias empleando un robot industrial y visión artificial. | Plano N°: 6 | Escala: 1 : 10 |  |

Observaciones sobre los planos

Para realizar el diseño de la estructura metálica de las garras (Plano nº 3 Estructura metálica garra) se deben tener en cuenta las dimensiones de las bases del servo IRB 1400 [1, pp. 69 y 75] donde se acoplan.

Para realizar la distribución interna del sistema de clasificación (Plano nº 5 Disposición del sistema de clasificación de zanahorias) se necesita conocer las dimensiones de los elementos que lo componen. Dentro del sistema hay componentes cuyas dimensiones vienen dadas por los proveedores externos donde se adquieren, como son el controlador IRB5 con el FlexPendant [2], el pedestal del robot IRB 140 [3, pp. 19-20], el robot IRB 140 [3, p. 13] y el sensor de proximidad [4].

Referencias

- [1] ABB, «Technical data IRB 14000 YuMi», 1 junio 2020. [En línea]. Disponible en: <https://library.e.abb.com/public/7b249f42706f4e15b980bfa520867e85/3HAC052982%20PS%20IRB%2014000-en.pdf?x-sign=6ayPZfzH2hCR+OA1UFsMMspP+qnapMEhpKF5zAGxUCszhn/vXD2F/P14Q3xTE0c1>. [Último acceso: 5 junio 2020].
- [2] ABB, «IRC5 Industrial Robot Controller», 2020. [En línea]. Disponible en: <https://new.abb.com/products/robotics/controllers/irc5>. [Último acceso: 28 junio 2020].
- [3] ABB, «IRB 140», 16 septiembre 2019. [En línea]. Disponible en: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC041346-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. [Último acceso: 25 junio 2020].
- [4] Sandiman Store, «Sensor fotoeléctrico con reflex», 2020. [En línea]. Disponible en: <http://www.sandimanstore.cl/producto/sensor-fotoelectrico-con-reflex-5mts-12-24vdc-pnp/>. [Último acceso: 1 julio 2020].

REALIZADO POR

Laura Rodrigo Pérez



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE CLASIFICACIÓN DE ZANAHORIAS
EMPLEANDO UN ROBOT INDUSTRIAL Y VISIÓN ARTIFICIAL**

Documento 3: PLIEGO DE CONDICIONES

TRABAJO FINAL DEL

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

REALIZADO POR

Laura Rodrigo Pérez

TUTORIZADO POR

Carlos Ricolfe Viala

CURSO ACADÉMICO: 2019/2020

Contenido

- 3.1. Objeto.....4
- 3.2. Condiciones de los materiales4
 - 3.2.1. Descripción 4
 - 3.2.2. Control de calidad 8
- 3.3. Condiciones de la ejecución8
 - 3.3.1. Descripción 8
 - 3.3.2. Control de calidad12
- 3.4. Pruebas y ajustes finales o de servicio12

Índice de figuras

| | | |
|---------|--|----|
| Fig. 1. | Alcance robot industrial IRB 140 [1]. | 6 |
| Fig. 2. | Cargas máximas del robot IRB 140 [1]. (a) Datos. (b) Sistema de coordenadas. | 7 |
| Fig. 3. | Soporte del sensor fotoeléctrico..... | 8 |
| Fig. 4. | Conexiones de la cámara [2]. (a) Alimentación. (b) Control a través del bus RS-232. (c) Señal de vídeo RGB..... | 9 |
| Fig. 5. | Conector D-sub26 hembra [3]. | 10 |
| Fig. 6. | Conector D-sub9 hembra bus RS-232 [4]. | 10 |

3.1. Objeto

La presente especificación técnica hace referencia al diseño e instalación del sistema de clasificación de zanahorias que se ha simulado.

El sistema se encarga de clasificar zanahorias de alta calidad según su calibre y está compuesto por tres cintas transportadoras, un sistema de visión artificial y un robot industrial.

3.2. Condiciones de los materiales

3.2.1. Descripción

- Cintas transportadoras

Las **bandas** de las **cintas transportadoras** serán bandas alimentarias FNB-5E de Habasit o equivalentes. El lado de transporte (el lado que estará en contacto con los alimentos) será blanco y mate, y estará fabricado con poliuretano termoplástico, que es un material apto para el contacto con los alimentos según la normativa (UE) nº 10/2011. El lado que está en contacto con los rodillos será de color gris claro y estará fabricado con poliéster. El empalme estará realizado sin adhesivo. Las bandas tendrán un espesor de 1,30 mm y su masa será de 1,5 kg/m². Tendrán una fuerza de tracción para 1% de alargamiento después de la relajación por unidad de ancho de 4,6 N/mm. Las tres tendrán 200 mm de ancho. La banda de la **cinta principal** tendrá una longitud de 4 000 mm, la de la **cinta del calibre 20 – 30 mm** tendrá una longitud de 3 000 mm y la de la **cinta del calibre 30 – 40 mm**, de 2 000 mm.

Las **estructuras mecanizadas** de las **cintas transportadoras** serán transportadores horizontales de la serie IGL de MartinMaq o equivalentes. Estarán adecuadas para trasladar horizontalmente hortalizas frescas. Estarán construidas con acero inoxidable para obtener una estructura robusta y resistente. Las bandas rodarán sobre rodillos giratorios. Tendrán tensores de banda tanto en la entrada como en la salida. Circularán a una velocidad de 200 mm/s. Tendrán un consumo de 0,12 kW. Las tres cintas tendrán una altura de 700 mm y un ancho de 300 mm. La estructura mecanizada de la **cinta principal** tendrá una longitud de 2 000 mm, la de la **cinta del calibre 20 – 30 mm** tendrá una longitud de 1 500 mm y la de la **cinta del calibre 30 – 40 mm**, de 1 000 mm.

El **sensor de proximidad** será un sensor fotoeléctrico con réflex con un alcance de 5 m de Panasonic (SKU: CX-493-P) o equivalente. Tendrá unas dimensiones de 31 mm de altura, 11,2 mm de anchura y 20 mm de profundidad. Incluirá el soporte de montaje del sensor MS-CX-3 con cuatro tornillos M3 x 12 mm DIN 84 y sus respectivas arandelas. Necesitará una tensión de 12 a 24 V y consumirá 10 mA. El rango de detección estará especificado para el reflector RF-230. Las medidas del reflector serán de 59,3 mm de altura, 50,3 mm de anchura y 8,3 mm de profundidad. Incluirá dos tornillos M4 x 10 mm DIN 7985 con sus respectivas arandelas. Tendrá un cable de 5 m de longitud.

- Visión artificial

El **ordenador industrial** embarcado será el modelo UNO-3382G de Advantech o equivalente. Tendrá un procesador Intel Core i5 o superior con una memoria RAM de 8 GB como mínimo. Tendrá bus PCI y puerto RS-232. Tendrá una carcasa de aluminio de

dimensiones de 65,2 mm altura, 207 mm de anchura y 254 mm de profundidad; y una masa de 3,1 kg. Necesitará una tensión continua de 24 V \pm 20% y consumirá 45 W. El conector de alimentación es un bloque de 3 terminales.

El transformador de 220 V de tensión alterna a **fuentes de alimentación de 24 V** de tensión continua y 5 A tendrá unas dimensiones de 190x40x90 mm y una masa de 399 g.

El **enchufe con cable** será de 1,5 m de longitud. Se podrá instalar a la red eléctrica de forma directa. Tendrá 3 cables: Fase, Neutro y Protección de Puesta a Tierra. El enchufe será de tipo F. Se necesitarán 2 unidades.

La **cámara** será modelo CV-M77 de Jai. Tendrá un sensor CCD de color RGB de escaneo progresivo de 24,8 frames/s, con resolución XGA (1034x779 píxeles) y de 1/3" de tamaño (4,8(h)x3,6(v)). Tendrá unas dimensiones de 50x40x90 mm y una masa de 270 g. Se alimentará con una tensión continua 12 V \pm 10% y consumirá 5,5 W. Tendrá 3 conexiones: HR10A-10P-12P para la alimentación, HR10A-7P-6P para el control desde el ordenador a través del bus serie RS-232C y D-sub9 para la salida de las señales de vídeo RGB.

Los **tornillos M3x5 mm** serán de tipo rosca métrica de cabeza alomada, de acero y con acabado cincado. Tendrá una rosca de 5 mm de longitud y 2,90 mm de diámetro y una cabeza de 6 mm de diámetro. Cumplirá la normativa DIN 7985. Se necesitarán 8 unidades.

Las **arandelas M3** serán de acero inoxidable A4 316 de 0,5 mm de grosor y acabado plano. Tendrán un diámetro interno de 3,2 mm y un diámetro externo de 7 mm. Se necesitarán 8 unidades.

El transformador de 220 V de tensión alterna a **fuentes de alimentación de 12 V** de tensión continua y 10 A tendrá unas dimensiones de 195x50x50 mm y una masa de 281 g.

El **cable eléctrico de 2 núcleos** de PVC tendrá dos cables de 2,15 mm de diámetro en su interior.

El **conector HR10A-10P-12S** será hembra de 12 contactos para conectar cables mediante soldadura.

El **cable eléctrico de 3 núcleos** de PVC tendrá tres cables de 1,5 mm de diámetro en su interior.

El **conector HR10A-7P-6S** será hembra de 6 contactos para conectar cables mediante soldadura.

El **conector D-sub9** será hembra de 9 contactos para conectar cables mediante soldadura.

El **cable eléctrico de 5 núcleos** de PVC tendrá cinco cables de 1 mm de diámetro en su interior.

El **conector D-sub9** será macho de 9 contactos para conectar cables mediante soldadura.

El **conector D-sub26** será macho de 26 contactos para conectar cables mediante soldadura.

La **tarjeta capturadora de vídeo** adquirirá señales RGB y tendrá bus PCI. Se alimentará vía PCI. Tendrá unas dimensiones de 171 mm de largo y 10 mm de ancho.

La **licencia de Windows 10** de 64 bits será el sistema operativo del ordenador industrial.

La **licencia de Sherlock 7** de Teledyne Dalsa para un sistema operativo de 64 bits será la herramienta de procesamiento de las imágenes. Tendrá una interfaz gráfica de usuario.

- Robot industrial

El **controlador** del sistema será el **IRC5 Single Cabinet** de ABB. Tendrá unas dimensiones de 970x725x710 mm y un peso de 150 kg. Será un sistema multi-proceso con bus PCI y disco de memoria Flash. Tendrá una tarjeta de 16 entradas digitales y 16 salidas digitales. Necesitará una tensión de 400 V y 50 Hz. Tendrá un sistema de respaldo de energía. Incluirá el FlexPendant con un puerto USB para memorias flash y con un cable de 10 m. Incluirá cable de alimentación y cables para las distintas entradas y salidas. Tiene el programa de control preinstalado.

La **licencia RobotWare (RobotStudio)** será el programa de control del sistema.

El **robot Industrial** será el **IRB 140** de ABB. Será un robot multifunción de seis ejes. Podrá manejar una carga útil de 6 kg, con un alcance de 810 mm, como se observa en la Fig. 1. Tendrá una masa de 98 kg. Consumirá 0,4 kW. Tendrá una repetibilidad de 0,03 mm. Será de color blanco grafito. Tendrá un cable de una longitud de 7 m. Se controlará con el programa de control del robot Robotware. Cumplirá la normativa UNE-EN ISO 10218-1:2012, UNE-EN ISO 10218-2:2011, UNE-EN ISO 13857:2008, UNE-EN ISO 13850:2016, ISO 9283:1998, ISO 9409-1:2004 e ISO 9409-2:2002.

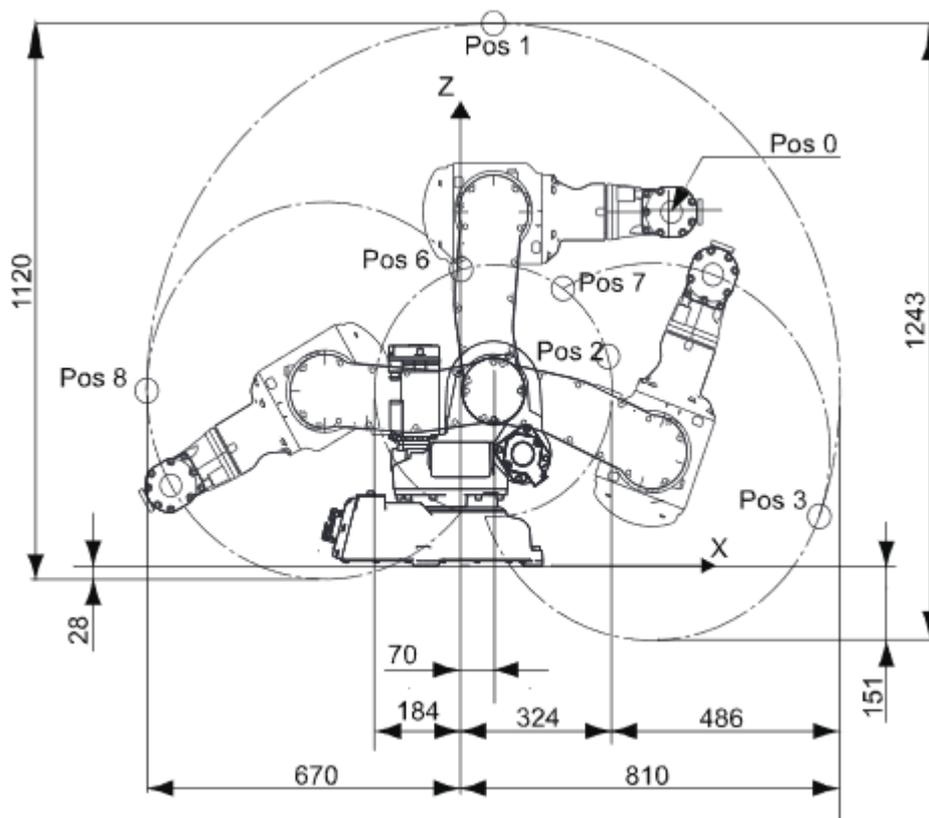


Fig. 1. Alcance robot industrial IRB 140 [1].

Los **tornillos M12x30 mm** serán de tipo rosca métrica, de cabeza hexagonal, de acero y con acabado cincado. De calidad 8,8. Tendrá una rosca de 30 mm de longitud y una cabeza de 12 mm de diámetro. Cumplirá la normativa DIN 933. Se necesitarán 3 unidades.

Las **arandelas M12** serán de acero inoxidable A2 de 0,5 mm de grosor y acabado plano. Cumplirán la normativa DIN 125 A. Se necesitarán 6 unidades.

Las **tuercas M12** serán de acero con acabado cincado. Cumplirán la normativa DIN 934. Se necesitarán 3 unidades.

Los **tornillos M16x40 mm** serán de tipo rosca métrica, de cabeza hexagonal, de acero y con acabado cincado. De calidad 8,8. Tendrá una rosca de 40 mm de longitud y una cabeza de 16 mm de diámetro. Cumplirá la normativa DIN 933. Se necesitarán 4 unidades.

Las **arandelas M16** serán de acero con acabado cincado. Cumplirán la normativa DIN 934. Se necesitarán 4 unidades.

El **pedestal** estará adaptado para el robot IRB 140. Tendrá una altura de 250 mm. Soportará las cargas máximas del robot que se ven reflejadas en la Fig. 2 (a), según el sistema de coordenadas de la base (Fig. 2 (b)).

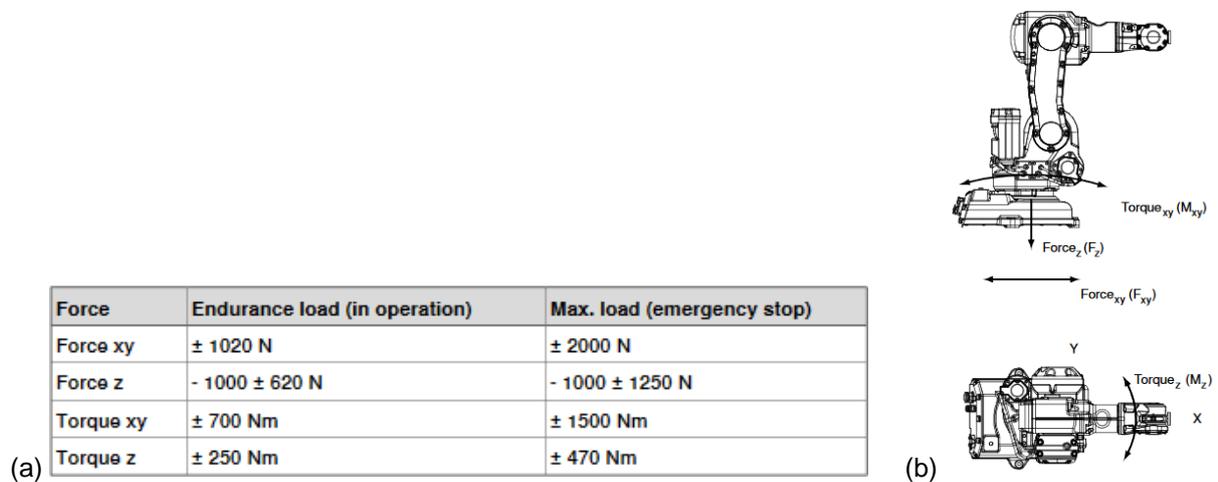


Fig. 2. Cargas máximas del robot IRB 140 [1]. (a) Datos. (b) Sistema de coordenadas.

La **pinza IRB 14000** o equivalente será el mecanismo para la pinza que se empleará. Poseerá un módulo con un servo y un par de garras predeterminadas. Tendrá unas dimensiones de 97x69x83 mm, una masa de 215 g y una capacidad de carga de 285 g. Las garras tendrán un rango de movimiento de 50 mm. Podrán alcanzar una velocidad máxima de 25 mm/s. Tendrá una repetibilidad de ± 0,05 mm. Cumplirá la normativa ISO 14539:2000.

Los **tornillos M2,5x12 mm** serán de cabeza cilíndrica con hexágono interior DIN 912 de 2,5 mm de diámetro. Tendrán una longitud de rosca de 12 mm. Se necesitarán 4 unidades.

Las **arandelas M2,5** serán planas, de acero inoxidable A2. Cumplirá la normativa DIN 125. Se necesitarán 4 unidades.

Los **tornillos M2x7 mm** serán de cabeza cilíndrica con hexágono interior DIN 912, de acero inoxidable A2. La longitud de la rosca será de 7 mm. Se necesitarán 12 unidades.

Las **arandelas M2** serán planas, de acero inoxidable A2. Cumplirá la normativa DIN 125. Se necesitarán 12 unidades.

La **estructura metálica** de la **garra** estará fabricada con acero inoxidable AISI 316 con una máquina de impresión 3D. Tendrá la forma detallada en el plano nº 3. Cumplirá el real decreto 397/1990.

La **espuma** de la garra estará fabricada con polietilenglicol por corte láser. Tendrá la forma detallada en el plano nº 2. Cumplirá el Reglamento (UE) nº 10/2011.

El **adhesivo de resina** será resistente a los rayos UV, a la intemperie, a altas y bajas temperaturas y a la humedad. Tendrá excelentes propiedades dieléctricas. Cumplirá la normativa DIN 2304. Será apto para el contacto con los alimentos como indica el Real Decreto 847/2011.

3.2.1. Control de calidad

Todos los materiales deberán poseer el marcado CE.

3.3. Condiciones de la ejecución

3.3.1. Descripción

- Cintas transportadoras

Para montar las cintas transportadoras se deberán colocar las bandas en las estructuras mecanizadas. La banda de 4 000 mm de longitud corresponde a la estructura de 2 000 mm; la de 3 000 mm, con la de 1 500 mm y la de 2 000 mm, con la de 1 000 mm. Para montar las bandas correctamente, se debe colocar hacia los rodillos el lado gris claro de la banda (fabricado con poliéster), por lo que el lado blanco fabricado con poliuretano termoplástico deberá quedar a la vista y será la cara que estará en contacto con los alimentos.

El sensor de proximidad se deberá colocar en la cinta principal, tal y como se observa en el plano nº 5. El sensor fotoeléctrico se atornillará a un lateral de la cinta con la ayuda del soporte. Como se observa en la Fig. 3, se emplearán dos tornillos M3 x 12 mm y dos arandelas para atornillar el sensor al soporte y otros dos tornillos y arandelas iguales a los anteriores para atornillar el soporte al lateral de la cinta principal. El reflector del sensor de proximidad se atornillará alineado con el sensor en el lateral opuesto de la cinta principal con dos tornillos M4 x 10 mm y con sus respectivas arandelas.

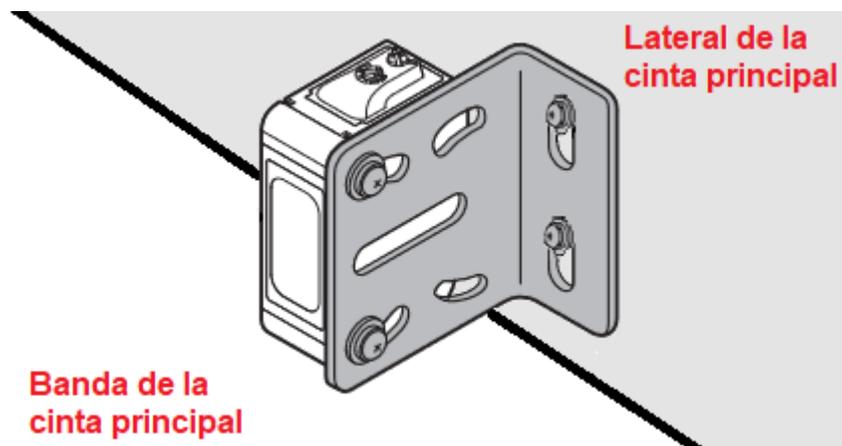


Fig. 3. Soporte del sensor fotoeléctrico.

Las tres cintas transportadoras se colocarán en la posición indicada en el plano nº 5.

- **Visión artificial**

La cámara se colgará del techo mediante una estructura metálica y quedará a una altura de 1144,5 mm del suelo, como se observa en el plano nº 5. Se emplearán los tornillos M3x5 mm y sus respectivas arandelas M3.

Para alimentar la cámara se utilizará la conexión HR10A-10P-12P, la cual se observa en la Fig. 4 (a).

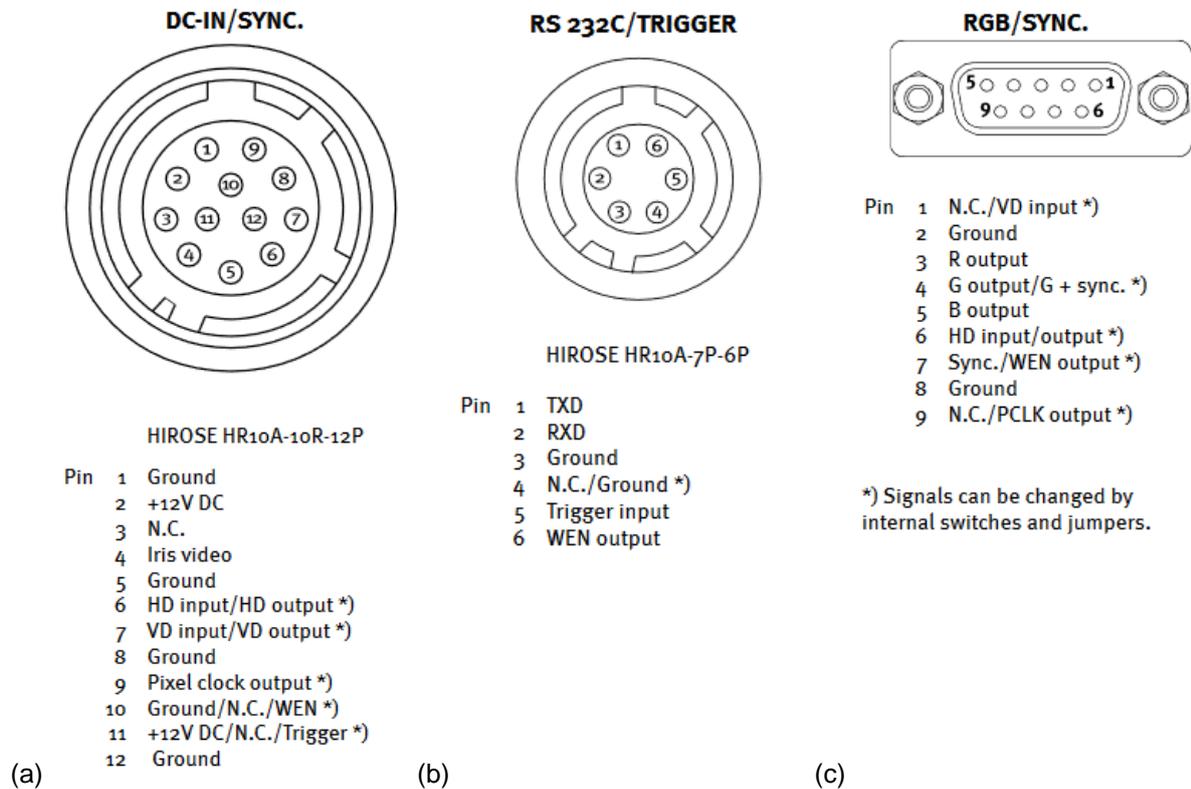


Fig. 4. Conexiones de la cámara [2].

(a) Alimentación. (b) Control a través del bus RS-232. (c) Señal de vídeo RGB.

Del cable eléctrico de 2 núcleos, se soldará un cable al pin 1 del conector HR10A-10P-12S y un segundo cable al pin 2. Se conectará el segundo cable a la salida de + 12 V DC de la fuente de alimentación y el primer cable a la salida de tierra y al contacto negativo de la salida de 12 V DC de la fuente de alimentación.

Se conectará el cable Fase del enchufe a la entrada positiva de 220 V de la fuente de alimentación, el cable Neutro a la entrada negativa y el cable Protección a la tierra de la fuente de alimentación.

La fuente de alimentación de 12 V se colocará sobre la estructura metálica de la que colgará la cámara.

Se ensamblará el conector HR10A-10P-12S hembra con la conexión HR10A-10P-12P de la cámara y se dejará preparado el enchufe para conectarlo posteriormente a una toma de corriente de 220 V AC.

Para transmitir la señal de vídeo RGB de la cámara al ordenador industrial se empleará la conexión que se observa en la Fig. 4 (c). Para traducir la información se empleará una tarjeta

capturadora de vídeo. La entrada de la tarjeta capturadora será un conector D-sub26 hembra como el que se observa en la Fig. 5.

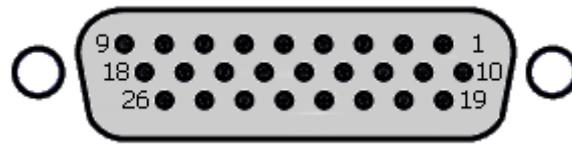


Fig. 5. Conector D-sub26 hembra [3].

Del cable eléctrico de 5 núcleos, se soldará el extremo de un cable al pin 3 del conector D-sub9 macho y el otro extremo al pin 2 del conector D-sub26 macho para transmitir la señal R de la cámara, se soldará un segundo cable al pin 4 del del conector D-sub9 macho y el otro extremo al pin 3 del conector D-sub26 macho para transmitir la señal G de la cámara, se soldará un tercer cable al pin 5 del del conector D-sub9 macho y el otro extremo al pin 4 del conector D-sub26 macho para transmitir la señal G de la cámara. También se soldará un extremo de un cuarto cable al pin 7 del conector D-sub9 macho y el otro extremo al pin 5 del conector D-sub26 macho para transmitir la señal de sincronización. Por último, se soldará un extremo de un quinto cable al pin 8 del conector D-sub9 macho y el otro extremo al pin 10 del conector D-sub26 macho para unir las tierras.

Se ensamblará el conector D-sub9 macho con la conexión D-sub9 hembra de la cámara y se unirá el conector D-sub26 macho al jack D-sub26 hembra de la tarjeta capturadora de vídeo.

La tarjeta capturadora de vídeo se insertará en el bus PCI del ordenador industrial.

Para controlar la cámara con el ordenador industrial vía bus RS-232 se empleará la conexión HR10A-7P-6P macho que se observa en la Fig. 4 (b).

Del cable eléctrico de 3 núcleos, se soldará el extremo de un cable al pin 1 (TXD) del conector HR10A-7P-6S hembra y el otro extremo al pin 2 (RXD) del conector D-sub9 hembra (Fig. 6). Se soldará un segundo cable al pin 2 (RXD) del del conector HR10A-7P-6S hembra y el otro extremo al pin 3 (TXD) del conector D-sub9 hembra. También se soldará un extremo de un tercer cable al pin 3 del conector HR10A-7P-6S hembra y el otro extremo al pin 5 del conector D-sub9 hembra para unir las tierras.

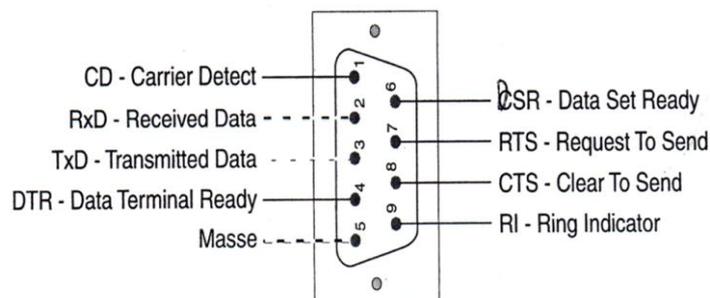


Fig. 6. Conector D-sub9 hembra bus RS-232 [4].

Se ensamblará el conector HR10A-7P-6S hembra a la conexión HR10A-7P-6P macho de la cámara y se unirá el conector D-sub9 hembra al bus RS-232 del ordenador industrial.

Para alimentar el ordenador industrial se conectarán 3 cables: fase, neutro y tierra en sus respectivos terminales. El primer cable se unirá al contacto positivo de la salida de 24 V DC de la fuente de alimentación, el segundo al negativo de dicha salida y el tercero a la tierra de la fuente.

Se conectará el cable Fase de otro enchufe a la entrada positiva de 220 V de esta fuente de alimentación, el cable Neutro a la entrada negativa y el cable Protección a la tierra.

Se dejará preparado el enchufe para conectarlo posteriormente a una toma de tensión alterna de 220 V AC.

La fuente de tensión continua de 24 V y el ordenador industrial se colocarán sobre la estructura metálica donde estará colgada la cámara.

Se deberán conectar los dos enchufes que se habrán dejado preparados

Se instalará el Windows 10 en el ordenador industrial y se activará la licencia.

Se instalará el programa Sherlock activando la licencia y se cargará el código del proyecto.

Se realizarán los ajustes para la conexión TCP/IP.

Se colocará el patrón de calibrado sobre la cinta principal, se abrirá el código de calibración y se realizará dicho proceso.

Se colocará una zanahoria sobre la cinta principal dentro del campo de visión de la cámara y se realizará el entrenamiento del algoritmo Color Map.

- **Robot industrial**

Se pegará con adhesivo de resina la espuma a la estructura metálica de la garra según indica el plano nº 1.

Se atornillarán las dos garras al servo IRB 14000, cada una con seis tornillos M2x7 mm y sus correspondientes arandelas M2.

Se atornillará el servo IRB 14000 a la muñeca del robot industrial IRB 140 con los tornillos M2,5x12 mm y sus respectivas arandelas M2,5.

Se fijará el pedestal en su sitio (plano nº 5) con los tornillos M16x40 mm y sus respectivas arandelas M16.

Encima del pedestal se montará el robot IRB 140 con los tornillos M12x30 mm y sus respectivas arandelas y tuercas M12.

Se colocará el controlador IRC5 en la posición que indica el plano nº 5, junto con el FlexPendant.

Se conectará el cable del robot IRB 140 al controlador IRC5. Y se conectarán los cables de la pinza, las tres cintas transportadoras, el sensor de proximidad a la tarjeta de entradas y salidas del controlador IRC5, según se indica en el Anexo 1 de la memoria.

Se transferirá al controlador el código del programa.

3.3.2. Control de calidad

Se realizará una inspección visual para comprobar que no cada uno de los equipos está ubicado en su posición de acuerdo con el plano nº 5.

A continuación se comprobará que todos los cables están conectados y asegurados.

3.4. Pruebas y ajustes finales o de servicio

Se realizará el siguiente proceso para comprobar el correcto funcionamiento del sistema:

- Se pulsará el botón de encendido del controlador y del ordenador industrial.
- Desde el FlexPendant, se iniciará el programa del sistema de clasificación.
- Se colocará 1 kg (aprox.) de zanahorias en el sistema que alimenta las zanahorias a la cinta.
- Una vez clasificadas todas las zanahorias, se comprobará manualmente que las zanahorias clasificadas en cada uno de los grupos corresponden a su tipología.

Referencias

- [1] ABB, «IRB 140», 16 septiembre 2019. [En línea]. Disponible en: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC041346-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. [Último acceso: 25 junio 2020].
- [2] Jai, «CV-M77 Progressive Scan RGB Color CCD Camera», 2011. [En línea]. Disponible en: http://www.ni.com/third_party/jai/pdf/cv_m77db.pdf. [Último acceso: 26 junio 2020].
- [3] Balluff, «mvTITAN-RGB/G4», 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.matrix-vision.com/manuals/mvTITAN_mvGAMMA/mvGrabber_page_tech.html. [Último acceso: 7 julio 2020].
- [4] M. Sandel, «Conexiones serie y paralelo», 5 noviembre 2012. [En línea]. Disponible en: <https://miguel.sandel.wordpress.com/2012/11/05/conexiones-serie-y-paralelo/>. [Último acceso: 7 julio 2020].

REALIZADO POR
Laura Rodrigo Pérez



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

SISTEMA AUTOMÁTICO DE CLASIFICACIÓN DE ZANAHORIAS EMPLEANDO UN ROBOT INDUSTRIAL Y VISIÓN ARTIFICIAL

Documento 4: PRESUPUESTO

TRABAJO FINAL DEL

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

REALIZADO POR

Laura Rodrigo Pérez

TUTORIZADO POR

Carlos Ricolfe Viala

CURSO ACADÉMICO: 2019/2020g

Contenido

| | |
|---|----|
| 4.1. Cuadros de precios elementales | 4 |
| 4.1.1. Cuadro de materiales..... | 4 |
| 4.1.2. Cuadro de mano de obra | 5 |
| 4.1.2. Costes directos complementarios | 5 |
| 4.2. Cuadros de precios descompuestos..... | 6 |
| 4.2.1. Capítulo 1: Diseño del sistema..... | 6 |
| 4.2.2. Capítulo 2: Instalación del sistema..... | 6 |
| 4.3. Cuadros de precios unitarios | 9 |
| 4.3.1. Capítulo 1: Diseño del sistema..... | 9 |
| 4.3.2. Capítulo 2: Instalación del sistema..... | 10 |
| 4.4. Estado de mediciones | 10 |
| 4.4.1. Capítulo 1: Diseño del sistema..... | 10 |
| 4.4.2. Capítulo 2: Instalación del sistema..... | 10 |
| 4.5. Valoración del presupuesto | 11 |
| 4.5.1. Capítulo 1: Diseño del sistema..... | 11 |
| 4.5.2. Capítulo 2: Instalación del sistema..... | 11 |
| 4.5.3. Presupuesto de ejecución material total..... | 11 |
| 4.6. Resumen del presupuesto..... | 12 |

Índice de tablas

| | | |
|-------------|---|----|
| TABLA I | Cuadro de materiales (Parte 1)..... | 4 |
| TABLA II | Cuadro de materiales (Parte 2)..... | 5 |
| TABLA III | Cuadro de mano de obra..... | 5 |
| TABLA IV | Costes directos complementarios..... | 6 |
| TABLA V | P_1.1 Simulación del sistema (ud.)..... | 6 |
| TABLA VI | P_2.1 Cintas transportadoras (ud.)..... | 7 |
| TABLA VII | P_2.2 Visión artificial (ud.)..... | 8 |
| TABLA VIII | P_2.3 Robot industrial (ud.)..... | 9 |
| TABLA IX | Cuadro de precios unitarios Capítulo 1..... | 9 |
| TABLA X | Cuadro de precios unitarios Capítulo 2..... | 10 |
| TABLA XI | Cuadro de precios unitarios Capítulo 2 con reducción *..... | 10 |
| TABLA XII | Estado de mediciones Capítulo 1..... | 10 |
| TABLA XIII | Estado de mediciones Capítulo 2..... | 10 |
| TABLA XIV | Valoración del presupuesto Capítulo 1..... | 11 |
| TABLA XV | Valoración del presupuesto Capítulo 2..... | 11 |
| TABLA XVI | Cuadro de precios unitarios Capítulo 2 con reducción *..... | 11 |
| TABLA XVII | Presupuesto de ejecución material..... | 12 |
| TABLA XVIII | Presupuesto de ejecución material con reducción *..... | 12 |
| TABLA XIX | Presupuesto por contrata..... | 12 |
| TABLA XX | Presupuesto por contrata con reducción *..... | 13 |

4.1. Cuadros de precios elementales

4.1.1. Cuadro de materiales

En la TABLA I y TABLA II se observan los precios por unidad de todos los materiales necesarios para el proyecto, tanto los elementos como los programas.

TABLA I
Cuadro de materiales (Parte 1)

| Código | Unidad | Descripción | Precio (€) |
|--------|--------|--|------------|
| m1 | ud. | Banda cinta transportadora principal | 117,28 |
| m2 | ud. | Estructura mecanizada cinta transportadora principal | 245,19 |
| m3 | ud. | Sensor de proximidad | 35,47 |
| m4 | ud. | Banda cinta transportadora calibre 20-30 mm | 93,85 |
| m5 | ud. | Estructura mecanizada cinta calibre 20-30 mm | 213,23 |
| m6 | ud. | Banda cinta transportadora calibre 30-40 mm | 70,41 |
| m7 | ud. | Estructura mecanizada cinta calibre 30-40 mm | 183,88 |
| m8 | ud. | Ordenador industrial | 435,00 |
| m9 | ud. | Fuente de alimentación de 24 V | 27,95 |
| m10 | ud. | Enchufe con cable | 2,90 |
| m11 | ud. | Cámara CV-M77 * | 54,19 |
| m12 | ud. | Tornillo M3x5 mm | 0,05 |
| m13 | ud. | Arandela M3 | 0,05 |
| m14 | ud. | Fuente de alimentación de 12 V | 14,99 |
| m15 | ud. | Cable eléctrico de 2 núcleos | 0,76 |
| m16 | ud. | Conector HR10A-10P-12S hembra | 8,99 |
| m17 | ud. | Cable eléctrico de 3 núcleos | 0,79 |
| m18 | ud. | Conector HR10A-7P-6S hembra | 5,56 |
| m19 | ud. | Conector D-sub9 hembra | 0,69 |
| m30 | ud. | Cable eléctrico de 5 núcleos | 0,85 |
| m31 | ud. | Conector D-sub9 macho | 0,83 |
| m32 | ud. | Conector D-sub26 macho | 8,83 |
| m33 | ud. | Tarjeta capturadora de vídeo | 537,49 |
| m34 | ud. | Licencia Windows 10 | 24,99 |
| m35 | ud. | Licencia Sherlock 7 | 1.485,12 |

TABLA II
Cuadro de materiales (Parte 2)

| Código | Unidad | Descripción | Precio (€) |
|--------|--------|--|------------|
| m36 | ud. | Controlador IRC5 con FlexPendantt * | 3.260,00 |
| m37 | ud. | Licencia RobotWare (RobotStudio) | 1.475,00 |
| m38 | ud. | Robot industrial IRB 140 * | 20.310,00 |
| m39 | ud. | Tornillo M12x30 mm | 0,16 |
| m40 | ud. | Arandela M12 | 0,03 |
| m41 | ud. | Tuerca M12 | 0,06 |
| m42 | ud. | Tornillo M16x40 mm | 0,38 |
| m43 | ud. | Arandela M16 | 0,11 |
| m44 | ud. | Pedestal robot IRB 140 de 250 mm de altura | 1.230,00 |
| m45 | ud. | Pinza IRB 14000 | 2.440,00 |
| m46 | ud. | Tornillo M2,5x12 mm | 0,56 |
| m47 | ud. | Arandela M2,5 | 0,01 |
| m48 | ud. | Tornillo M2x7 | 0,42 |
| m49 | ud. | Arandela M2 | 0,02 |
| m50 | ud. | Estructura metálica de la garra | 242,83 |
| m51 | ud. | Espuma garra | 18,96 |
| m52 | ud. | Adhesivo de resina 50 g | 11,79 |

4.1.2. Cuadro de mano de obra

En la TABLA III se observan los precios por hora del personal que participa en el proyecto.

TABLA III
Cuadro de mano de obra

| Código | Unidad | Descripción | Precio (€) |
|--------|--------|------------------------|------------|
| h1 | h | Graduado en Ingeniería | 15,79 |
| h2 | h | Oficial Instalación | 15,06 |
| h3 | h | Peón Instalación | 13,71 |

4.1.3. Costes directos complementarios

Para englobar el coste de todos los medios auxiliares (herramientas) empleados en el desarrollo del proyecto se añade al presupuesto un porcentaje (TABLA IV) sobre el total de costes directos.

TABLA IV
Costes directos complementarios

| Código | Unidad | Descripción | Precio (€) |
|--------|--------|---------------------------------|------------|
| | % | Costes directos complementarios | 2% |

4.2. Cuadros de precios descompuestos

En este proyecto se consideran dos capítulos: el diseño del sistema y la instalación del sistema.

4.2.1. Capítulo 1: Diseño del sistema

El coste del diseño del sistema y su simulación se puede observar en la TABLA V, pues este capítulo solo tiene una partida.

TABLA V
P_1.1 Simulación del sistema (ud.)

| Código | Descripción | Precio (€) | Cantidad | Unidad | Total (€) |
|--------|----------------------------------|------------|----------|--------|-----------|
| m35 | Licencia Sherlock 7 | 1.485,12 | 1 | ud. | 1.485,12 |
| m37 | Licencia RobotWare (RobotStudio) | 1.475,00 | 1 | ud. | 1.475,00 |
| h1 | Graduado en Ingeniería | 15,79 | 360 | h | 5.684,40 |
| | Costes directos complementarios | 8.644,52 | 2 | % | 172,89 |

Total diseño del sistema: 8.817,41

4.2.2. Capítulo 2: Instalación del sistema

Este capítulo tiene tres partidas: cintas transportadoras, visión artificial y robot industrial. El coste de cada una de las partidas se puede observar en la TABLA VI, la TABLA XVII y la TABLA XVIII, respectivamente.

El promotor ya es propietario de ciertos elementos del sistema. Éstos están marcados con un asterisco (*). El precio de dichos elementos es descontado del coste total para dar paso al precio real de la instalación del sistema para el proveedor.

TABLA VI
P_2.1 Cintas transportadoras (ud.)

| Código | Descripción | Precio (€) | Cantidad | Unidad | Total (€) |
|--------------------------------|--|------------|----------|--------|-----------|
| m1 | Banda cinta transportadora principal | 117,28 | 1 | ud. | 117,28 |
| m2 | Estructura mecanizada cinta transportadora principal | 245,19 | 1 | ud. | 245,19 |
| m3 | Sensor de proximidad | 35,47 | 1 | ud. | 35,47 |
| m4 | Banda cinta transportadora calibre 20-30 mm | 93,85 | 1 | ud. | 93,85 |
| m5 | Estructura mecanizada cinta calibre 20-30 mm | 213,23 | 1 | ud. | 213,23 |
| m6 | Banda cinta transportadora calibre 30-40 mm | 70,41 | 1 | ud. | 70,41 |
| m7 | Estructura mecanizada cinta calibre 30-40 mm | 183,88 | 1 | ud. | 183,88 |
| h2 | Oficial Instalación | 15,06 | 2 | h | 30,12 |
| h3 | Peón Instalación | 13,71 | 2 | h | 27,42 |
| | Costes directos complementarios | 1.016,85 | 2 | % | 20,34 |
| Total instalación del sistema: | | | | | 1.037,19 |

TABLA VII
P_2.2 Visión artificial (ud.)

| Código | Descripción | Precio (€) | Cantidad | Unidad | Total (€) |
|--------|---------------------------------|------------|----------|--------|-----------|
| m8 | Ordenador industrial | 435,00 | 1 | ud. | 435,00 |
| m9 | Fuente de alimentación de 24 V | 27,95 | 1 | ud. | 27,95 |
| m10 | Enchufe con cable | 2,90 | 2 | ud. | 5,80 |
| m11 | Cámara CV-M77 * | 54,19 | 1 | ud. | 54,19 |
| m12 | Tornillo M3x5 mm | 0,05 | 8 | ud. | 0,40 |
| m13 | Arandela M3 | 0,05 | 8 | ud. | 0,40 |
| m14 | Fuente de alimentación de 12 V | 14,99 | 1 | ud. | 14,99 |
| m15 | Cable eléctrico de 2 núcleos | 0,76 | 1 | ud. | 0,76 |
| m16 | Conector HR10A-10P-12S hembra | 8,99 | 1 | ud. | 8,99 |
| m17 | Cable eléctrico de 3 núcleos | 0,79 | 1 | ud. | 0,79 |
| m18 | Conector HR10A-7P-6S hembra | 5,56 | 1 | ud. | 5,56 |
| m19 | Conector D-sub9 hembra | 0,69 | 1 | ud. | 0,69 |
| m30 | Cable eléctrico de 5 núcleos | 0,85 | 1 | ud. | 0,85 |
| m31 | Conector D-sub9 macho | 0,83 | 1 | ud. | 0,83 |
| m32 | Conector D-sub26 macho | 8,83 | 1 | ud. | 8,83 |
| m33 | Tarjeta capturadora de vídeo | 537,49 | 1 | ud. | 537,49 |
| m34 | Licencia Windows 10 | 24,99 | 1 | ud. | 24,99 |
| m35 | Licencia Sherlock | 1.485,12 | 1 | ud. | 1.485,12 |
| h2 | Oficial Instalación | 15,06 | 2 | h | 30,12 |
| h2 | Peón Instalación | 13,71 | 2 | h | 27,42 |
| | Costes directos complementarios | 2.671,17 | 2 | % | 53,42 |

Total instalación del sistema: 2.724,59

Total instalación del sistema con reducción*: 2.670,40

TABLA VIII
P_2.3 Robot industrial (ud.)

| Código | Descripción | Precio (€) | Cantidad | Unidad | Total (€) |
|---|--|------------|----------|--------|-----------|
| m36 | Controlador IRC5 con FlexPendantt * | 3.260,00 | 1 | ud. | 3.260,00 |
| m38 | Robot industrial IRB 140 * | 20.310,00 | 1 | ud. | 20.310,00 |
| m39 | Tornillo M12x30 mm | 0,16 | 3 | ud. | 0,49 |
| m40 | Arandela M12 | 0,03 | 3 | ud. | 0,09 |
| m41 | Tuerca M12 | 0,06 | 3 | ud. | 0,18 |
| m42 | Tornillo M16x40 mm | 0,38 | 4 | ud. | 1,53 |
| m43 | Arandela M16 | 0,11 | 4 | ud. | 0,44 |
| m44 | Pedestal robot IRB 140 de 250 mm de altura | 1.230,00 | 1 | ud. | 1.230,00 |
| m45 | Pinza IRB 14000 | 2.440,00 | 1 | ud. | 2.440,00 |
| m46 | Tornillo M2,5x12 mm | 0,56 | 4 | ud. | 2,22 |
| m47 | Arandela M2,5 | 0,01 | 4 | ud. | 0,04 |
| m48 | Tornillo M2x7 | 0,42 | 12 | ud. | 5,04 |
| m49 | Arandela M2 | 0,02 | 12 | ud. | 0,24 |
| m50 | Estructura metálica de la garra | 242,83 | 2 | ud. | 485,66 |
| m51 | Espuma garra | 18,96 | 2 | ud. | 37,92 |
| m52 | Adhesivo de resina 50 g | 11,79 | 1 | ud. | 11,79 |
| h2 | Oficial Instalación | 15,06 | 2 | h | 30,12 |
| h3 | Peón Instalación | 13,71 | 2 | h | 27,42 |
| | Costes directos complementarios | 27.843,18 | 2 | % | 556,86 |
| Total instalación del sistema: | | | | | 28.400,04 |
| Total instalación del sistema con reducción*: | | | | | 4.830,04 |

4.3. Cuadros de precios unitarios

En las siguientes tablas (TABLA IX y TABLA X), se presentan unos cuadros resumen en los que se determina el precio unitario total de cada una de las partidas del proyecto.

4.3.1. Capítulo 1: Diseño del sistema

TABLA IX
Cuadro de precios unitarios Capítulo 1

| Código | Unidad | Descripción | Precio (€) |
|--------|--------|------------------------|------------|
| P_1.1 | ud. | Simulación del sistema | 8.817,41 |

4.3.2. Capítulo 2: Instalación del sistema

TABLA X
Cuadro de precios unitarios Capítulo 2

| Código | Unidad | Descripción | Precio (€) |
|--------|--------|------------------------|------------|
| P_2.1 | ud. | Cintas transportadoras | 1.037,19 |
| P_2.2 | ud. | Visión artificial | 2.724,59 |
| P_2.3 | ud. | Robot industrial | 28.400,04 |

En la TABLA XI se observa el cuadro de precios unitarios de las partidas del capítulo 2, teniendo en cuenta los elementos que ya posee el promotor.

TABLA XI
Cuadro de precios unitarios Capítulo 2 con reducción *

| Código | Unidad | Descripción | Precio (€) |
|--------|--------|------------------------|------------|
| P_2.1 | ud. | Cintas transportadoras | 1.037,19 |
| P_2.2 | ud. | Visión artificial * | 2.670,40 |
| P_2.3 | ud. | Robot industrial * | 4.830,04 |

4.4. Estado de mediciones

A continuación (TABLA XII y TABLA XIII) se hace un recuento de la cantidad de partidas que son necesarias en el proyecto.

4.4.1. Capítulo 1: Diseño del sistema

TABLA XII
Estado de mediciones Capítulo 1

| Código | Unidad | Descripción | Cantidad | Largo | Ancho | Alto | Total |
|--------|--------|------------------------|----------|-------|-------|------|-------|
| P_1.1 | ud. | Simulación del sistema | 1 | | | | 1 |

4.4.2. Capítulo 2: Instalación del sistema

TABLA XIII
Estado de mediciones Capítulo 2

| Código | Unidad | Descripción | Cantidad | Largo | Ancho | Alto | Total |
|--------|--------|------------------------|----------|-------|-------|------|-------|
| P_2.1 | ud. | Cintas transportadoras | 1 | | | | 1 |
| P_2.2 | ud. | Visión artificial | 1 | | | | 1 |
| P_2.3 | ud. | Robot industrial | 1 | | | | 1 |

4.5 Valoración del presupuesto

En las siguientes tablas (TABLA XIV y TABLA XV), se presenta el cálculo del total del presupuesto de ejecución material de este proyecto.

4.5.1. Capítulo 1: Diseño del sistema

TABLA XIV
Valoración del presupuesto Capítulo 1

| Código | Unidad | Descripción | Precio (€) | Cantidad | Total (€) |
|--------|--------|------------------------|------------|----------|-----------|
| P_1.1 | ud. | Simulación del sistema | 8.817,41 | 1 | 8.817,41 |

Total del presupuesto de ejecución material del capítulo 1: 8.817,41

4.5.2. Capítulo 2: Instalación del sistema

TABLA XV
Valoración del presupuesto Capítulo 2

| Código | Unidad | Descripción | Precio (€) | Cantidad | Total (€) |
|--------|--------|------------------------|------------|----------|-----------|
| P_2.1 | ud. | Cintas transportadoras | 1.037,19 | 1 | 1.037,19 |
| P_2.2 | ud. | Visión artificial | 2.724,59 | 1 | 2.724,59 |
| P_2.3 | ud. | Robot industrial | 28.400,04 | 1 | 28.400,04 |

Total del presupuesto de ejecución material del capítulo 2: 32.161,82

En la TABLA XVI se observa la valoración del presupuesto del capítulo 2, teniendo en cuenta los elementos que ya posee el promotor.

TABLA XVI
Cuadro de precios unitarios Capítulo 2 con reducción *

| Código | Unidad | Descripción | Precio (€) | Cantidad | Total (€) |
|--------|--------|------------------------|------------|----------|-----------|
| P_2.1 | ud. | Cintas transportadoras | 1.037,19 | 1 | 1.037,19 |
| P_2.2 | ud. | Visión artificial * | 2.670,40 | 1 | 2.670,40 |
| P_2.3 | ud. | Robot industrial * | 4.830,04 | 1 | 4.830,04 |

Total del presupuesto de ejecución material del capítulo 2 con reducción *: 8.537,63

4.5.3. Presupuesto de ejecución material total

La suma del presupuesto de ejecución de los dos capítulos tiene como resultado el presupuesto de ejecución material total, como se observa en la TABLA XVII.

TABLA XVII
Presupuesto de ejecución material

| Código | Descripción | Precio (€) |
|--------|-------------------------|------------|
| 1 | Diseño del sistema | 8.817,41 |
| 2 | Instalación del sistema | 32.161,82 |

Presupuesto de ejecución material: 40.979,23

En la TABLA XVIII se observa el presupuesto de ejecución material total, teniendo en cuenta los elementos que ya posee el promotor.

TABLA XVIII
Presupuesto de ejecución material con reducción *

| Código | Descripción | Precio (€) |
|--------|---------------------------|------------|
| 1 | Diseño del sistema | 8.817,41 |
| 2 | Instalación del sistema * | 8.537,67 |

Presupuesto de ejecución material con reducción *: 17.355,08

4.6. Resumen del presupuesto

La TABLA XIX muestra el presupuesto por contrata, el cual corresponde al presupuesto de ejecución material más los gastos generales de empresa y el beneficio industrial, sin olvidar el IVA.

TABLA XIX
Presupuesto por contrata

| Descripción | Precio (€) |
|------------------------------------|------------|
| Capítulo 1 Diseño del sistema | 8.817,41 |
| Capítulo 2 Instalación del sistema | 32.161,82 |
| Presupuesto de ejecución material | 40.979,23 |
| 13% de gastos generales | 5.327,30 |
| 6% de beneficio industrial | 2458,7538 |
| Suma | 48.765,28 |
| 21% IVA | 10240,71 |

Presupuesto de ejecución por contrata: 59.005,99

En la TABLA XX se observa el presupuesto de contrata, teniendo en cuenta los elementos que ya posee el promotor. Éste es el que debe abonar el promotor.

TABLA XX
Presupuesto por contrata con reducción *

| Descripción | Precio (€) |
|--|------------|
| Capítulo 1 Diseño del sistema | 8.817,41 |
| Capítulo 2 Instalación del sistema * | 8.537,67 |
| Presupuesto de ejecución material con reducción * | 17.355,08 |
| 13% de gastos generales | 2.256,16 |
| 6% de beneficio industrial | 1041,3048 |
| Suma con reducción * | 20.652,55 |
| 21% IVA | 4337,0345 |
| Presupuesto de ejecución por contrata con reducción *: 24.989,58 | |

El presupuesto asciende a la expresada cantidad de 24 989,58 €.

REALIZADO POR
Laura Rodrigo Pérez